

image
et ville

Laboratoire
Image et Ville
UMR 7011

Thèse présentée pour le titre de
Docteur de l'Université Louis Pasteur
Strasbourg I

Discipline : Géographie

par **Jean-Philippe Antoni**

MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DE L'ETALEMENT URBAIN

ASPECTS CONCEPTUELS ET GESTIONNAIRES

APPLICATION A BELFORT

Soutenue publiquement le 06 décembre 2003

Membres du jury

Directeur : **Madame Colette Cauvin**, professeur

Université Louis Pasteur, Strasbourg

Rapporteur interne : **Monsieur Richard Kleinschmager**, professeur

Université Louis Pasteur, Strasbourg

Rapporteur externe : **Monsieur Pierre Frankhauser**, professeur

Faculté des lettres et sciences humaines de Besançon

Rapporteur externe : **Monsieur Jean Laterrasse**, professeur

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

Examineur : **Monsieur Olivier Frérot**

*Directeur de la Direction Départementale de l'Équipement
de la Loire*

Faculté de Géographie
et d'Aménagement

3 rue de l'Argonne

F-67000 Strasbourg

Tél. : (33) 03 90 24 09 51

Fax : (33) 03 90 24 09 50

<http://imaville.u-strasbg.fr>

image.et.ville@lorraine.u-strasbg.fr



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ LOUIS PASTEUR
STRASBOURG

Remerciements

Au professeur Colette Cauvin,
pour avoir dirigé cette thèse avec la souplesse et la rigueur qui étaient nécessaires,
pour avoir construit ce que j'ai su, et déconstruit ce que j'ai cru savoir.

Au professeur Henri Reymond,
pour m'avoir encouragé, soutenu et amené là où peu de monde s'aventure,
pour m'avoir dit de garder ma ligne.

A Christiane Weber,
Directrice du Laboratoire Image et Ville,
pour sa confiance, son soutien et ses ouvertures enrichissantes.

Au professeur Richard Kleinschmager,
pour m'avoir offert les expériences professionnelles,
que j'ai essayé d'assumer de faire fructifier le mieux possible.

Au professeur Jean-Luc Piermay,
pour avoir multiplié mes horizons de recherche
au moment où cela était nécessaire.

A Isabel Girault-Jammers,
directrice de l'Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort
et à mes anciens collègues de l'Agence :
Vincent Meyer, Dominique Brigand, Maxime Heng et Gérard Georgeot.

A Olivier Frérot et Jean-Philippe Turlot (♥),
de la Direction Départementale de l'Équipement du Territoire de Belfort,
sans qui ce travail n'aurait pu être fait.

A Gilles Vuidel, Jacky Hirsch, Olivier Klein et Jean Thomann,
pour leur soutien et leur appui informatique, technique, mathématique.

Aux professeurs Pierre Frankhauser et Jean Laterrasse,
pour avoir accepté d'être membres du jury.

A ma maman pour avoir accepté de relire ce texte :
« ma mère, elle est super ».

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE I	
L'ETALEMENT URBAIN : DES CONSEQUENCES A MAITRISER	9
Chapitre 1.1 - L'étalement urbain : éléments de définition	15
Chapitre 1.2 - L'étalement urbain : éloignement et envahissement	65
Chapitre 1.3 - L'étalement : une nouvelle forme urbaine	109
Chapitre 1.4 - Modéliser pour anticiper les nouvelles contraintes urbaines	143
PARTIE II	
UNE MODELISATION EN TROIS ETAPES	183
Chapitre 2.1 - Structurer une base de données : le carroyage des informations	189
Chapitre 2.2 - Quantifier les dynamiques urbaines : le modèle de transition	233
Chapitre 2.3 - Localiser les changements urbains : le modèle de potentiel	273
Chapitre 2.4 - Différencier les changements urbains : les automates cellulaires	305
PARTIE III	
DE LA MODELISATION A LA SIMULATION PROSPECTIVE	349
Chapitre 3.1 - Rétrospective de l'étalement belfortain	355
Chapitre 3.2 - De la continuation au renforcement de l'étalement urbain	393
Chapitre 3.3 - Du renouvellement urbain à la non ville	421
CONCLUSION GENERALE	467
BIBLIOGRAPHIE	473

**INTRODUCTION
GENERALE**

Introduction générale

« *Sprawl is like the weather in that everyone talks about it, but no one does anything about it* » (Thompson, 1993). L'étalement urbain, c'est comme la météo, tout le monde en parle mais personne ne fait rien et ne peut rien y changer. Le phénomène d'étalement des villes est en effet identifié depuis plusieurs années comme quelque chose de profondément néfaste aux villes. A ce sujet, on pense même souvent avoir « tué la question », c'est-à-dire en avoir fait le tour : aujourd'hui, **aucune administration, aucun aménageur, aucun urbaniste ni aucun géographe ne se fait l'avocat de l'étalement urbain. Mais inexorablement, les villes continuent de s'étaler. Il faut donc faire face à cette évidence : le fait de savoir que les villes s'étalent, et le fait de le dénoncer, ne permettent pas de lutter efficacement contre l'étalement urbain.** Malgré une planification engagée et des procédures réglementaires rigoureuses qui visent souvent à la mixité urbaine, au maintien d'un commerce de proximité, au respect des espaces naturels, à la construction d'espaces publics et d'équipements, les instances en charge des décisions locales continuent d'approuver des opérations qui contribuent à l'étalement urbain. On peut voir trois raisons à l'inefficacité qui conclut et qui stérilise ces bonnes volontés.

Premièrement, l'étalement urbain est un phénomène difficile à appréhender parce qu'il est mal défini. D'une part, en effet, rares sont ceux qui l'ont réellement déterminé par une forme précise et de façon complète : si la simple expression « étalement urbain » suffit souvent à savoir intuitivement de quoi il retourne, le phénomène est plus difficile à décrire

concrètement et en totalité. Dans la littérature, on trouve d'ailleurs peu de définitions de l'étalement ; le mot est absent du dictionnaire de R. Brunet *et al.* (1992), comme de celui de J. Lévy *et al.* (2003). Deuxièmement, l'étalement urbain est un phénomène difficile à appréhender parce qu'il est insidieux : son apparence bénigne masque (au début) sa gravité réelle. En effet, l'étalement urbain en tant que tel ne se voit pas de façon instantanée. Au plus, par l'intermédiaire des grues qui se détachent de l'horizon, on verra ici et là, comme d'habitude, les chantiers des maisons ou des lotissements en construction. Ce n'est que dans le long terme que l'on réalisera qu'à travers ces ajouts successifs et insignifiants en eux-mêmes, c'est finalement toute la ville qui s'étend. Troisièmement, l'étalement urbain est un phénomène difficile à appréhender parce qu'il est transversal. Tous les secteurs et les champs d'observation des acteurs de l'aménagement et de l'urbanisme sont concernés par l'étalement urbain : un observatoire social de l'habitat montrera qu'il modifie la densité et la typomorphologie du bâti en périphérie des villes ; le bureau des transports et des déplacements identifiera un lien certain entre ce bâti et le réseau de routes ; les études foncières montreront que les prix des terrains agricoles augmentent en même temps que l'urbanisation progresse, etc. L'ensemble de ces observations permet souvent de caractériser partiellement l'étalement urbain ; mais, prises indépendamment, elles ne suffisent pas à le faire. Compte tenu du cloisonnement avec lequel fonctionnent généralement les différents services en charge des problèmes d'urbanisme et d'aménagement, il est effectivement très difficile de mettre en commun l'ensemble de ces constats pour les généraliser et comprendre comment ils s'entremêlent, c'est-à-dire comment fonctionne l'étalement urbain, dont tout le monde parle. Mais, les services ne sont pas les seules cloisons : elles trouvent un relais dans les différentes méthodes employées¹, ainsi que dans les procédures qu'on leur demande de suivre (les Plan Locaux de l'Habitat ne sont pas les Plans de Déplacements urbains, même si à plusieurs égards, les deux sont connectés), et finalement dans la législation qu'il convient de respecter (ici, on fera référence à la loi sur l'air, alors que là, on invoquera le règlement du Plan Local de l'Urbanisme).

Ainsi, dans un premier temps, il apparaît nécessaire de définir l'étalement urbain, c'est-à-dire d'en donner une définition concrète et opérationnelle, qui permette non seulement de saisir le phénomène qu'il recouvre, mais également d'en envisager les conséquences. Car l'étalement urbain en lui-même ne présente pas véritablement de danger : il n'est que l'expression particulière d'une démocratie de l'habitat, dans laquelle chacun peut choisir d'habiter où il veut, à l'endroit où il veut. Ce n'est qu'en tenant compte de ses conséquences que l'on peut évaluer l'ensemble comme un phénomène globalement néfaste aux villes et à ceux qui les habitent, et que l'on pourra estimer dans quelle mesure il est effectivement

¹ Certains services font de leurs investigations de véritables recherches alors que d'autres n'envisagent la question que sur le plan réglementaire.

nécessaire de se doter de moyens pour lutter contre l'étalement urbain. Dans une première phase, il s'agit donc d'apporter les éléments conceptuels qui permettront d'appréhender l'étalement urbain dans sa totalité. Mais, ceci ne pourra se faire que par l'intermédiaire d'une approche décloisonnée, la seule à même de mieux appréhender la complexité du phénomène, en insistant sur les champs qui lient les différentes parties du problème. Pour ce faire, il devient alors nécessaire de ne pas se référer aux cadres et aux notions généralement utiles aux différents secteurs de l'aménagement et de l'urbanisme, mais d'introduire de nouveaux éléments, tous liés à l'étalement urbain, de manière transversale : **les notions de distance, d'éloignement et de proximité sont des notions spatiales et géographiques qui permettent de caractériser l'étalement urbain. Elles prennent simultanément en compte les problématiques de l'habitat, des transports, des déplacements ou de l'économie. L'introduction de ces notions, qui débouchent rarement sur un travail opérationnel et concret, forme alors un creuset transversal qui pourra lier une grande partie des problématiques, et définir l'étalement urbain selon de nouveaux critères mettant en jeu la dialectique entre l'éloignement et la proximité.**

Toutefois, la prise en compte théorique de l'étalement urbain, même si elle conduit à mieux appréhender le phénomène et ses conséquences, ne suffit pas à régler les problèmes qu'il engendre. **La théorie n'est pas suffisante à assurer l'efficacité de la démarche initiée ici : elle doit s'accompagner de possibilités d'applications concrètes, menant à terme à une prise de décision concernant l'aménagement des villes. Aussi, après avoir identifié le problème, il est nécessaire de se donner les moyens de le gérer. L'aspect conceptuel de l'étalement urbain doit donc se doubler d'un aspect gestionnaire.** Mais, ce volet concret ne peut se dispenser d'un cadre strict, offrant de réelles possibilités d'actions. Dans cette optique, le fait de pouvoir travailler sur la ville de Belfort, en convention² avec l'Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort (AUTB), et en collaboration avec la Direction Départementale de l'Équipement (DDE), offre à la fois l'exemple du terrain d'étude, les moyens, les compétences et l'expertise, pour mettre en place concrètement une recherche alliant les aspects conceptuels et les aspects gestionnaires de la problématique de l'étalement urbain et de sa dynamique. C'est alors dans le service « planification et aménagement stratégique », fortement lié aux services des déplacements et de l'habitat, et accompagné par des spécialistes de l'urbanisme réglementaire, que ce travail a été mené.

² Il s'agit d'une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (CIFRE n° 575/99) signée entre le doctorant, l'Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort et le Laboratoire Image et Ville de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg. D'une durée de trois ans, elle a eu cours du 1^{er} mars 2000 au 28 février 2003.

Toutefois, même si un cadre existe pour la recherche, il ne donne pas immédiatement la possibilité d'agir concrètement : les tests et les essais qui servent à définir et à gérer l'étalement urbain ne peuvent directement s'appliquer sur la ville de Belfort. Il est nécessaire, avant cela, de simuler ces actions de manière à visualiser leurs conséquences de manière virtuelle. Or, il est fréquent de considérer que la simulation n'est qu'une étape, plus ou moins finale, d'une démarche plus générale de modélisation. Afin de simuler l'étalement urbain, il apparaît en effet préalablement nécessaire de le modéliser, c'est-à-dire d'en construire un modèle simplifié sur lequel on interviendra par l'intermédiaire de différents paramètres, de manière à tester l'évolution de l'ensemble. Dans de nombreux cas, la modélisation d'un phénomène passe en effet par sa « mise en équation », afin qu'il soit concrètement possible d'agir sur sa formalisation. Mais, dans le cadre d'une modélisation destinée au monde de l'urbanisme, et particulièrement à l'Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort, il est nécessaire que cette modélisation conserve une forme compréhensible et pratique pour les aménageurs qui, à terme, utiliseront le modèle. **La modélisation se doit donc d'être simple, et on peut globalement l'associer à trois objectifs. Premièrement, elle doit permettre de décomposer la complexité du problème de l'étalement urbain, afin que celui-ci puisse être appréhendé correctement. Deuxièmement, elle doit permettre d'effectuer des simulations concernant sa dynamique. Ces simulations aideront d'une part à mieux comprendre ce phénomène et ses implications, et d'autre part, à visualiser les futurs possibles de la ville de Belfort si l'étalement continue, ou *a contrario* si une action de lutte est entreprise. Enfin, la modélisation doit se construire autour des éléments qui permettent concrètement de lier les aspects conceptuels et les aspects gestionnaires de la dynamique de l'étalement, dans une même logique.**

Ainsi, dans la première partie de ce travail, nous insisterons sur les aspects conceptuels de l'étalement urbain, pour l'identifier comme un processus particulier d'urbanisation, dont les conséquences concernent simultanément la coalescence urbaine - c'est-à-dire les possibilités d'expansion physique des villes - et la cohérence urbaine - c'est-à-dire les caractéristiques humaines et sociales à partir desquelles la coalescence se met en place. La première partie pose ainsi les bases théoriques nécessaires à la modélisation de l'étalement urbain et de ses conséquences. La deuxième partie est alors entièrement consacrée au modèle. Elle insiste d'abord sur la manière avec laquelle le problème peut être approché, et de laquelle vont découler les possibilités concrètes de modélisation, que l'on décomposera ici en trois étapes faisant chacune intervenir des modèles particuliers. Il s'agit d'abord de quantifier les changements liés à la dynamique de l'étalement urbain, puis de localiser ces changements, et enfin à les différencier. L'enchaînement de ces trois étapes permet alors d'effectuer des simulations. La troisième et dernière partie est justement consacrée à ces simulations. Dans un premiers temps, elles aident à mieux comprendre le processus d'étalement urbain, et la

manière avec laquelle les changements se sont effectués à Belfort depuis les années 1950. Ensuite, elles montrent les conséquences du processus actuel si les tendances observées dans le passé restent identiques dans l'avenir. Enfin, les simulations permettent d'envisager et de tester des alternatives à l'étalement urbain, ce qui contribue à faire de la modélisation un réel outil d'aide à la décision.

PARTIE 1

DYNAMIQUE DE L'ETALEMENT URBAIN : DES CONSEQUENCES A MAITRISER

Introduction de la première partie

« La civilisation urbaine s'est imposée à tout le territoire ». C'est par cette contradiction que s'ouvre l'atlas des aires urbaines publié en 1999 par la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme (FNAU). Par définition, en effet, le monde urbain se distingue du monde rural et apparaît comme son contraire : si le premier existe, ce n'est que par opposition au second, et inversement. Dans son ouvrage *Villes et Campagnes*, J.B. Charrier (1988) décrit les relations complexes qui existent entre ces deux mondes en insistant sur le fait que « dès l'origine des villes, il y a apparition d'un dualisme ». Dans sa jeunesse, K. Marx parlait quant à lui d'une classe « urbaine » opposée à une « classe rurale »¹. Dans *Les mots de la géographie*, la ville apparaît comme une « agglomération d'immeubles et de personnes de quelque importance, qui, à l'origine, se distinguait de la campagne agricole » (Brunet *et al.*, 1992). Ainsi, **si la civilisation urbaine s'impose à tout le territoire, c'est-à-dire s'il y a un étalement urbain généralisé, le monde urbain et le monde rural n'ont plus de véritable de raison d'être puisqu'ils sont noyés dans un tout unique qui les entremêle. Affirmer ceci revient alors en quelque sorte à nier l'existence d'une opposition formelle entre le monde urbain et la campagne, et donc à affirmer que la ville, comme le monde rural, n'existe pas, ou n'existe plus.** Dans un ouvrage de 1998, recensant les travaux du laboratoire Image et Ville, l'introduction de la première partie de H. Reymond (1998) commence effectivement par rappeler que « le processus que nous appelons toujours ville n'existe réellement dans l'univers nord-occidental que jusqu'au 19^{ème} siècle. C'est un terme que nous employons actuellement par habitude ». On mesure la force de cette habitude en lisant le titre de

¹ D'après J.B. Charrier (1988)

l'ouvrage : *L'espace géographique des villes*. Il faut donc faire face à une nouvelle contradiction, celle de mettre l'accent, dès le titre, sur un objet dont on veut parler, mais dont l'introduction avoue qu'il n'existe plus.

Pour saisir l'ampleur du changement qui paraît s'être effectué entre le temps de K. Marx et celui de la FNAU, il convient d'étudier la ville et la manière avec laquelle elle a évolué. On constate alors qu'il n'est pas certain qu'elle ait vraiment changé : K. Marx, par exemple, a écrit que « dans la province rhénane, ville et campagne ne sont pas réellement séparées ». En 1895, A. Gide écrivait également, dans *Paludes*, que « les campagnes commencent où finissent les villes [...] mais précisément, elles n'en finissent pas, les villes ». Certains auteurs estiment donc que les villes n'existent pas là où d'autres continuent d'en parler. Les premiers sont parfois les mêmes que les seconds. Dès le départ, au moment où l'on peut penser que les choses étaient claires, c'est-à-dire que les deux mondes (villes et campagnes) s'opposaient suffisamment pour s'autodéfinir l'un et l'autre, on constate que les choses apparaissent déjà bien plus complexes. **L'objet ville semble donc particulièrement difficile à appréhender, et de ce fait, on ne sait aujourd'hui ce qu'il en est de son existence ou de sa définition concrète. L'étalement urbain aurait-il toujours existé ?**

Pour répondre à cette question, il est nécessaire de s'intéresser à la définition de la ville. Dans un dictionnaire, parmi les plus simples (Micro Robert), on lit la définition suivante : une ville est un « milieu géographique et social formé par une réunion importante de constructions et dont les habitants travaillent, pour la plupart, à l'intérieur de l'agglomération ». **La ville pourrait donc se définir à la fois par l'espace qu'elle occupe, et par les rapports sociaux qu'elle crée. Pour caractériser ce que sont les villes, M. Sorre (1952) a proposé deux notions qui vont dans le même sens : la coalescence et la cohérence. Coalescence et cohérence sont deux notions qui fonctionnent en synergie et qui dépassent la simple prise en compte de la forme de la ville**, en partant du principe que « fixité et stabilité sont deux attributs urbains essentiels ; et dès lors, le problème est le suivant : quelle force de cohésion² maintient pendant des siècles les hommes rassemblés sur un même lieu, exigü, incapable de les nourrir ? Quelle force de coalescence empêche à tout moment le groupe de se dissoudre ? » (Sorre, 1952). H. Raymond (1998) a repris chacune de ces deux notions et a développé l'interprétation proposée par M. Sorre. Il explique que « coalescence tirerait son origine du latin *coalitum*, supin de *co* (avec) et *alescere* (se nourrir) ; d'où la signification actuelle acceptée de 'grandir ensemble, s'unir en croissant'. Les exemples donnés font bien ressortir une idée de mouvement, de dynamique commune ; en phonétique, il s'agit de la contraction de deux ou plusieurs éléments phoniques en un seul ; en médecine, de la soudure de deux surfaces tissulaires en voie de cicatrisation ; en chimie, enfin, d'un phénomène de réunion, de

² Nous parlons alors de cohérence.

particules en suspension, en particules plus grosses. En bref, il y a chaque fois localement agrégation et agrandissement par contiguïté, mais rien n'est dit de la force qui amorce et qui maintient ». Il convient donc de définir également la cohérence : « cohérence viendrait, toujours du latin, de *cohaerens*, participe présent de *cohaerere*, qui traduit, au propre et au figuré, l'idée d'être soudé, attaché ensemble [...] Cohésion a été formé pour désigner la force par laquelle les molécules des corps adhèrent entre elles, pour indiquer ensuite, plus généralement, le caractère de solidité du lien logique qui unit entre elles les parties d'un ensemble' (Le Robert) » (Reymond, 1998).

De ceci, on retiendra que **la ville peut effectivement apparaître comme un objet à la fois spatial et social : en tant qu'objet spatial, elle est maintenue par la coalescence ; en tant qu'objet social, elle est maintenue par la cohérence**. La coalescence est alors cette force qui organise l'espace dans un certain champ de proximité, de manière à ce que toutes ses parties, qui apparaissent complémentaires les unes avec les autres, communiquent entre elles et bénéficient effectivement les unes des autres, dans un cadre trophique et économique. Contrairement aux définitions données plus haut, on considèrera que cette organisation de l'espace peut se faire de manière contiguë ou non, l'essentiel étant que les différentes parties communiquent de façon aisée (H. Reymond (1998) parle alors de « coalescence réticulée »). La cohérence est quant à elle la force sociale ou communautaire des hommes que la coalescence regroupe, et résulte de cette coalescence, même si, à l'origine, elle l'a certainement précédé : la coalescence « maintient les hommes quand la volonté consciente qui les a rassemblés a disparu » ; « de la réalisation permanente et quotidienne [des besoins des hommes] au bénéfice [...] de toute la population urbaine dépend la maintien d'un minimum nécessaire de cette force de cohésion anonyme pour que la coalescence physique perdure » (Reymond, 1998). Les deux forces sont donc interdépendantes et fonctionnent en synergie. En partant du principe que la ville est définie par rapport aux deux champs que sont la coalescence et la cohérence, il est plus aisé de l'étudier dans un cadre historique, afin de saisir les évolutions urbaines, et de voir dans quelle mesure l'étalement urbain a contribué à modifier la ville. On s'attachera alors d'abord à décrire l'évolution de la notion d'agglomération. L'évolution des regroupements intercommunaux et des possibilités juridiques qui a accompagné l'évolution la ville et de leurs périphéries en tant qu'agglomération spatiale et sociale apparaît alors comme indicateur intéressant pour saisir l'ampleur et le sens des changements. **Cette étude, qui fera l'objet du Chapitre 1.1, met en relief l'étalement urbain comme un nouvelle forme d'urbanisation, qui implique un changement dans l'organisation des villes. Il induit donc également une modification de la coalescence et de la cohérence qui lui sont propres**, et qui feront respectivement l'objet des Chapitres 1.2 et 1.3.

Chapitre 1.1

L'étalement urbain : éléments de définition

La littérature insiste souvent sur cette idée que l'ancienne dichotomie entre villes et campagnes s'estompe pour laisser place à une nouvelle forme d'occupation de l'espace français. Elle ne fait que reprendre un constat en le replaçant dans son contexte historique : sur le terrain, on constate effectivement que les choses ont changé et on mesure parfois l'ampleur des changements. Les témoins qui permettent de le faire sont nombreux et de formes diverses. D'abord, c'est le paysage qui s'est modifié aux alentours des villes : les anciens villages aux fermes et aux clochers pittoresques sont aujourd'hui masqués par un nouveau front, celui des maisons individuelles de toutes les couleurs. Ensuite, ce sont les cartes topographiques, les photographies aériennes ou les images satellites, qui montrent que partout dans les aires urbaines, autour des routes ou dans les champs, l'urbanisation progresse. Enfin, c'est la législation qui s'est adaptée à ces changements, en proposant de nouveaux sigles, auxquels il est de plus en plus difficile d'échapper tant les réalités qu'ils recouvrent sont devenues prégnantes dans la gestion et l'organisation des territoires : le maire n'a plus tout à fait son rôle de chef du village ; les Etablissements Publics de Coopérations Intercommunales (EPCI), plus grands et plus complexes, se substituent à l'exercice de son pouvoir, et décident parfois à sa place. A l'origine de ces changements, c'est souvent le même phénomène que l'on montre du doigt, mais que l'on désigne sous des noms différents en fonction du monde duquel on vient : le terme de « périurbanisation » est le plus ancien, « exurbanisation » le plus technique ; l'expression « urbanisation inutile » est la plus

militante, celle d' « étalement urbain » est peut-être la plus connue, et la plus complète. Quand il s'agit de nommer la chose, le discours devient en effet plus flou et plus spécifique : on a du mal à qualifier unanimement les processus qui sont en jeu dans ces changements. J. Monnet (1997), par exemple, relève que les journaux font souvent preuve d'inexactitude quand ils décrivent les grandes villes et leur expansion : « ce ne sont plus des villes au sens traditionnel du terme, mais des conglomérats aux limites de plus en plus floues » (*Le Monde*, 6 juin 1996). Par l'intermédiaire d'une métaphore organiciste, certains quotidiens comparent la croissance urbaine à celle d'un monstre qui s'étale et qui avale les campagnes environnantes. Ainsi, non seulement on parle de l'étalement urbain sans savoir ce qu'il est réellement, mais ses conséquences sont assimilées à une catastrophe, qui est souvent plus imagée que concrète, et qui relève plus du mythe ou du phantasme que d'une réalité mesurée. **Dans un premier temps, à travers les éléments qui permettent de le prendre en compte, il est donc nécessaire de faire un premier tri afin de mieux saisir ce à quoi l'étalement urbain correspond, pour finalement tenter d'en donner une définition.**

1. Un constat : une diversification des changements

Comme premier témoin qui montre que les choses ont changé, on peut insister sur le fait que durant les 15 dernières années, quasiment l'ensemble des éléments qui permettent la compréhension et la gestion des villes a fait l'objet de modifications sensibles. La création des « aires urbaines » par l'INSEE en 1997 a été la première modification à ouvrir un regard nouveau sur les villes, leur agglomération et leur fonctionnement. En 2000, la mise en application de la loi sur la solidarité et le renouvellement urbain (loi SRU), presque en même temps que celle des lois Voynet et Chevènement, a fait l'effet d'une mini-révolution dans le monde de l'urbanisme. Elle a par ailleurs confirmé le rôle central des Agences d'Urbanisme (AU) dans la gestion et les projets urbains. En 10 ans, c'est ainsi presque l'ensemble des instruments juridiques, politiques, statistiques et administratifs qui a été révisé : le monde de l'urbanisme dispose donc aujourd'hui d'un nouveau panel d'outils pour appréhender les territoires urbains.

1.1. De nouveaux instruments pour la gestion des territoires

Les ouvertures permises par la Loi d'Orientation sur l'Aménagement et le Développement Durable du Territoire (dite LOADDT ou loi Voynet) et la loi relative au renforcement et à la simplification de la coopération intercommunale (dite loi Chevènement) concluent (temporairement) un débat franco-français ouvert depuis plus de deux siècles à propos de la taille des communes et de leurs possibilités de coopération. La mise en application de ces

deux lois en l'an 2000 apporte en effet de nouveaux instruments juridiques et politiques pour la gestion des territoires, notamment des territoires urbains.

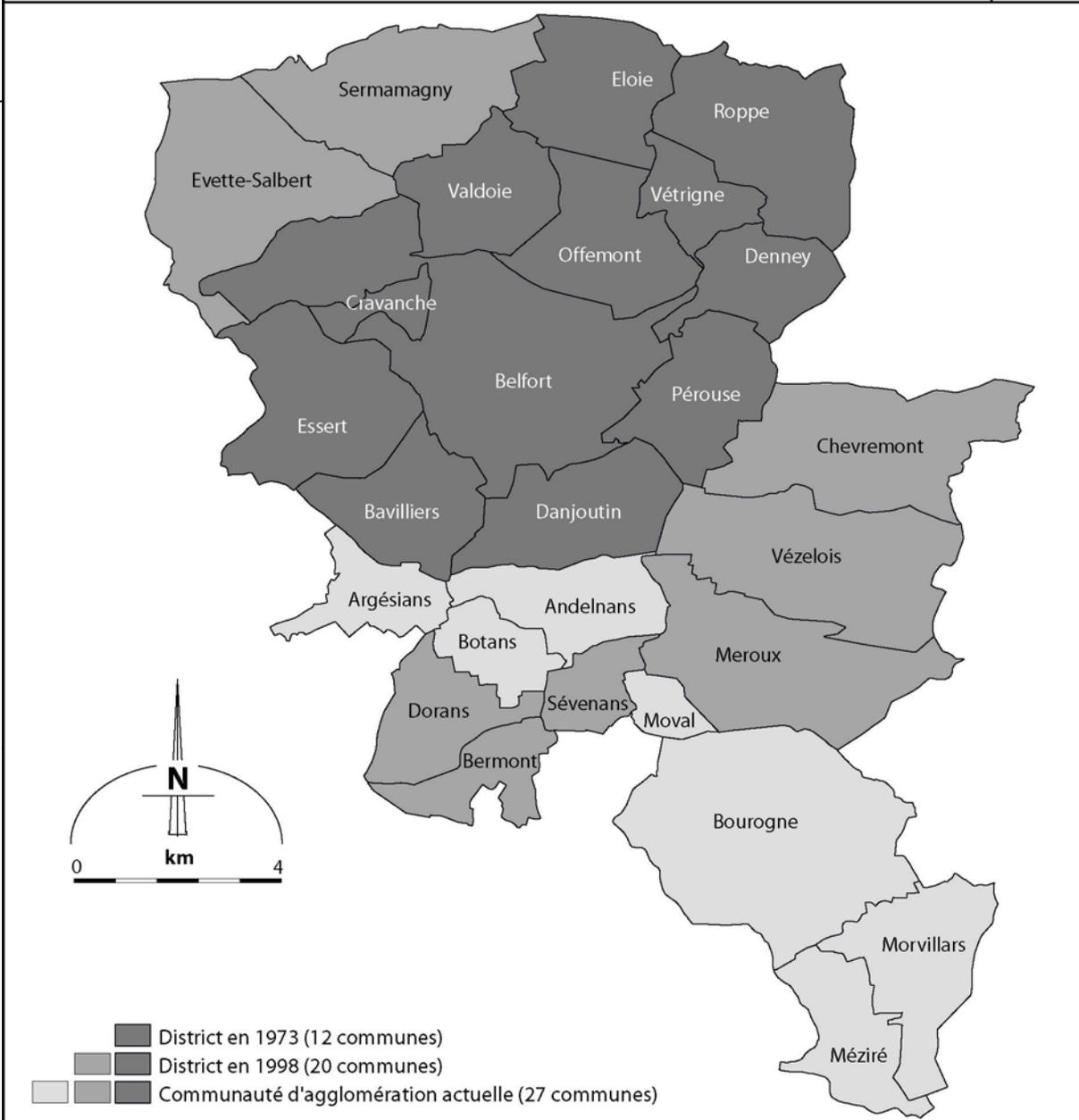
1.1.1. De nouvelles instances juridiques et politiques

L'intercommunalité¹ est issue d'une spécificité de la France, et répond à son découpage administratif particulièrement fin, hérité de la révolution française² (rappelons que la France compte 36 700 communes³ environ, soit presque autant que le reste de l'Union européenne à ses débuts, Tableau 1.1.01). Ce nombre très élevé d'unités de base fait débat depuis longtemps, certains estimant qu'il s'agit d'une richesse et d'une chance pour le pays, d'autres qu'au contraire, il ne permet pas une gestion correcte du territoire. Toutes les tentatives visant à réduire ce nombre important se sont traduites par un échec, souvent cuisant : la France a toujours choisi de maintenir la commune comme socle administratif incontournable. Pourtant, dans les faits, un certain nombre de dispositifs existent pour les regrouper dans le cadre de projets particuliers, et ce depuis plus d'un siècle. La première organisation juridique intercommunale date en effet de 1890 (loi du 22 mars 1890) : elle instaure les Syndicats Intercommunaux à Vocation Unique (SIVU), forme de coopération monofonctionnelle de service qui accompagnera le développement des réseaux d'eau et d'électricité au début du 20^{ème} siècle. En 1959, les Syndicats Intercommunaux à Vocation Multiples (SIVOM) et les districts sont créés ; ils prennent pied sur deux nouveaux principes - la fiscalité propre et les compétences minimales obligatoires - et peuvent intervenir dans des domaines plus variés que les précédents SIVU. Les premières communautés urbaines voient ensuite le jour en 1966 (elles sont imposées pour les quatre agglomérations de Bordeaux, Lille, Lyon et Strasbourg) et les Syndicats d'Agglomération Nouvelle (SAN) apparaissent en 1970. En 1977, la publication du rapport Guichard, document critique envers la nature technocratique de l'intercommunalité mise en place à partir des années 1960, relève une contradiction intéressante entre l'unité de problèmes et de destins qui se nouent dans les agglomérations urbaines et la mosaïque communale héritée de l'histoire. Il préconise donc une coopération renforcée entre les communes, mais précise que celle-ci doit se faire dans le respect des identités communales, et confirme ainsi la place de la commune comme élément de base irremplaçable de la hiérarchie administrative française.

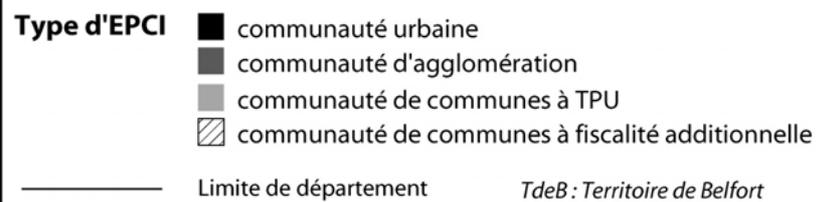
¹ L'intercommunalité ou « coopération intercommunale » est le fait que plusieurs communes puissent se regrouper, sous forme d'association ou par l'intermédiaire d'un établissement public pour mener à bien certains projets nécessitant une mise en commun des ressources.

² On se souvient en effet du débat qui animait à cette époque Thouret, Sieyès, Condorcet d'un côté, et Mirabeau de l'autre. Les premiers arguaient que la démocratie serait plus forte dans des communes de grande taille et demandaient la création de 6 500 communes. Mirabeau quant à lui préférait assurer le pouvoir central sur l'émiettement communal, et réclamait la transformation des 44 000 paroisses françaises en autant de communes. La loi de 1789 a tourné à l'avantage de Mirabeau en créant 38 000 communes, ce que Sieyès a qualifié de « chaos politique où l'on ne voit goutte ».

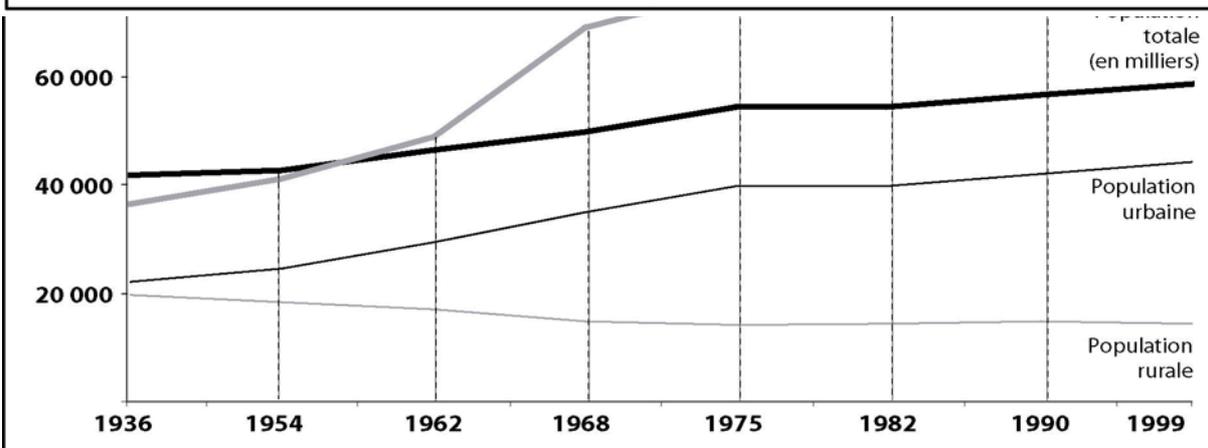
³ Commune : « circonscription administrative la plus petite du territoire français » (Brunet *et al.*, 1992).



Sources : Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort ; Auteur : JP. Antoni (2001)



Source : Ministère de l'Intérieur
Cartographie : Direction générale des collectivités locales, DESL juin 2002 ; Auteur : JP. Antoni (2003)

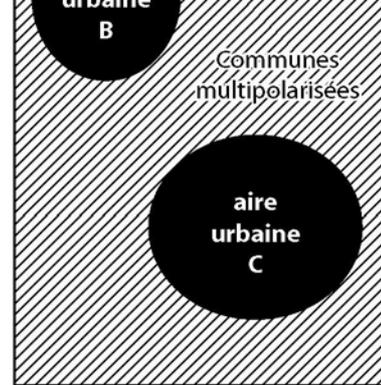


Sources : INSEE, INED ; Chavouet (2000)

aire urbaine : ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain et par des communes rurales ou unités urbaines (couronne périurbaine) dont au moins 40% de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle ou dans des communes attirées par celui-ci.

couronne périurbaine : ensemble des communes de l'aire urbaine à l'exclusion de son pôle urbain.

communes multipolarisées : communes rurales et unités urbaines situées hors des aires urbaines, dont au moins 40% de la population résidente ayant un emploi travaille dans plusieurs aires urbaines, sans atteindre ce seuil avec une seule d'entre elles, et qui forment avec elles un ensemble d'un seul tenant.



Sources : INSEE (1997) ; Auteur : JP. Antoni (2001)

Gléau *et al.*, 1996). Les communes industrielles sont ensuite des communes rurales qui comptent un ou plusieurs établissements industriels, commerciaux ou administratifs de 20 salariés au moins, à condition que l'ensemble de ces établissements emploie au moins 100 personnes. Enfin, les communes dortoirs sont des communes rurales non industrielles répondant à la condition suivante¹⁸ :

$$(PAE / PA) - 1,2 (PAG/PMO) \leq 0$$

avec : PAE : Population active résidant dans la commune mais travaillant hors de la commune ;
 PA : Population active résidant dans la commune ;
 PAG : Population des ménages ordinaires vivant de l'agriculture ;
 PMO : Population des ménages ordinaires.

Les villes dortoirs sont donc des communes qui ont un faible taux d'agriculteurs (terme PAG/PMO) et/ou une forte proportion de migrants alternants (terme PAE/PA) ; une forte proportion de personnes vivent dans ces communes sans y travailler, si bien qu'elle ne fait en fait qu'y dormir. Néanmoins, l'INSEE estime que l'indicateur des ZPIU est également devenu obsolète : il montre que le nombre de communes en ZPIU augmente de façon constante (on passe de 9 000 en 1962 à 29 000 en 1990), si bien qu'en 1990, l'espace rural traditionnel hors ZPIU ne représente plus qu'un quart du territoire et 4% de la population totale (Nicot, 1996). A l'origine de cette croissance extraordinaire, on voit alors l'explosion des déplacements quotidiens, autant que la très forte baisse des actifs travaillant dans l'agriculture (Le Jeannic, 1996).

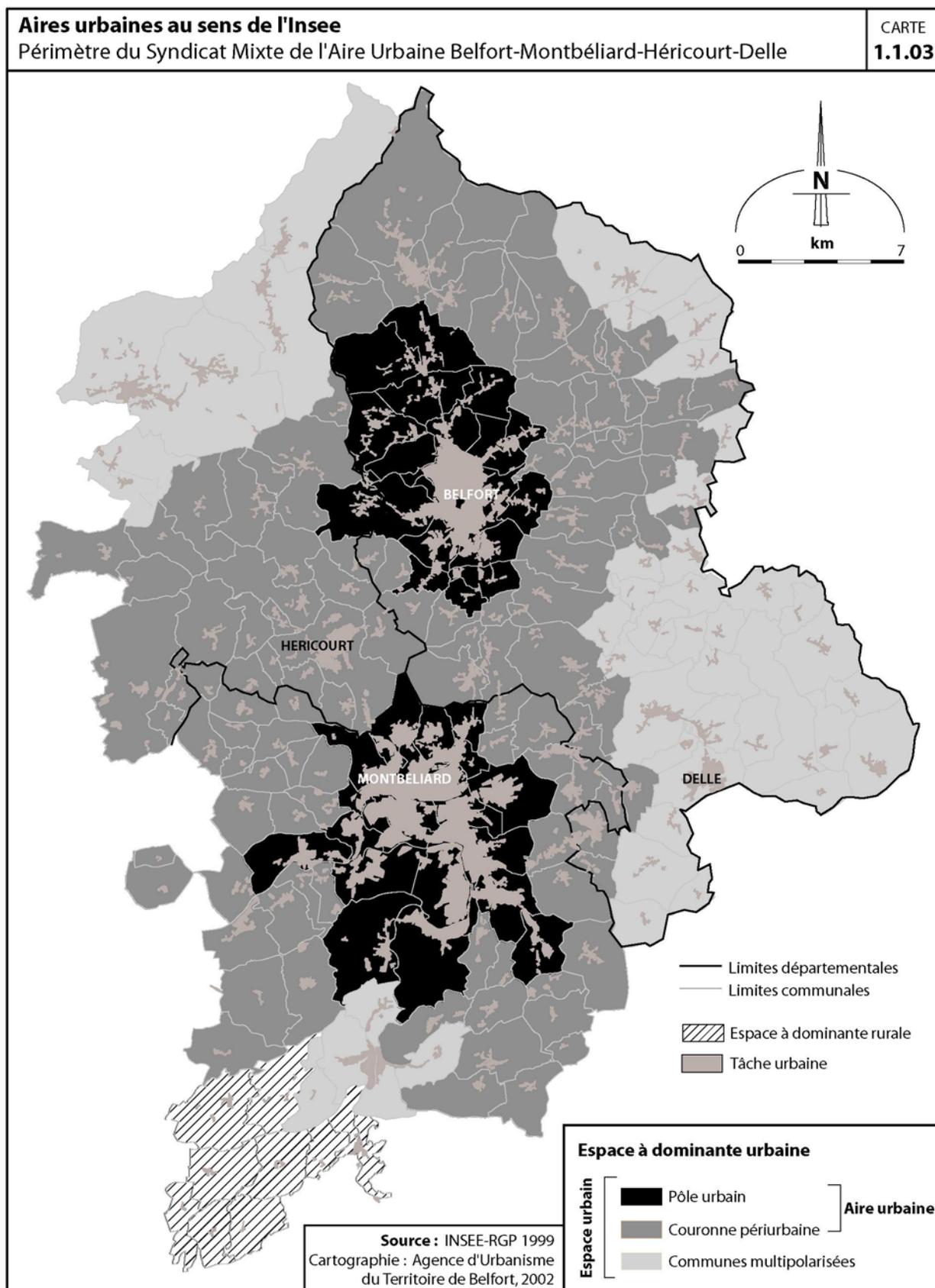
En 1997, une nouvelle série de notions mises au point par l'INSEE vient donc remplacer les ZPIU pour mieux appréhender les territoires urbains : le Zonage en Aires Urbaines ou ZAU (Le Jeannic *et al.*, 1997). Pour définir ce nouvel indicateur, **il ne s'agit plus de tenir compte de la morphologie des villes, c'est-à-dire d'intégrer la continuité des zones bâties, mais de focaliser sur le fonctionnement des hommes au sein de ces zones bâties, indépendamment de leur forme. Les experts consultés par l'INSEE à ce sujet ont montré un accord unanime pour considérer les Migrations Domicile-Travail (MDT) comme le critère le plus pertinent pour étudier les relations qu'une ville peut entretenir avec sa périphérie** : « La dissociation croissante des lieux de résidence et des lieux de travail, la plus grande dispersion des premiers et la concentration des seconds, font aujourd'hui de l'offre de travail le vecteur le plus structurant de la centralité dans les nouveaux espaces métropolitains », comme l'ont dit S. Berroir *et al.* (1996). L'INSEE propose alors de baser l'indicateur essentiellement sur le

¹⁸ Afin de pallier les décalages entre le temps où les données nécessaires au calcul sont recensées et le temps où elles sont disponibles, on peut utiliser une deuxième formule tenant compte de critères observés pour le recensement précédent. Ceci permet de publier les ZPIU dès la fin du recensement.

lecture des MDT entre des pôles d'emploi et les communes qui accueillent ceux qui y travaillent. Le ZAU permet ainsi de distinguer le pôle urbain, l'aire urbaine en tant que telle, la couronne périurbaine, les communes multipolarisées et l'espace urbain multipolaire. Les définitions de ces indicateurs et leur imbrication sont résumées dans la Figure 1.1.02

Parallèlement, le ZAU permet aussi de distinguer l'espace à dominante urbaine, c'est-à-dire l'ensemble des pôles urbains et des communes périurbaines, de l'espace à dominante rurale, c'est-à-dire l'ensemble des communes ou petites unités urbaines n'appartenant pas à l'espace à dominante urbaine. La campagne est ici encore définie par opposition à la ville, mais compte tenu de l'intégration du critère fonctionnel, elle ne s'oppose plus dans une simple dichotomie. Calculé à partir du recensement de 1990, l'espace à dominante urbaine regroupe 43 millions d'habitants sur les 57 millions que comptait la France à cette époque, soit plus des trois quarts. A l'intérieur de cet espace urbain, 34 millions de personnes habitent les 361 pôles urbains et les 9 millions restant se dispersent dans les communes périurbaines. L'espace à dominante rurale regroupe quant à lui 13 millions de personnes environ (soit presque un quart) mais représente les deux tiers des communes françaises, pour 71% de la superficie métropolitaine.

L'aire urbaine, c'est-à-dire le pôle urbain auquel les communes rurales ou unités urbaines qui envoient au moins 40% de leurs actifs ayant un emploi ont été agrégées par itérations successives, apparaît ainsi comme un indicateur intéressant.



C'est en effet celui qui tient réellement compte du fonctionnement des villes pour déterminer leurs limites. Mais, il introduit aussi une double restriction dans la prise en compte de leurs périphéries. D'abord, les aires urbaines ne retiennent que les migrations orientées vers le pôle urbain comme seul lieu de destination (même si celui-ci s'agrandit au fur et à mesure des itérations). Le problème des migrations n'est donc traité que dans le sens « périphérie vers centre » et ne tient pas compte, par exemple, d'éventuels déplacements « périphérie vers périphérie ». De surcroît, les migrations prises en compte ne sont que des déplacements de travail, et on sait, depuis l'étude de J.P. Orfeuil et P. Troulay (INRETS¹⁹, 1989) par exemple, que ceux-ci ne représentent qu'environ 11 % du total des déplacements urbains quotidiens. Ensuite, les aires urbaines ne retiennent que les communes fortement polarisées vers le centre urbain, avec un seuil de 40% (plancher plutôt élevé, mais néanmoins critiquable et assez peu justifié par l'INSEE). Ainsi, la couronne périurbaine que forment les communes périphériques attirées par le centre pour des relations de travail à hauteur de 40% de la population active au moins constitue une sorte de zone tampon entre espace urbain et espace rural, entre lesquels la limite est difficile à établir. Dans le cas de l'agglomération de Belfort, par exemple, il est possible de visualiser l'aire urbaine (déterminée par l'INSEE) à l'intérieur du périmètre de l'aire urbaine (au sens du Pays de la loi Voynet). On constate alors que les communes périurbaines liées au pôle belfortain sont contiguës à celles liées au pôle de Montbéliard (Carte 1.1.03). Parallèlement, on constate également sur cette carte que toutes les communes du Territoire de Belfort sont des communes « à dominante urbaine » au sens de l'INSEE. Ceci est dû à la très forte polarisation de la ville de Belfort, dans son territoire départemental très petit²⁰. Il n'y a donc plus ici de limite franche entre la ville et la campagne, même si l'indicateur « aire urbaine » reste critiquable pour la simplicité des relations ville-campagne (relations domicile-travail uniquement) qu'il comprend, et que N. Mathieu (1998) a souligné.

Ainsi, les aires urbaines permettent de constater que depuis 1982 au moins, **les répartitions de population dans les aires urbaines ont changé. En effet, si l'on utilise les indicateurs de 1990 avec les chiffres du recensement de 1982, on constate que les pôles urbains représentent à peu de choses près le même poids démographique aux deux dates. En revanche, les couronnes périurbaines qui ne comptaient que 6 millions d'habitants en 1982, en comptent 9 millions en 1990, soit une augmentation de près de la moitié en huit ans** (Tableau 1.1.03). Les données de recensement de 1999 ont permis d'actualiser le ZAU, et de constater ici encore des changements notables, qui viennent confirmer l'importance prise par l'espace périurbain, et la pertinence des nouveaux indicateurs. Globalement, les aires urbaines prennent de l'importance et accueillent en 1999 presque 4 millions d'habitants de plus qu'en 1990 : 45 millions de personnes y vivent contre 41 en 1990 (Tableau 1.1.04). En 1999, 77% de la population métropolitaine habite dans une aire urbaine (73% en 1990) ; 21% de la population des aires urbaines réside dans les couronnes périurbaines (17% en 1990) ; 30% des

¹⁹ INRETS : Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité.

²⁰ Ici, l'indicateur de l'INSEE, même s'il est tout à fait logique, peut faire sourire celui qui connaît le caractère très rural de certaines communes du Territoire de Belfort.

communes métropolitaines font partie des couronnes périurbaines qui rassemblent plus de 9 millions d'habitants (7 millions en 1999).

Ces chiffres doivent bien entendu être comparés avec l'évolution globale des aires urbaines. Car si leur population augmente, leur nombre diminue : on dénombre 354 aires urbaines en 1999 contre 361 en 1990 : 25 disparaissent et 18 se créent. Pour celles qui se sont créées, P. Bessy-Petri *et al.* (2001) observent deux phénomènes. Premièrement ce dépassement peut résulter d'une extension territoriale de l'unité urbaine, qui gagne ainsi des emplois (c'est le cas pour 11 aires urbaines). Deuxièmement, cet accroissement peut être la conséquence d'un accroissement du nombre d'emplois, sans extension géographique (c'est le cas pour 6 aires urbaines).

Près de quatre millions d'urbains en plus Différence de population entre 1990 et 1999									TABLEAU 1.1.03	
Catégorie de commune	Population de 1982		Ecart de population en 1982 dû à la différence des définitions de 1982 et 1990		Population de 1982 dans la définition de 1990		Variation de population due aux mouvements démographiques entre 1982 et 1990		Population de 1990 dans la définition de 1990	
	Effectif	%	Absolu	Relatif	Effectif	%	Absolue	Relative	Effectif	%
Pôle urbain	32936	60,6	525	1,3	33357	61,4	1015	3,0	34372	60,7
Communes périurbaines	6045	11,1	1676	27,7	7720	14,2	1147	14,9	8867	15,7
dont										
- couronnes périurbaines	4789	8,8	1156	24,1	5945	10,9	961	16,2	6906	12,2
- communes multipolarisée	1256	2,3	519	41,3	1775	3,3	186	10,5	1962	3,5
Espace à dominante urbaine	38981	71,7	2200	5,4	41077	75,6	2162	5,3	43239	76,4
Espace à dominante rurale	15354	28,3	-2200	-13,6	13258	24,4	118	0,9	13376	23,6
Total	54335	100	0	0	54335	100	2280	4,2	56615	100
Sources - INSEE, Recensement Général de la Population (dénombrement)										

Ainsi, la considération des chiffres des Recensements Généraux de la Population (RGP) à travers les indicateurs de l'INSEE permet de constater que la tendance est à la concentration croissante de la population dans les villes. Mais, cette tendance n'est pas nouvelle ; elle apparaît comme une constante depuis le recensement de 1936. **La nouveauté lisible depuis 1982 (et peut-être un peu avant), réside dans le fait que le périmètre des aires urbaines évolue dans le même sens que l'intercommunalité : de plus en plus de communes sont regroupées en leur sein** (les aires urbaines couvrent 176 000 km² en 1999, contre 132 000 en 1990).

L'évolution des populations urbaines n'est pourtant pas proportionnelle à l'évolution des territoires urbains : la superficie des villes augmente plus rapidement que leur population. Cette idée est également celle qui ressort de la lecture de l'Atlas des aires urbaines réalisé en 2001 par la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme. Ce document de la FNAU insiste notamment sur le fait que les nouvelles communes intégrées dans les aires urbaines se situent en moyenne à 30 km de la ville-centre. Mais cet indicateur cache de profondes variations entre les aires millionnaires pour lesquelles les distances atteignent 60 km en

moyenne et les petites aires urbaines (inférieures à 100 000 habitants), pour lesquelles la limite se fixe autour de 14 km. **De ceci découle naturellement une nouvelle répartition des populations à l'intérieur des territoires urbains et la FNAU montre qu'un quart des aires urbaines suit un profil identique : 1/3 de la population habite la ville-centre, 4/10 vivent dans la banlieue, et 1/4 dans la périphérie.** Ce profil moyen se décline de différentes manières, suivant la taille de l'aire urbaine considérée, selon la règle grossière que plus celle-ci est importante en termes de population, moins le pourcentage d'habitants du centre est important.

La population dans les catégories du zonage en aires urbaines						TABLEAU 1.1.04
Nouvelles et anciennes délimitations						
	Délimitations 1999			Délimitations 1990		
	Nombre de communes	Population en 1999	Population en 1990	Nombre de communes	Population en 1999	Population en 1990
Espace à dominante urbaine	18030	47965268	46129541	13224	44890927	43234159
Aires urbaines	13908	45052901	43379888	10687	42792703	41277871
Pôles urbains	3100	35708162	34807335	2793	35216858	34372027
Couronnes périurbaines	10808	9344739	8572553	7894	7575845	6905844
Communes multipolarisées	4122	2912367	2749653	2537	2098224	1956288
Espace à dominante rurale	18535	10553127	10485614	23341	13627468	13380996
Ensemble	36565	58518395	56615155	36565	58518395	56615155
Sources - Recensement Général de la Population INSEE (1990, 1999)						

A partir de ces quelques chiffres, la FNAU (1999) a établi une synthèse dès 1999, en notant que le dynamisme démographique a été maximum dans les aires urbaines dont la population était comprise entre 500 000 et 1 000 000 d'habitants ; ce sont les grandes « métropoles d'équilibre » de taille intermédiaire (comme Toulouse ou Nantes) qui ont le plus profité de la croissance de la population française. Parallèlement, dans de nombreuses aires urbaines, les villes-centre et leur banlieue sont en déclin alors que leur périphérie est aujourd'hui le premier territoire d'accueil de la croissance démographique, ce rôle étant d'autant plus prononcé que la taille de l'aire urbaine est importante. La FNAU en tire la conclusion fondamentale que **l'étalement urbain est le phénomène majeur des évolutions urbaines actuelles. Ignorant superbement les frontières administratives et les périmètres institutionnels, c'est lui qui explique une grande part de la modification de l'intercommunalité, la nécessité de trouver de nouveaux acteurs pour la gestion technique des territoires urbains, et l'obsolescence des anciens indicateurs statistiques pour appréhender les villes.** C'est donc sur l'étalement urbain, ce phénomène tant décrié pour expliquer l'évolution récente de l'urbanisation, qu'il convient de s'appesantir.

1.2. L'idée d'étalement de la ville

Parallèlement aux modifications de l'intercommunalité et à l'émergence des indicateurs « aires urbaines », de nombreux termes sont apparus depuis les années 1980, qui, dans une confusion théorique assez générale, qualifient à peu près la même chose : nouvelles banlieues, suburbanisation, rurbanisation, exurbanisation, éclatement urbain, dédensification, déconcentration urbaine, urbanisation inutile²¹, métapolis, métropolisation ou conurbanisation, ville émergente, éclatée, défaite, éparse, ou encore hyperurbanité, ne sont que quelques exemples de ces nouvelles expressions qui foisonnent désormais dans la littérature consacrée à la ville, et que l'on retrouve sans cesse dans les textes qui accompagnent les modifications de l'intercommunalité, les travaux des agences d'urbanisme et les études de l'INSEE. Toutes appuient sur une partie ou focalisent sur un aspect particulier des évolutions ou des changements actuels. Mais au-delà de ces mots aux significations très particulières, renvoyant parfois à des notions très précises, une expression plus commune dans le vocabulaire de la géographie et de l'urbanisme semble les chapeauter tous : l'étalement urbain. Dans le langage courant, l'étalement apparaît comme un aménagement « de façon à occuper une grande surface, notamment pour montrer (chaque objet, chaque partie) », ou bien comme l'action d' « étendre sur une grande surface en une couche fine » (Petit Robert, 1993).

1.2.1. Une idée aux synonymes multiples

Dans le langage plus spécifique de la ville, l'étalement urbain prend une autre dimension, et sa définition est un peu plus complexe, mais on retrouve en filigrane l'idée de surface plus grande et de couche fine. En effet, suivant les définitions, **l'étalement urbain peut apparaître comme un « processus par lequel une agglomération occupe une plus grande superficie à une densité plus faible » (Bussière, 1993), « par lequel la densité et l'intensité du développement diminuent au centre pendant que la périphérie connaît une croissance urbaine, donc de l'urbanisation de territoires jusque-là ruraux, sous-entendant que le développement au centre [de la ville] est nécessairement dense et que celui en périphérie ne peut être que de type bungalow²² » (Bussière, 1993), « impliquant des territoires ruraux qui « subiraient » un développement immobilier de faible densité, possiblement spatialement disjoint, générant des migrations alternantes et, enfin, la construction de nouveaux équipements et infrastructures » (Simard, 1997)²³ ou encore une « prolifération de formes inappropriées à l'espace politique qui**

²¹ Le caractère résolument négatif et néfaste à la qualité de la vie de certaines caractéristiques de l'étalement urbain a suggéré à M. Barcelo de substituer l'expression « urbanisation inutile » à celle d'étalement urbain. Ainsi, pour lui, l'urbanisation inutile correspond à un « processus de développement urbain en dehors d'un périmètre d'urbanisation regroupant les espaces viabilisés et viabilisables [à moindre coûts] et répondant aux besoins d'urbanisation » (Barcelo, 1993).

²² Le terme bungalow est ici employé dans son sens canadien pour désigner un habitat de type individuel, généralement pavillonnaire.

²³ Notons également en complément que de façon antinomique, M. Simard (1997) définit la consolidation urbaine comme un « processus privilégiant la densité, la transformation et la connexité

les supporte » qui « conduit à dilater la ville indéfiniment en faisant fi des structurations existantes » (Mercier *et al.*, 1997), et qui constituerait finalement le « processus le plus évident de la métropolisation » (Bassand, 2000). Ces définitions sont très intéressantes, mais caractérisent le phénomène de façons trop diverses pour qu'une synthèse en émerge simplement. Car ce qui frappe effectivement dans la première approche de l'étalement urbain, c'est la carence de définitions formelles qui accompagnent le phénomène : tout le monde parle de l'étalement urbain, mais à sa manière, et rares sont ceux qui le définissent précisément, si ce n'est pas une série de néologismes comme ceux listés plus haut. Les indicateurs permettant de le mesurer sont d'ailleurs également peu nombreux et pauvres (Barcelo, 1999), ce qui ne facilite pas sa formalisation. Témoin de cette carence, le livre du CERTU²⁴ : *La forme des villes ; sous-titre : Caractériser l'étalement urbain et réfléchir à de nouvelles modalités d'action* (CERTU, 2000). Pour parler de l'étalement urbain, il convient effectivement d'abord de le caractériser, et les 99 pages de l'ouvrage, recueillant les témoignages de J.L. Pinol, V. Fouchier, J. Lévy et F. Beaucire montrent qu'il ne s'agit pas d'une mince affaire, et que tout dépend finalement de l'angle d'attaque choisi pour en parler.

Pour s'assurer de bien saisir toutes les idées contenues dans l'étalement, il convient donc de trouver sa définition. Littéralement, l'étalement est l'action d'étaler, mais ce verbe possède au moins trois sens, dont deux apparaissent comme des fausses pistes dans le cadre développé ici : l'étalement urbain ne signifie pas que la ville s'étale dans le sens où elle chute, où elle se vautre, ni que la ville s'étale dans le sens où elle s'expose comme une marchandise qui voudrait être vendue. Ainsi, il ne reste plus qu'un seul sens, qui comprend néanmoins plusieurs notions : **c'est globalement l'idée d'une re-disposition d'objets les uns à coté des autres, re-disposition qui se fait à plat alors que la précédente disposition pouvait ne pas l'être (elle pouvait être pliée ou roulée) et qui occupe en définitive une surface plus importante qu'au départ.** Pour préciser ces notions, dressons rapidement une liste de synonymes (on trouve une trentaine de mots environ²⁵) et voyons à quoi ils renvoient, en nous référant à des dictionnaires courants²⁶, et au Dictionnaire critique de R. Brunet *et al.* (1992). Les définitions de ces termes sont listées dans la Figure 1.1.03 qui les regroupe en plusieurs catégories, suivant la particularité de leur sens.

dans un objectif de limitation des besoins de nouveaux équipements, infrastructures et grandes migrations alternantes et de préservation des espaces ruraux naturels ».

²⁴ CERTU : Centre d'Etudes sur les Réseaux de Transport et l'Urbanisme.

²⁵ à partir du dictionnaire des synonymes du Robert de H. Bernaud de Chazaud (1989), de celui de P. Macé et M. Guinard, paru aux éditions Nathan en 1990 et du Petit Larousse dans sa version CD Rom. Ce dernier dictionnaire, numérique, n'est pas un dictionnaire des synonymes, mais il possède un moteur de recherche permettant de sélectionner l'ensemble des articles et des définitions dans lesquels le mot recherché figure. C'est ainsi que nous l'avons utilisé pour construire la liste des synonymes.

²⁶ Nous utilisons le Petit Robert de 1993, et le Petit Larousse de 1995 (version CD Rom).

Transmettre une émission (par la radio, la télévision), propager ; 3. Assurer la distribution commerciale d'une distribution

Progresser Se développer, s'étendre par un progrès ; 2. Avancer, gagner du terrain

2. Idée de contact, de pénétration

Appliquer 1. Mettre (une chose) sur (une autre) de manière à faire toucher, recouvrir, adhérer, laisser une empreinte

Couvrir Revêtir d'une chose, d'une matière, pour cacher, fermer, orner, protéger

Recouvrir 1. Couvrir de nouveau ce qui est découvert. Mettre une nouvelle couverture, un nouveau revêtement à ; Couvrir entièrement ; 3. Cacher masquer ; 4. S'appliquer à, correspondre à

Délayer 1. Détramper (une substance dans un liquide) ; 2. Exposer trop longuement, de manière diffuse

Napper 1. Couvrir comme d'une nappe ; 2. Recouvrir (une viande, un gâteau) d'une couche de sauce, de gelée, etc)

Empiètement 1. Action d'empiéter, son résultat, usurpation ; 2. Extension progressive d'une chose aux dépens d'une autre

Déconcentrer 1. Diminuer ou supprimer la concentration de ; 2. Faire perdre sa concentration à, distraire l'attention de ; 3. Transférer des pouvoirs de décision à certains agents du pouvoir central

Emettre 1. Réduire (qqch., une substance) en miettes, en petits fragments ; 2. Disperser en tous sens, éparpiller

5. Idée de temps

Dérouler 1. Défaire, étendre ; 2. Etaler sous le regard ; 3. Montrer, développer successivement

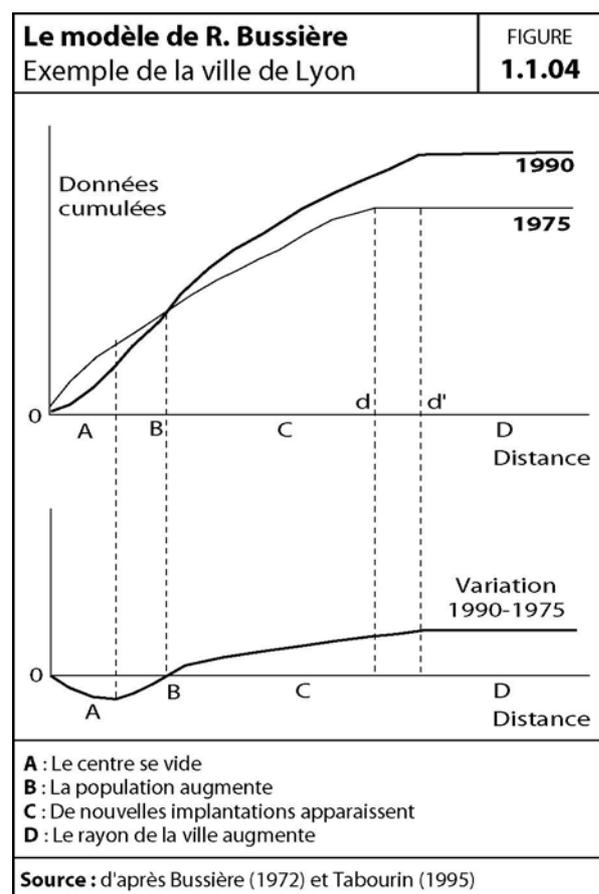
Echelonner 1. Disposer par échelon, de distance en distance ; 2. Répartir dans le temps à intervalles plus ou moins réguliers

Tartiner 1. Etaler (du beurre, etc) sur une tranche de pain pour faire une tartine (tartine : développement interminable sur un sujet quelconque) ; 2. Faire un long développement ;

Les fausses pistes 1. Afficher, Déballer, Epater, Exhiber, Montrer ; 2. S'affaler, Se vautrer, Coucher

Au total, si l'on ne tient pas compte des deux fausses pistes, **les synonymes permettent de dégager cinq idées liées à l'étalement** : 1. L'idée de temps ; 2. L'idée de croissance ; 3. L'idée de contact ou de pénétration ; 4. L'idée de distribution ; 5. L'idée d'affaiblissement.

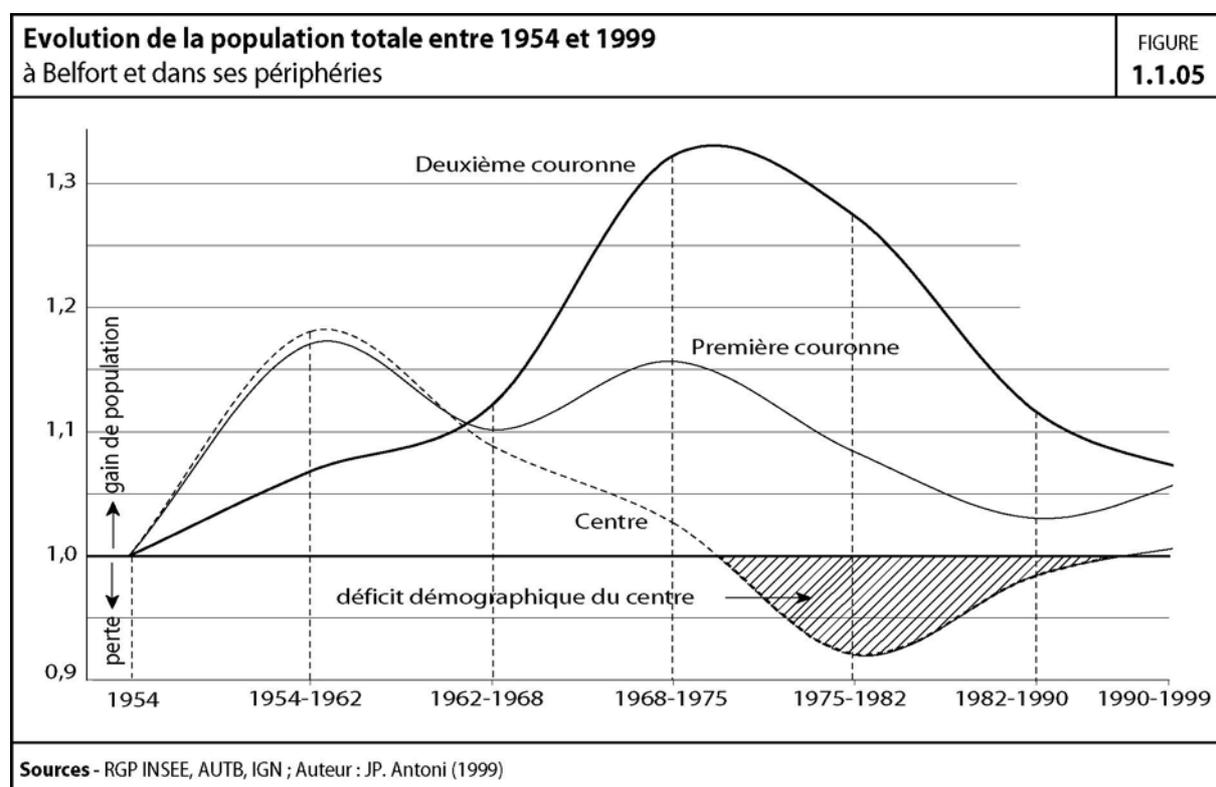
Une autre indication relativement importante qui permet de définir l'étalement urbain est la conclusion que tire R. Bussière, reprise dans les travaux de E. Tabourin (1995) et de A. Bonnafous, (1998), du modèle qu'il a élaboré au début des années 1970, dans la lignée des modèles de localisation néo-classiques (on se référera alors aux travaux de W.A. Alonso (1960, 1964)), et plus généralement du courant de la nouvelle économie urbaine (telle qu'elle est définie par P.H. Derycke (1979) ou F. Gannon (1992) par exemple). En tentant de repérer les mutations du système de localisation en lien avec la croissance urbaine d'un certain nombre de villes (parmi lesquelles Montréal, Toronto, Stockholm, Winnipeg, Malmö et Helsingburg) et plus particulièrement de Paris entre 1876 et 1968, il obtient une image synthétique et diachronique de la répartition des populations dans l'espace. En reprenant ces



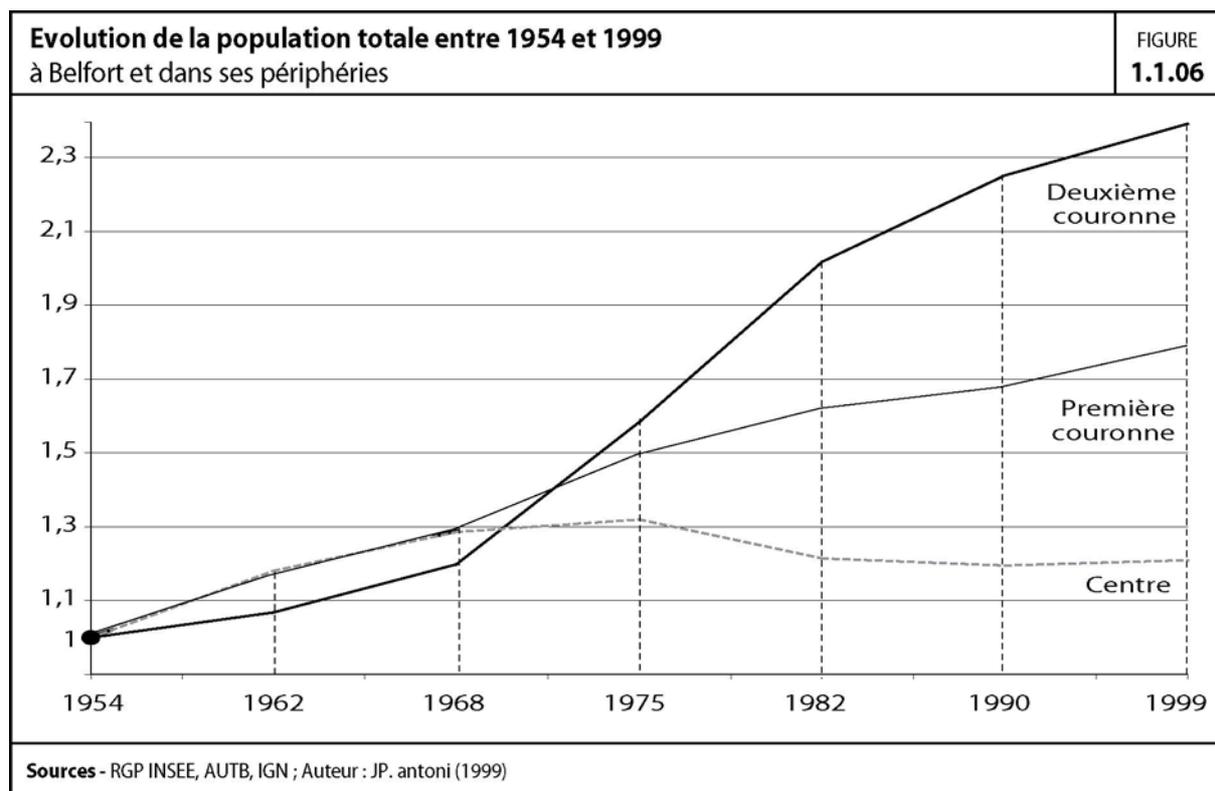
travaux sur le cas de Lyon entre 1975 et 1990, E. Tabourin (1995) a montré que cette répartition est liée à deux phénomènes qui correspondent globalement aux cinq idées que nous venons d'associer à l'étalement urbain (Figure 1.1.03). Premièrement, la croissance urbaine correspond à une double progression : une croissance de la population (les données cumulées de 1990 se situent, à partir du point B, au dessus de celles de 1975) et une croissance spatiale de la ville (entre les deux dates, de nouvelles populations se localisent entre d et d' , en repoussant plus loin du centre de la ville les espaces non occupés). Deuxièmement, le modèle montre que cette double croissance n'est pas une

simple « concrétion »²⁷, c'est-à-dire pas un simple ajout de population aux franges urbaines, mais qu'elle introduit un changement au sein même du rayon de la ville. Ce changement intervient en deux étapes. Dans un premier temps, les effectifs de population baissent dans la partie la plus centrale, comme en témoigne la courbe des données cumulées, inférieure en 1990 à celle de 1975 : le centre se vide. Dans un deuxième temps, les effectifs augmentent entre les point A et d. La pente de la courbe de populations cumulées de 1990 devient alors supérieure à celle de 1975 : de nouvelles implantations de populations apparaissent. Globalement, on peut donc résumer l'ensemble de ces mesures en quatre grands points, notés de A à D, grossièrement localisés sur le Figure 1.1.05 : **A. Le centre se vide ; B. La population augmente ; C. De nouvelles implantations de population apparaissent ; D. Le rayon de la ville s'accroît.** On en apprend donc ici un peu plus sur la forme que l'urbanisation peut prendre et l'on a peu de mal à la rapprocher de l'idée de croissance (Idée 2, caractéristique B et C), de l'idée de contact et de pénétration (Idée 3, caractéristique D), et de l'idée de distribution et d'affaiblissement (Idées 4 et 5, caractéristique A), retenues plus haut pour qualifier l'étalement urbain.

Ces résultats sont finalement assez proches de la réalité observée sur le terrain. Pour l'agglomération de Belfort, par exemple, une cartographie de l'évolution de la population au sein des couronnes périurbaines depuis le recensement de 1936, montre effectivement que les dynamiques démographiques correspondent à une augmentation générale de la population urbanisée : entre 1936 et 1999, la zone concernée gagne de la population. Mais celle-ci n'intervient pas dans le centre (la commune de Belfort proprement dit), qui gagne toujours moins de population que les communes périphériques, et qui en perd entre 1975 et 1990 (Figure 1.1.05) (Antoni, 2000). On constate également que la couronne dans laquelle la croissance démographique est la plus importante se décale au fur et à mesure du temps, vers la périphérie : de 1936 à 1975, la première couronne est la plus dynamique ; de 1975 à 1990, c'est la deuxième couronne qui augmente le plus en nombre d'habitants.



Le Figure 1.1.05 montre bien la rupture de 1975 et offre de plus quelques indications supplémentaires quant à la manière dont les choses se sont passées. En effet, jusqu'en 1975, le centre, la première et la deuxième couronne évoluent à peu près de façon identique. Entre 1968 et 1975, le centre qui évoluait jusqu'ici exactement comme la première couronne, prend néanmoins une nouvelle direction, et commence à stagner. La deuxième couronne marque quant à elle un décalage dans cette même période, avec une croissance de population de près d'un tiers supplémentaire (+32,24%). Après 1975, cette rupture est consommée et des tendances différentes, particulières à chaque espace (centre, première couronne, deuxième couronne) s'affirment de plus en plus franchement. La population du centre régresse de façon constante ; celle de la première couronne suit une tendance identique à celle qu'elle a toujours connu depuis 1954 (et qu'elle partageait jusque là avec les autres espaces) ; celle de la deuxième couronne enregistre les plus fortes progressions (+50,98% d'augmentation entre 1975 et 1999). On visualise donc bien à travers l'exemple de Belfort, qu'à **partir de 1975, l'augmentation générale de la population ne se fait plus à partir de la couronne centrale ; elle est essentiellement liée aux couronnes périphériques et tout particulièrement à la deuxième couronne qui enregistre alors les progressions les plus fortes.**



Un second graphique (Figure 1.1.06) permet de nous convaincre de cette idée, en rapportant les évolutions intercensitaires à 1 au départ. La période 1954-1962 est la seule période durant laquelle l'évolution des populations évolue positivement pour les trois espaces. Ensuite, l'évolution diffère selon les couronnes, mais, à partir de 1975, on constate que la première et la deuxième couronne enregistrent une diminution simultanée (et presque parallèle jusqu'à

nos jours). Le fait le plus notable lisible sur ce graphique est l'opposition constatée entre 1962 et 1990, entre l'évolution des populations du centre et celles de la deuxième couronne : avec une période intercensitaire de décalage, c'est au moment où le centre perd de la population que celle de la deuxième couronne augmente le plus. Ceci traduit effectivement une rupture dans le développement démographique de l'agglomération belfortaine, qui privilégie l'urbanisation de la deuxième couronne au détriment des espaces plus centraux. Ce constat correspond globalement à l'idée de l'étalement urbain du modèle de R. Bussière. Mais, Belfort n'apparaît pas comme un cas unique : au niveau national, les mêmes chiffres opposant le centre et ses périphéries sont mesurés. Ainsi, par l'étude parallèle des soldes migratoires et des excédents naturels entre 1962 et 1990, on montre aisément que les espaces centraux (centre et banlieue) ne sont dynamiques que grâce à leur excédent naturel.

Le fait que ces résultats ne puissent être mesurés qu'en comparant deux dates (entre 1975 et 1990 dans la cas du modèle de R. Bussière, entre 1954 et 1999 dans le cas de Belfort) renvoie à l'idée de temps (Idée 1) et permet de penser que l'étalement urbain est un processus, particulièrement un processus d'urbanisation.

1.2.2. Un processus d'urbanisation

L'idée de temps présente dans la diachronie du modèle de R. Bussière est relayée par deux synonymes du mot étalement : *dérouler* et *échelonner*. *Dérouler* signifie « développer successivement » (idée 3, Figure 1.1.03). On y retrouve donc l'idée de temps, et en particulier l'idée qu'il existe un lien entre le temps et le développement de la chose que l'on déroule. Au fur et à mesure, cette chose apparaît sous une forme différente. Le verbe *échelonner* signifie, quant à lui, soit disposer par échelon, de distance en distance, soit répartir dans le temps à intervalles plus ou moins réguliers. Ce deuxième synonyme reprend l'idée de temps que l'on trouve dans le premier, mais elle est plus intéressante puisque d'une part, elle traduit une organisation en échelons, c'est-à-dire en grades successifs et que, d'autre part, elle assimile ces grades soit à l'espace, soit au temps. L'une dans l'autre, ces deux définitions renvoient à la notion de processus spatial. Un processus est en effet un « ensemble de phénomènes conçu comme actif et organisé dans le temps » (sens 1), « un ensemble de phénomènes se déroulant dans le même ordre » (sens 2), ou encore « une suite ordonnée d'opérations aboutissant à un résultat » (sens 3). J.P. Cheylan *et al.* (1999) notent en complément que, si le processus est une notion temporelle, « lorsqu'il est dit spatial, on s'applique à décrire sa logique dans l'espace ». Dans ce sens, le fait que la ville s'étale, se déroule ou s'échelonne, traduit le produit du processus à l'œuvre dans l'étalement urbain : la ville se modifie et cette modification se mesure dans l'espace comme dans le temps. M. Bassand (2000) a d'ailleurs écrit à ce sujet que les couronnes périphériques de la ville (c'est-à-dire l'espace) permettent de mesurer les temps de la ville.

Il n'est d'ailleurs pas rare de trouver cette idée de processus dans les définitions de l'étalement urbain : parmi celles sélectionnées plus haut, toutes insistent au départ sur le fait que **l'étalement urbain est un processus**. Mais, si l'on admet effectivement qu'il le soit, la question reste de savoir de quel processus il s'agit effectivement. Car, il semble difficile de soutenir l'idée que l'étalement urbain puisse être un processus en tant que tel : il n'a pas d'originalité réelle, mais apparaît plutôt comme un cas particulier du développement des villes. M. Bassand (2000), par exemple, en étudiant le processus actuel d'urbanisation, se pose la question suivante : « dans la structuration qui depuis longtemps est à l'œuvre, y a-t-il métamorphose ? Un phénomène nouveau n'est-il pas en train de s'imposer ? ». Le processus en question semble donc plutôt être le processus plus général d'urbanisation. En effet, qu'est-ce que l'urbanisation ? Retenons la définition très simple que propose R. Brunet *et al.* (1992) : l'urbanisation est « le développement, l'expansion de la population urbaine ». C'est donc bien ce que l'on visualise ici, par l'intermédiaire de l'intercommunalité ou des aires urbaines. Mais, R. Brunet *et al.* précisent également qu'il convient d'étudier *les* processus et *les* formes de l'urbanisation. L'étalement urbain apparaît alors comme *l'un* de ces processus, susceptible de donner *une* nouvelle forme aux villes. **A l'intérieur du processus général d'urbanisation, à l'œuvre depuis que les villes existent, l'étalement urbain apparaît alors comme une nouvelle façon, un nouveau mode de construction des territoires urbains. Ce cas particulier introduit en fait une nouvelle façon d'envisager l'urbanisation, en proposant un nouvelle disposition, un nouvel arrangement pour l'espace géographique des villes. Ainsi, quand nous parlons de processus d'étalement urbain, c'est « processus d'urbanisation par étalement » qu'il faudrait entendre, ou encore « processus d'urbanisation par arrangement étalé des hommes et de leurs activités ».** Nous rejoignons donc l'idée de M.C. Jaillet (1981), que la croissance périphérique actuelle des populations et des espaces ne doit pas être « autonomisée » puisqu'elle ne correspond pas à un phénomène spécifique : elle n'est que l'une des « formes de la logique du procès d'urbanisation de la société ». L'étalement urbain est donc une dynamique urbaine particulière.

2. Une affirmation : l'étalement des villes

Ces quelques éléments suffisent à comprendre que l'idée d'étalement est fondamentalement liée à l'espace. On a vu que le fait de disposer correspond à « arranger, mettre dans un certain ordre » (Petit Robert, 1993). L'étalement urbain apparaît alors comme un arrangement, c'est-à-dire une « disposition des parties d'un tout » (Brunet, 1992). Et c'est bien l'une des idées premières de la géographie, triviale mais lourde de conséquences, que de considérer que deux choses ne pouvant occuper la même place, des arrangements sont nécessaires, ainsi que le signale H. Reymond (1981).

2.1. Un processus spatial

Les synonymes du mot étalement (Figure 1.1.03) traduisent d'ailleurs plusieurs idées : « allonger » fait référence à la longueur (une dimension), « extension » et « expansion » font référence à la surface (deux dimensions), voire au volume (trois dimensions). Dans le cas de l'étalement urbain, il n'est pas nécessaire de montrer que l'arrangement se fait sur une surface (une partie de la surface terrestre) et qu'il se situe donc dans un espace à au moins deux dimensions. Il est par contre très intéressant de voir que cette nouvelle disposition correspond à la réponse urbaine actuelle de la contradiction de l'« acte géographique » relevée par H. Reymond (1981).

2.1.1. Un nouvel arrangement de l'espace des villes

H. Reymond (1981) a en effet expliqué que les espaces arrangés par l'homme à la surface de la Terre, et le fait des les arranger (ce qu'il appelle l'« acte géographique »), résultent d'une contradiction chorotaxique. D'une part, en effet, nous sommes en présence d'une obligation, celle de l'espacement, issue directement du fait que deux choses ne peuvent pas occuper la même place²⁸. Ainsi, s'il est nécessaire pour le fonctionnement d'une ville (H. Reymond dit « socialement »), par exemple, de bâtir plus d'une construction, il est impossible de les bâtir au même endroit, ce qui nous met devant « une contradiction permanente qu'il faut bien résoudre de manière permanente. On constate aisément que la solution paraît simple puisque si deux constructions ne peuvent occuper le même lieu, il suffit de les espacer. Cela semble évident à la différence « qu'il ne suffit pas », mais qu'il faut obligatoirement les

²⁸ Pour illustrer cette idée, on peut reprendre l'exemple proposé par l'auteur. Il distingue trois cas. Dans le premier cas, une chose peut s'appuyer sur une autre, en continuité ; l'espacement est alors nul et il y a contiguïté. Dans le deuxième cas, cette chose ne s'appuie pas sur la première, mais en est séparée ; l'espacement assure ici une non connexité et se mesure entre le zéro de la contiguïté et l'infini de la destruction. Dans le troisième cas enfin, la deuxième chose remplace la première, qui doit physiquement disparaître pour cela ; l'espacement devient alors infini (Reymond, 1981).

espacer ; il ne s'agit pas d'une fatalité sans conséquence mais d'une nécessité à laquelle il convient d'autant plus de réfléchir qu'on ne pourra jamais procéder autrement ». On a donc trouvé un bout de réponse à la question de savoir comment un groupe humain transforme un paysage en un autre paysage : il agit sur les espacements . Mais, d'autre part, pour respecter cette obligation, nous sommes aussi face à une liberté : la disposition. On peut alors partir du principe que la configuration d'un espacement (ou d'une série d'espacements) sur une surface aboutit à la « prise en compte partielle, totale ou nulle du pouvoir de cette surface », pouvoir qui ne peut être évalué que par l'intermédiaire des possibilités offertes par la surface en elle-même, et par les lignes qui permettent d'en relier les points, c'est-à-dire les hommes et leurs activités. C'est alors la surface qui « autorise des arrangements qui permettent de hiérarchiser les proximités en orientant les espacements ». En tant qu'acte géographique, l'urbanisation et l'étalement urbain sont donc des processus qui interviennent sur des surfaces, mais la raison d'être de ces surfaces réside dans les liens qui gouvernent les lignes qui y prennent place, c'est-à-dire dans les espacements organisés en termes de proximité par des réseaux. **La première idée de l'étalement urbain, entendu comme un processus, est donc qu'il apparaît, face au processus plus général d'urbanisation, comme une manière particulière d'organiser des surfaces urbaines par rapport aux réseaux et aux points qu'ils relient ; il apparaît alors fort intéressant d'évaluer la puissance de cette surface et de la comparer, par exemple, à celle d'autres formes d'urbanisation, créées par d'autres processus. On considère alors que l'étalement urbain influence fortement la dialectique qui, parmi l'ensemble des espacements, lie la proximité à l'éloignement, en proposant un forme originale.**

Une deuxième idée qui se dégage du terme d'étalement et de ses synonymes concerne également l'espace sur lequel l'étalement intervient, non dans le sens où elle permet de le qualifier, mais dans le sens où elle suggère une différence, une dichotomie, voire une opposition à l'intérieur de cet espace. Cette idée, suggérée par les définitions des termes *appliquer*, *(re)couvrir*, *délayer*, *napper* ou *empiéter* (Figure 1.1.03) correspond en effet à une sorte de pénétration (« mouvement par lequel un corps matériel entre dans un autre », Petit Robert, 1993) ou de contact (« position, état relatif de corps qui se touchent », Petit Robert, 1993) entre deux choses différentes au départ, mais qui tendent, de par ce contact ou cette pénétration, à s'uniformiser, du moins dans certains cas. L'étude de l'étalement urbain semble donc bien ne pas pouvoir se soustraire de l'étude de l'espace sur lequel il intervient. En effet, si la ville augmente son étendue, elle est contrainte d'empiéter sur ce qui est autour d'elle et qui n'est pas encore ville (c'est-à-dire ce que l'on a longtemps considéré comme son contraire : la campagne) avant que les deux opposés ne se diluent en créant une nouvelle composition : le périurbain, c'est-à-dire l'espace littéralement « autour de la ville », autour d'elle. **Qu'est-ce alors que ce nouvel espace périurbain ? Pour J. Beaujeu-Garnier (1995), il apparaît comme le « lieu de contact où s'interpénètrent²⁹ et s'affrontent deux mondes : le**

²⁹ On peut critiquer l'idée d'interpénétration qu'utilise J. Beaujeu-Garnier (1995) et lui préférer celle de simple pénétration, dans la mesure où la première voudrait que la ville pénètre dans la campagne

rural et l'urbain ». Dans ce sens, le périurbain n'est plus réellement urbain, mais fait office de frontière entre la ville et son contraire, entre l'urbain et le rural. L'un dans l'autre, la place du périurbain apparaît donc ambiguë puisqu'il oscille entre le monde de la ville et celui de la campagne. C'est justement cela qui empêche souvent de le caractériser de façon précise et de le délimiter (d'où la réforme de l'intercommunalité de la loi Chevènement et les nouveaux indicateurs statistiques de l'INSEE), mais c'est cela également qui fait tout son intérêt et son principal attrait dans la problématique de l'étalement urbain : il est à mi-chemin entre la ville et la campagne, ni trop proche, ni trop éloigné. R. Brunet *et al.* (1992) introduisent, quant à eux, une idée un peu différente dans la définition qu'ils donnent du périurbain : celui-ci s'entend au sens large comme « tout ce qui est autour de la ville et en réalité en fait partie par les activités et les modes de vie des habitants ». Dans ce sens, l'espace périurbain est un espace proprement urbain dans la mesure où rien ne l'en distingue sur le plan du fonctionnement. On se rapproche ici de la considération fonctionnelle de la ville à l'origine des indicateurs statistiques « aires urbaines » (ZAU), qui considèrent comme urbaines les communes fonctionnant avec le pôle centre, par l'intermédiaire des Migrations Domicile-Travail. Mais, ceci traduit bien également l'idée que les deux se mélangent et créent un nouvel espace différent des deux premiers. Il en résulte une nouvelle occupation, comme un nouveau contenant de la ville.

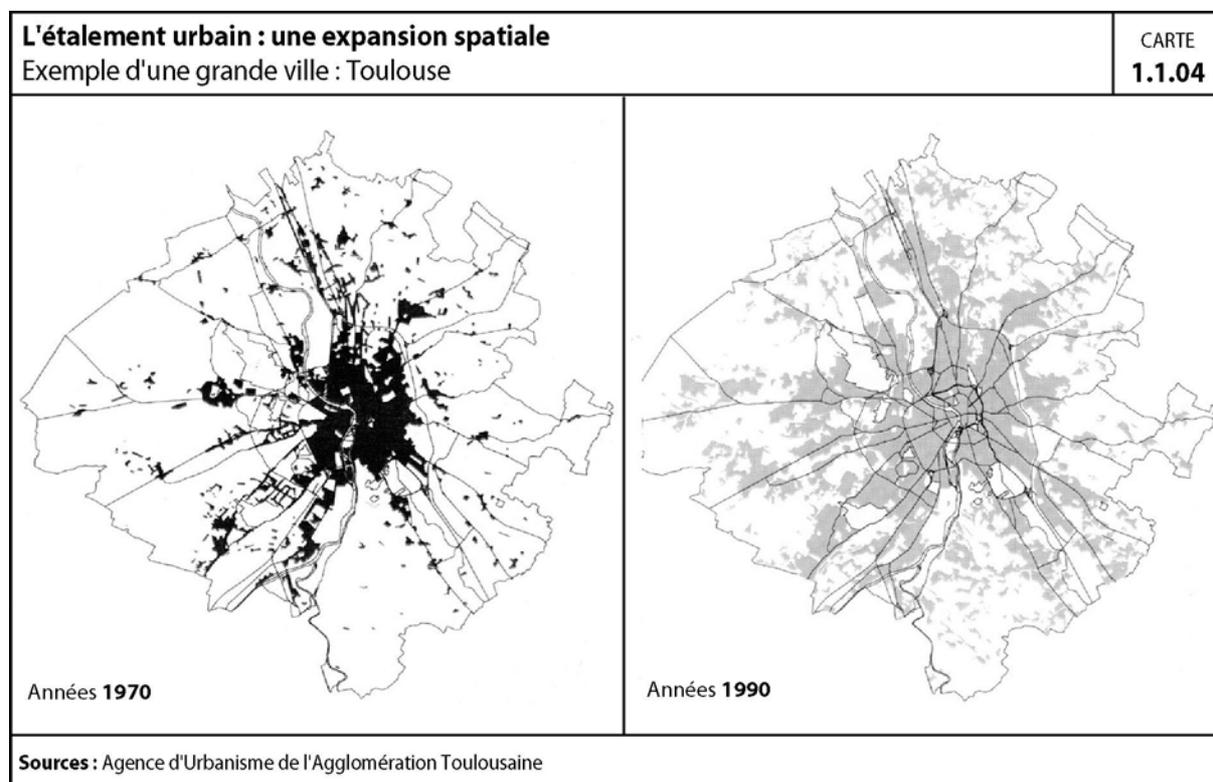
2.1.2. Le contenant : une nouvelle occupation spatiale

Dans le monde anglo-saxon, les qualificatifs attachés à la notion d'étalement urbain sont plus complexes à saisir que dans le vocabulaire français, mais ils offrent des éléments intéressants pour la définir. D'une part, deux mots (au moins) permettent de traduire l'étalement : *sprawl* et *overspill*. D'autre part, il n'y a pas toujours de différence dans ces termes entre le processus et la forme à laquelle ce processus conduit : le terme *sprawl*, par exemple, signifie les deux en même temps. Il est possible pour un américain de se promener dans le *sprawl* urbain (la forme), alors qu'il est impossible pour un français de se promener dans l'étalement (le processus). *Sprawl* et *overspill* correspondent tous les deux à des processus qui caractérisent l'étalement urbain. Le *sprawl* fait référence à une diffusion, c'est-à-dire à une propagation plus ou moins continue du bâti urbain vers l'extérieur. Le terme de *spillover* se démarque quant à lui de l'idée de *continuum* bâti et caractérise une expansion qui se projette parfois assez loin des centres-ville, sans continuité réelle avec la précédente morphologie de la ville. Le processus d'*overspill* est plus commun aux villes américaines qu'aux villes européennes et françaises, mais il pourrait correspondre à une rurbanisation³⁰. Ainsi, l'expansion spatiale comprise dans l'expression d'étalement urbain correspond à la fois à l'anglais *sprawl* et *overspill*.

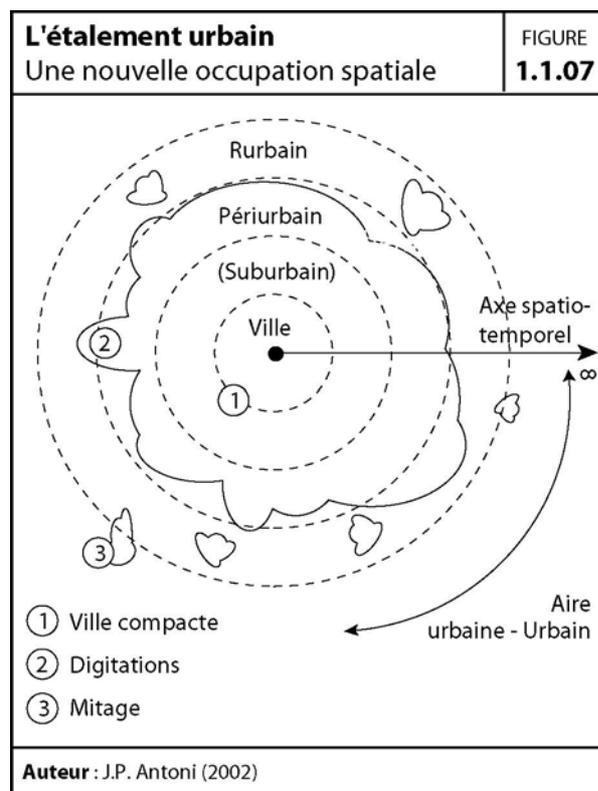
autant que la campagne dans la ville, alors que les phénomènes généralement décrits à ce sujet mettent l'accent plus sur l'idée que la ville entre seule dans la campagne et aux dépens de celle-ci.

³⁰ Ce terme sera défini dans les pages qui suivent.

La Carte 1.1.04 montre l'exemple de l'expansion spatiale de Toulouse entre les années 1970 et les années 1990, un exemple français d'étalement urbain, mais on peine à y distinguer si l'étalement est de type *sprawl* ou de type *overspill*.



Au sujet de la nouvelle occupation spatiale introduite par l'étalement urbain (c'est-à-dire la forme engendrée par le processus), G. Bauer et J.M. Roux (1978) se sont livrés, en France, à une étude fort intéressante dès 1978. Il en ressort que **l'espace périurbain n'existe pas en tant que tel, ou du moins en tant qu'entité spatiale homogène : il est issu d'une juxtaposition d'espaces périphériques différents. Globalement, on peut considérer qu'en tant que champ d'action de l'étalement, il correspond à la juxtaposition en couronnes radioconcentriques successives de trois espaces aux caractéristiques propres : le suburbain, le périurbain et le rurbain** (Figure 1.1.07). Il convient de les définir et d'explicitier les nuances qui les séparent.

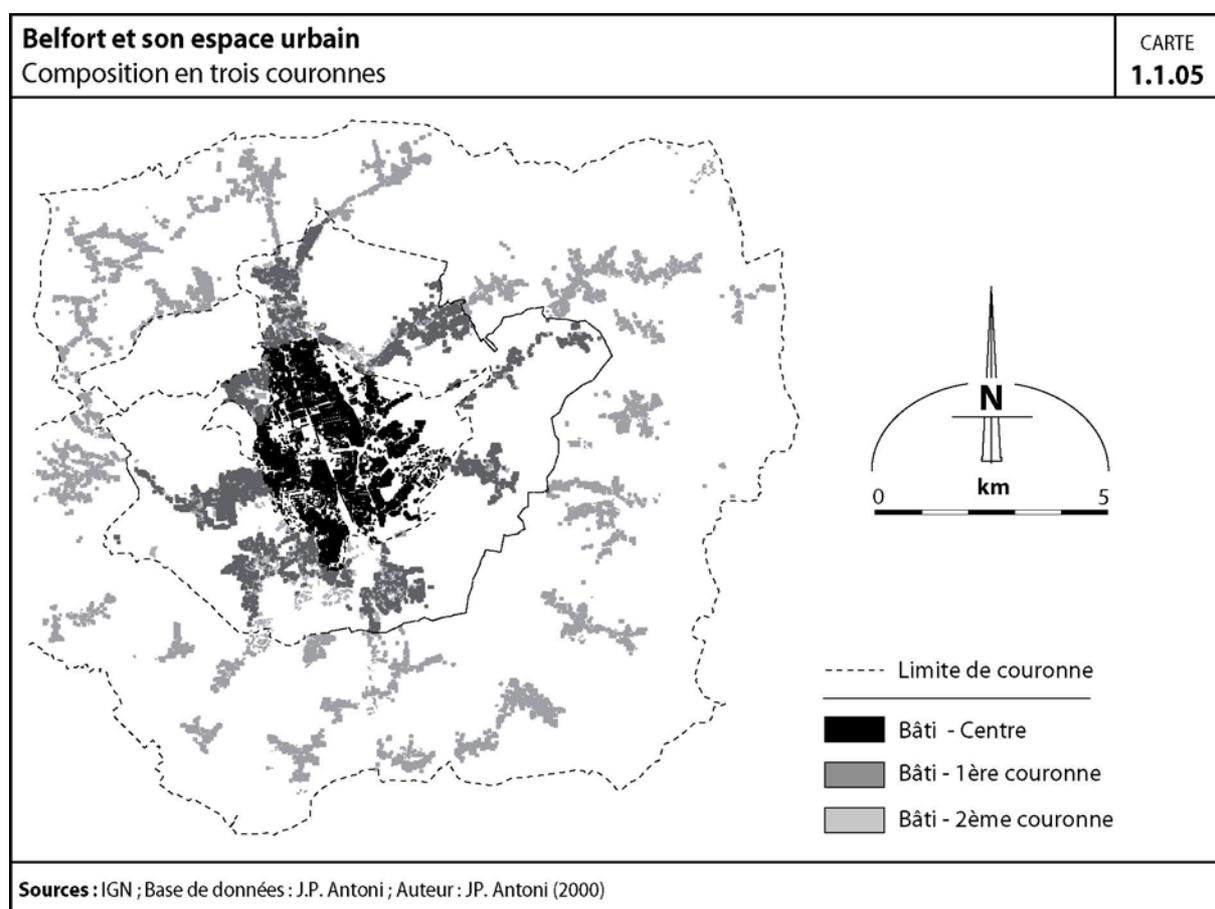


L'espace suburbain (de l'américain *suburbs*) qualifie les franges extérieures de la ville. C'est en fait l'ensemble des banlieues («partie extérieure de la ville, au-delà des faubourgs³¹» ; Brunet *et al.*, 1992), avec une localisation encore morphologiquement interne à la ville, et une occupation relativement continue et pleine. L'espace périurbain (Racine, 1967) correspond ensuite à ce qui est autour de la ville, et qui en fait partie par les activités et les modes de vie des habitants, en comprenant l'espace d'urbanisation nouvelle par lotissements et constructions individuelles, même si celui-ci apparaît parfois spatialement mité. Il pourrait être rapproché de l'idée de lointaine banlieue. La forme générale de cet espace périurbain est celle de digitations, c'est-à-dire de «configurations en forme de doigts» (Brunet *et al.*, 1992), qui prennent

place le long des routes principales menant à l'agglomération centrale. Entre le suburbain et le rurbain, le périurbain ressemble donc à un espace transitoire que le processus d'étalement a différencié du rural et du rurbain, mais n'a pas encore assimilé au suburbain. Enfin, l'espace rurbain (de l'américain *rurban*, composition des deux mots rural et urbain ; Bauer, 1978) désigne d'abord les citadins qui vivent à la campagne, mais à proximité de la ville et se différencie du périurbain par la mise en avant du caractère villageois des personnes et des objets qu'il recouvre. L'espace rurbain se compose de communes rurales ayant subies un fort accroissement démographique dû à des migrations provenant des villes-centres et des espaces suburbains, et il se matérialise sous la forme d'un mitage («éparpillement de constructions dans la campagne» ; Brunet *et al.*, 1992) urbain en milieu rural. C'est donc la dernière frange de l'étalement, la plus éloignée du centre, la limite spatiale des migrations quotidiennes de travail des personnes dont l'emploi est en ville. L'article critique de M. Berger *et al.* (1980) fait cette remarque intéressante à propos de l'espace rurbain (qui va dans le même sens que notre précédente note quant à l'idée d'interpénétration de J. Beaujeu-Garnier) que **les deux concepts qui forment le néologisme rurbain ne sont pas du même ordre, dans la mesure où la partie urbaine est entendue comme une dynamique alors que la partie rurale est plutôt statique. Ceci témoigne du fait que l'espace rural de la rurbanisation n'apparaît que comme un « espace-support consommable » par les mécanismes économiques et les structures urbaines qui aboutissent à une concentration des hommes au**

³¹ Le faubourg désigne « la partie de la ville située hors de son enceinte, en périphérie par les distances physiques et sociales à la fois » (Brunet, 1992).

sein d'un même espace. Dans ce sens, l'étalement urbain apparaît comme une forme d'invasion de la campagne par la ville - voire d'une « agression » de la seconde sur la première (Duvernoy, 2000) - et la pénétration n'est pas à double sens : « l'espace périphérique n'est pour [la ville] qu'un espace en attente qu'elle pourra occuper au rythme de ses besoins d'extension » (Prost, 1994). Il n'y a pas interpénétration du rural et de l'urbain, mais bien substitution du rural par l'urbain, dans un cadre qui, en lui-même, reste rural. Le processus à l'œuvre n'est donc pas un processus urbain et rural : c'est un processus urbain. Il pose, en même temps que la question de l'aménagement des activités urbaines, la question de la définition de la ville.



Ces trois espaces périphériques – suburbain, périurbain et rurbain - apparaissent alors comme la conséquence d'un processus qui dilue les villes, qui efface leurs limites dans une morphologie qui mute vers l'absence de compacité, et apparaît comme la forme résultante du processus d'étalement urbain (Le Jeannic, 1997). On les trouve résumés de façon très schématique dans la Figure 1.1.09. La morphologie urbaine de l'agglomération belfortaine (Carte 1.1.05) présente à ce titre un très bon exemple puisqu'on y lit très facilement trois couronnes correspondant chacune à une organisation particulière (ville « compacte » dans la première couronne, digitations dans la seconde, mitage dans la troisième) et à une distance

particulière par rapport à la ville de Belfort (les couronnes sont construites sur le principe de la continuité administrative).

2.2. Un processus urbain

Ainsi, l'une des caractéristiques fortes du processus d'étalement urbain est qu'il apparaît d'abord comme un processus urbain. La forme qui en résulte est donc *a fortiori* elle aussi une forme urbaine, l'Urbain. Mais, alors que certains estiment que la réelle nouveauté imposée par l'étalement urbain est l'expansion spatiale du territoire, sa dilution jusque dans des territoires très éloignés de la ville centre (Steinberg, 1990) et donc que l'étalement urbain n'est pas fondamentalement un phénomène nouveau, d'autres vont plus loin pour analyser l'originalité du phénomène. F. Choay (1993), par exemple, y voit également des éléments idéologiques, économiques et sociaux, qui suggèrent de ne plus parler de ville pour qualifier le résultat du processus d'étalement, mais plutôt d'Urbain.

2.2.1. De la ville à l'Urbain

Cet Urbain (que F. Choay écrit avec un U majuscule) se distingue de la ville et de son acception traditionnelle parce que, sur plusieurs plans, il fonctionne selon de nouveaux schémas, ceux de l'étalement urbain. Quelle est alors cette nouvelle forme, celle de l'Urbain et surtout, quelle sont les conséquences de cette forme sur la ville ? Pourquoi F. Choay propose-t-elle de changer de vocable ? La forme de la ville issue du processus d'étalement peut-elle être si différente de l'original pour que l'on n'y reconnaisse plus de ville ? En 1999, F. Choay a eu l'occasion de s'expliquer à ce sujet dans un entretien avec T. Paquot : « Ce que j'entends pointer avec force par cette affirmation, c'est la disparition – dont on n'a pas assez pris conscience – d'une certaine manière locale de vivre ensemble, qui fut le propre de ces entités dotées d'une identité et qu'on appelait les villes » (Choay, 1999).

La croissance urbaine que l'on lit dans les RGP de l'INSEE apparaît en effet si importante qu'il lui est difficile de se concentrer sur la seule ville-centre que l'on pourrait considérer comme la ville en tant que telle (conséquence directe, ici encore, du fait que deux choses ne pouvant occuper la même place, il est nécessaire de les espacer). Cette croissance se reporte forcément sur les communes périphériques, mais sans que celles-ci ne se trouvent véritablement annexées par le centre : elles sont même parfois morphologiquement disjointes (c'est le cas de la rurbanisation par exemple). Pour M. Bassand (2000), ce phénomène annonce le début de la métropolisation, opposée à l'urbanisation, le début des métropoles, opposées aux villes. Pour comprendre la logique de ces espacements, il est important de considérer la totalité de la surface urbaine et de l'évaluer par l'intermédiaire des lignes et des points qui y prennent place. **Ceci signifie que pour comprendre la logique de l'étalement urbain, il faut considérer les réseaux qui relient les différentes parties de la ville. C'est grâce**

à la réticulation que la croissance urbaine peut se répartir dans les périphéries jusque-là rurales. En fait, un tel phénomène de report de la croissance sur les communes périphériques est déjà parfaitement lisible dans l'héritage de la ville industrielle et ne diffère pas fondamentalement des processus décrits par E. Zola ou E. Verhaeren pour les villes du 19^{ème} siècle. La révolution qu'a apporté le chemin de fer (qui à lui même suscité, à l'intérieur de la ville, la mise en place des réseaux d'omnibus, de tramway, puis de métro) autour du couple boulevard-gare a permis d'ancrer ce principe. Il est à l'origine des formes « en doigts de gants » (digitations) périphériques, qui touchent les communes adjacentes aux villes-centres en expansion du 19^{ème} siècle. Il est même à l'origine du cercle vicieux que M. Halbachs (1928) a identifié dès 1928 : les résidents viennent se coller sur les rives des « fleuves urbains » en voie de constitution pendant que cet afflux pousse lui-même à l'élargissement des voies de communication et à l'intensification des débits.

Ainsi, ce que note M. Bassand (2000), ce n'est probablement pas tant le fait que la ville quitte ces limites pour investir d'autres communes, mais plutôt le fait que ce nouvel arrangement ne constitue plus *in fine* un tout unique et continu, en intégrant des entités qui tiennent à leur identité. Pour J.S. Bordreuil (2000), ceci correspond à un « déphasage qui opère entre résidence et circulation ». Si l'on regarde en effet les deux grandes formes dominantes de l'urbanisme d'après-guerre - essentiellement les grands ensembles et les lotissements pavillonnaires - on saisit d'emblée que leur logique d'implantation n'est pas celle des extensions urbaines d'avant-guerre : ils se placent en général à distance des grandes lignes de circulation. L'espace des grands ensembles se structure en dents de peigne par rapport aux axes de circulation majeurs (ce qui en fait des impasses dans lesquelles on ne passe que si l'on réside), et les lotissements individuels tirent leur valeur résidentielle du fait même qu'ils s'écartent de ces axes. **Même si le phénomène général d'urbanisation est identique, sa logique de localisation dans la périphérie urbaine n'est pas celle que l'on connaissait pour les villes industrielles ; elle apparaît même parfois comme une logique inverse : il ne s'agit plus de privilégier la proximité aux grands axes de communication, mais au contraire de s'en détacher. Ainsi, les nouvelles lignes de flux permettent de s'émanciper du tissu urbain hérité.** Celui-ci continue pourtant d'être traversé, mais par l'intermédiaire de passerelles ou de pénétrantes, de bretelles de contournements, etc., c'est-à-dire par des voies de circulation rapides, reliées entre elles, qui n'obligent plus le contact entre ceux qui circulent et ceux qui résident. La circulation dans les périphéries urbaines se fait donc presque à l'inverse du site propre, la majorité des voies ou presque sont ouvertes à la circulation automobile, ouvrant ainsi la quasi-totalité de l'espace à l'urbanisation, du moins sur le plan des déplacements. Pour J.S. Bordreuil (2000), cet écart entre les lignes de trafic et les zones de résidence constitue une nouvelle manière de « venir à forme » de la ville, c'est-à-dire un nouveau type de morphogenèse et donc d'espace géographique des villes.

2.2.2. Le contenu : les hommes et leurs activités

L'exemple le plus frappant de cette nouvelle morphogénèse apparaît dès les années 1970, avec la délocalisation des activités économiques et industrielles en périphérie des villes françaises. Les travaux de B. Merenne-Schoumaker (1974, 1981) sont à ce propos très intéressants, puisqu'ils montrent que ces activités traditionnellement attachées aux centres-villes – et qui pour certaines ont longtemps été les principaux moteurs de l'urbanisation – ont récemment (à l'échelle de l'urbanisation) choisi de déménager en périphérie, selon de nouvelles logiques de localisation. Plusieurs causes sont à l'origine de cette nouvelle configuration, dont certaines sont très pragmatiques. La délocalisation répond d'abord au problème de l'inadaptation du parc immobilier industriel qui fait suite aux importantes modifications de la production apparues dans les années 1960, notamment la machinisation et la robotisation. Elle a également permis de résoudre les problèmes de vétusté et de mise au norme des établissements. Ainsi, la délocalisation a offert des possibilités de modernisation qui, moyennant un investissement important, ont permis l'augmentation de la productivité et de la rentabilité des installations nouvelles. En conséquence, elle a contribué à diminuer les emplois au centre, au profit des périphéries. On dénombre ainsi 51 300 emplois perdus à Londres (grand Londres) entre 1966 et 1974, 35 900 emplois industriels à Amsterdam entre 1966 et 1974, 30 387 à Manchester (centre) entre 1966 et 1972 (soit un tiers des effectifs de 1966), 26 000 emplois industriels de perte annuelle à Paris entre 1970 et 1975, 19 000 postes de travail manuels à Bruxelles (19 communes) entre 1947 et 1970 (soit 18% des effectifs de 1948) et 5 500 emplois industriels à Liège entre 1966 et 1980 suite à la disparition de 98 établissements différents (Merenne-Schoumaker, 1981). L'évolution actuelle des localisations industrielles dans les aires urbaines s'oriente ainsi aujourd'hui vers une disparition quasi-totale des industries du centre, une diminution sensible des industries de banlieue (couronnes suburbaine et périurbaine), et une multiplication spectaculaire des nouvelles constructions en périphérie (couronnes périurbaine et rurale).

L'exemple de l'implantation des multiplexes cinématographiques en périphérie des villes offre une autre illustration, plus actuelle, de la géographie urbaine que provoque le processus d'étalement urbain. En 1993, le premier multiplexe ouvre ses portes dans une zone d'activités de la périphérie toulousaine ; en 2000, on compte en France 65 équipements équivalents qui totalisent à eux seuls 28% de la fréquentation cinématographique française. La contribution de la FNAU (2000) à ce sujet est très intéressante : elle vise en effet à mettre en avant le fait que les cinémas, loisirs traditionnellement présents aux centres-villes, s'associent aujourd'hui, par l'intermédiaire des multiplexes, à des « équipements pivot de la ville périphérique » venant pallier la « logique d'étalement urbain mono-fonctionnel » qui a longtemps vu (et continue souvent de voir) les périphéries comme des espaces sous-équipés. Ainsi, suivant une logique finalement assez proche de celle qui a permis la délocalisation industrielle, les multiplexes contribuent au rééquilibrage des binômes centre-périphérie, dans le même temps qu'ils trouvent en périphérie des villes des espaces qui correspondent

mieux à leurs contraintes de chalandise (sur le plan de l'accessibilité et des places de stationnement principalement). Mais, ces implantations posent aussi le problème de la centralité et, qu'on le veuille ou non, elles renforcent la logique de l'étalement urbain en privilégiant le développement des périphéries au détriment du centre. Dans cette affaire, l'agglomération de Strasbourg apparaît comme un exemple intéressant puisqu'en l'espace de deux ans, deux multiplexes s'y sont ouverts ; le premier à Brumath (c'est-à-dire en périphérie assez lointaine), le second route de Rhin (c'est-à-dire, à peu de choses près, au centre ville). Les deux logiques d'implantation sont différentes, voire même opposées : la première correspond effectivement à une forme d'étalement urbain, alors que la seconde participe plutôt de l'idée, plus récente de renouvellement urbain³².

Mais, le nouvel arrangement urbain produit par le processus d'étalement, ne concerne pas uniquement les activités urbaines, culturelles ou industrielles. L'espace résidentiel, c'est-à-dire l'habitat humain, se construit lui aussi selon de nouvelles règles, qui font également intervenir les notions d'espacement et de dispositions nouvelles. Ainsi, ce qui caractérise le changement actuel, c'est le passage de la ville étoilée à la ville étalée, qui se traduit par de nouvelles possibilités de choix résidentiels. Avec humour, J.S. Bordreuil (2000) remarque que « la région urbaine se remplit à la manière d'une voiture de métro, dans laquelle on s'installe à plus grande distance possible des « pré-occupants », en divisant par deux et inexorablement les espaces vacants ». Une nouvelle dialectique semble à l'œuvre entre volonté de rapprochement et volonté d'éloignement. Ceci tient pour une part dans le fait que dans la première configuration, « une bonne partie des zones parcourues était résidentielle, et une bonne partie des zones résidentielles était parcourue et/ou parcourable », alors que dans la deuxième configuration, des îlots résidentiels émergent dans des enclaves sans échange avec le milieu qui les environne, et surtout sans échanges entre eux (Bordreuil, 2000). **Dans cette nouvelle configuration, il devient en fait possible d'opérer un sorte de tri socio-spatial des mobilités et des fréquentations puisqu'il devient possible d'emprunter plusieurs chemins pour se rendre d'un point à un autre de l'aire urbaine.**

De ceci découle un certain nombre de questions sociales qui posent ici encore le problème de l'urbanité, autant de questions qui se traduisent en termes de disparités et d'inégalités. Sur ce plan, la forme urbaine qui émerge aujourd'hui diffère sensiblement de celle que l'on a connue jusque dans les années 1970. D'une part, on constate en effet que les inégalités ne disparaissent pas et que la dislocation des territoires ne correspond pas réellement à leur dissolution territoriale (cette idée est soutenue dans la ville émergente), puisque que, comme le dit J. Donzelot (1988), les îlots urbains périphériques sont parfaitement visibles, et même délimités. **Les différences au sein de la ville sont probablement même encore plus prégnantes que précédemment, puisque, portant sur des espaces différenciés (périurbain et urbain essentiellement), auxquels correspondent également des principes d'urbanisation et une typomorphologie bâtie propre, elles font aujourd'hui office de filtres asymétriques qui**

³² Nous reviendrons sur l'idée de renouvellement aux Chapitres 1.4 et 3.3.

permettent d'asseoir la posture défensive des espaces périurbains face à une éventuelle intrusion. Dans le monde anglo-saxon, ces nouvelles frontières ont trouvé leur acronyme : NIMBY (*not in my backyard*). Dans ce contexte, l'intégration sociale que permettait l'incorporation au quartier est rendue plus difficile (Donzelot, 1999).

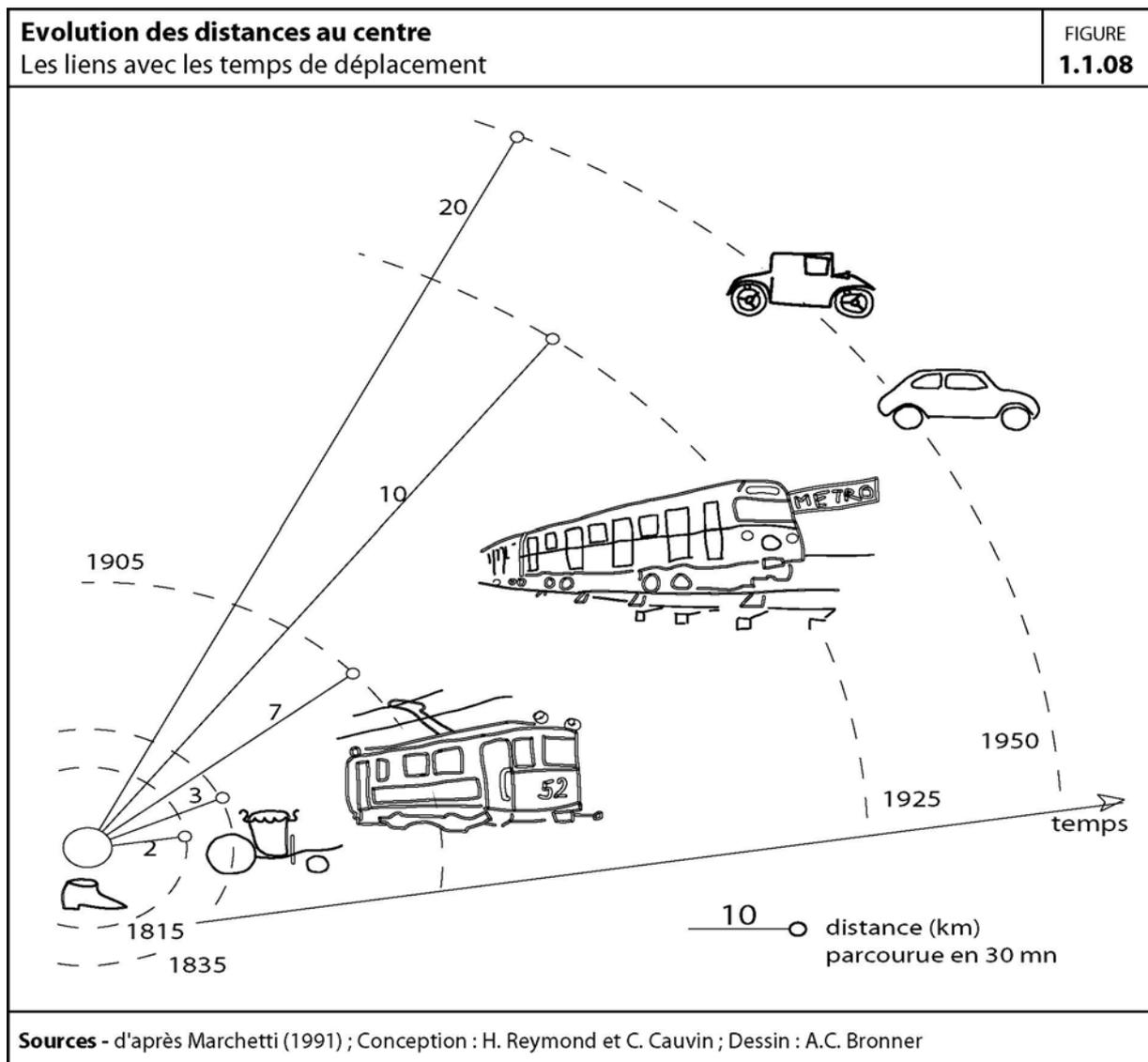
2.3. Un processus lié à la technique

Pour une part, l'étalement urbain est lié à la réticulation, c'est-à-dire aux réseaux. Mais, seuls, les réseaux ne permettent que peu de choses : ils doivent être associés à un moyen, une technique de déplacement qui assoie leur efficacité. L'autoroute n'est pas une autoroute si elle sert aux piétons ; elle n'a d'intérêt que si elle s'associe à l'automobile individuelle. Or, les techniques de déplacement évoluent dans le temps, dans un sens qui privilégie la vitesse et qui permet de nouvelles mobilités et de nouvelles accessibilités.

2.3.1. De la mobilité ...

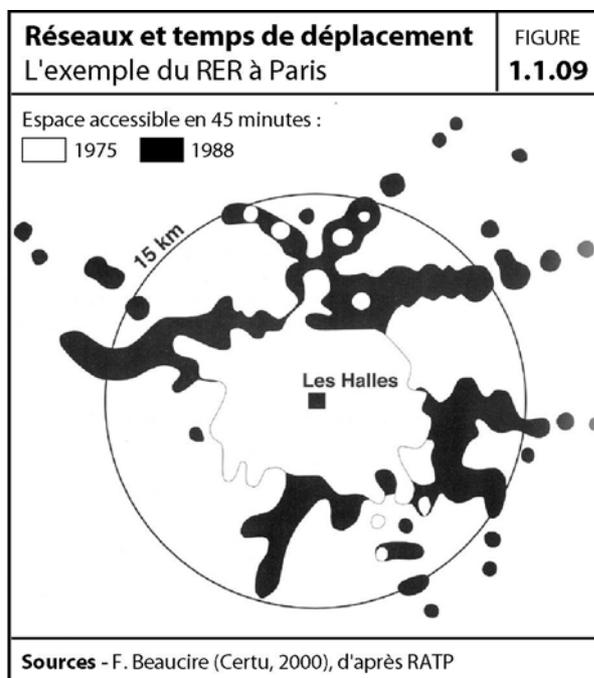
Dans le nouveau contexte spatial issu de l'étalement urbain, tout porte à croire, compte tenu que l'ensemble résultant est moins dense, que les possibilités d'intersection des trajectoires, et avec elles la fréquence des relations des citoyens, devraient diminuer. Mais, F. Ascher (1995), remarque qu'il n'en est rien et conclut que sans doute l'éloignement des citoyens est compensé par une plus grande mobilité. C'est donc certainement dans l'idée de mobilité, comme précédemment dans celle de réticulation que se situe l'une des clés pour comprendre la logique des espacements induits par le processus d'étalement urbain. Car, si du fait que deux lieux ne peuvent occuper la même place, on les arrange entre eux de la manière qui semble la plus profitable à chacun, cela implique la nécessité que l'on puisse se déplacer entre ces lieux, et donc *a fortiori* que l'ensemble se construise par rapport à une mobilité nécessaire. **La mobilité est alors simplement le fait de se déplacer pour occuper alternativement un lieu ou un autre, en fonction de ce que l'on a à y faire. Dans le cas des villes, cette mobilité est quotidienne ; c'est un déplacement qui s'opère dans la même journée, et qui peut se mesurer par l'intermédiaire des migrations quotidiennes récurrentes, orientées vers la travail (MDT), par exemple³³. La mobilité apparaît donc comme une clé nécessaire à la compréhension des arrangements entre les lieux, et comme la condition *sine qua non* de tout acte géographique.** L'étudier dans le cadre du nouvel arrangement urbain engendré par le processus d'étalement apparaît donc également comme une nécessité.

³³ Nous éliminons toutes les mobilités géographiques qui ne concernent pas des déplacements quotidiens, comme par exemple, la mobilité résidentielle (c'est-à-dire les changements de résidence, les déménagements), et toutes les mobilités non géographiques, comme la mobilité sociale (changement de catégorie socioprofessionnelle) ou la mobilité professionnelle (changement d'emploi).



A partir d'une étude sur la ville de Berlin depuis le début du 19^{ème} siècle, C. Marchetti (1991) a effectivement montré que la taille des villes est en lien direct avec les moyens de déplacement dont disposent leurs habitants, c'est-à-dire leurs possibilités de mobilité. Par l'intermédiaire des vitesses, il remarque en effet que c'est la technique de déplacement qui conditionne le rayon des agglomérations et que, depuis 1815 environ, les déplacements urbains ne dépassent pas une heure de temps, aller-retour : « Si l'on regarde par exemple, l'évolution historique de la ville de Berlin, on voit que ses dimensions sont définies par la distance couverte en une demi-heure par le moyen de transport le plus rapide » (Marchetti, 1991). En fonction des différentes techniques, allant du mode piéton jusqu'à la voiture individuelle, le temps de la demi-heure a ainsi permis à la ville de s'étendre de 2 kilomètres (époque des piétons, vers 1815) à plus de 20 kilomètres (époque de l'automobile individuelle, actuelle). Ainsi, ce n'est plus en distances kilométriques que l'on doit mesurer le rayon des agglomérations, mais bien en distance-temps, dans la limite d'une heure pour effectuer l'aller-retour du centre à la périphérie (Figure 1.1.08). La mobilité urbaine se déduit donc directement des techniques de transport disponibles pour se déplacer.

Ceci nous permet d'interpréter les données rapportées par F. Beaucire (Figure 1.1.11) comme autant d'indicateurs et d'explications pour mieux comprendre le processus d'étalement urbain. F. Beaucire montre en effet, à partir de l'exemple de Grenoble, qu'entre 1966 et 1992, **les distances parcourues dans un intervalle de temps égal ont très largement augmenté**. On peut noter deux conséquences directes de cette dé-convergence espace-temps. D'abord, le fait que la ville s'étale ne signifie théoriquement pas que les temps de déplacement augmentent entre centre-ville et périphérie (pratiquement, le problème est différent puisqu'il faut tenir compte de la congestion des réseaux, point sur lequel nous reviendrons aux Chapitres 1.2 et 1.3). Il est donc tout aussi économique en termes de temps, voire dans certains cas plus économique (sur le plan des déplacements), d'habiter à 20 kilomètres du centre aujourd'hui qu'à 10 kilomètres au début du siècle, ou bien d'habiter à 20 kilomètres du centre et de se déplacer en voiture que d'habiter à 2 kilomètres du centre et de se déplacer à pied. Ensuite, on note que **la croissance régulière des distances dans un laps de temps égal favorise l'étalement urbain en permettant d'habiter toujours plus loin du centre, sans s'en éloigner temporellement**, phénomène qui est aussi à l'origine de l'expansion de la ville du XIX^{ème} siècle, appuyée sur le réseau de chemin de fer.



C'est donc en fait, facteur parmi d'autres, l'aménagement des infrastructures de transport qui est à l'origine des possibilités d'étalement. Cela explique en partie le fait que l'urbanisation se fasse parallèlement au mode de déplacement le plus rapide. L'exemple du RER à Paris montre bien que les temps d'accès égaux isochrones sont directement dépendants de la forme des réseaux, et que leur forme se calque sur le graphe des transports en commun (Figure 1.1.09). De nombreux auteurs ont montré que les digitations urbanisées visibles dans la majorité des grandes villes sont directement liées à l'emplacement des lignes de chemin de fer permettant de relier le centre et ses périphéries. La clé du

problème réside alors probablement dans le fait que **depuis la révolution insufflée par l'automobile, l'urbanisation a pu se dégager des infrastructures de transport et substituer un nappage de l'espace périurbain aux anciennes digitations : il ne s'agit plus d'épaissir les lignes déjà denses qui accueilliaient ces infrastructures, mais de combler les vides interstitiels,**

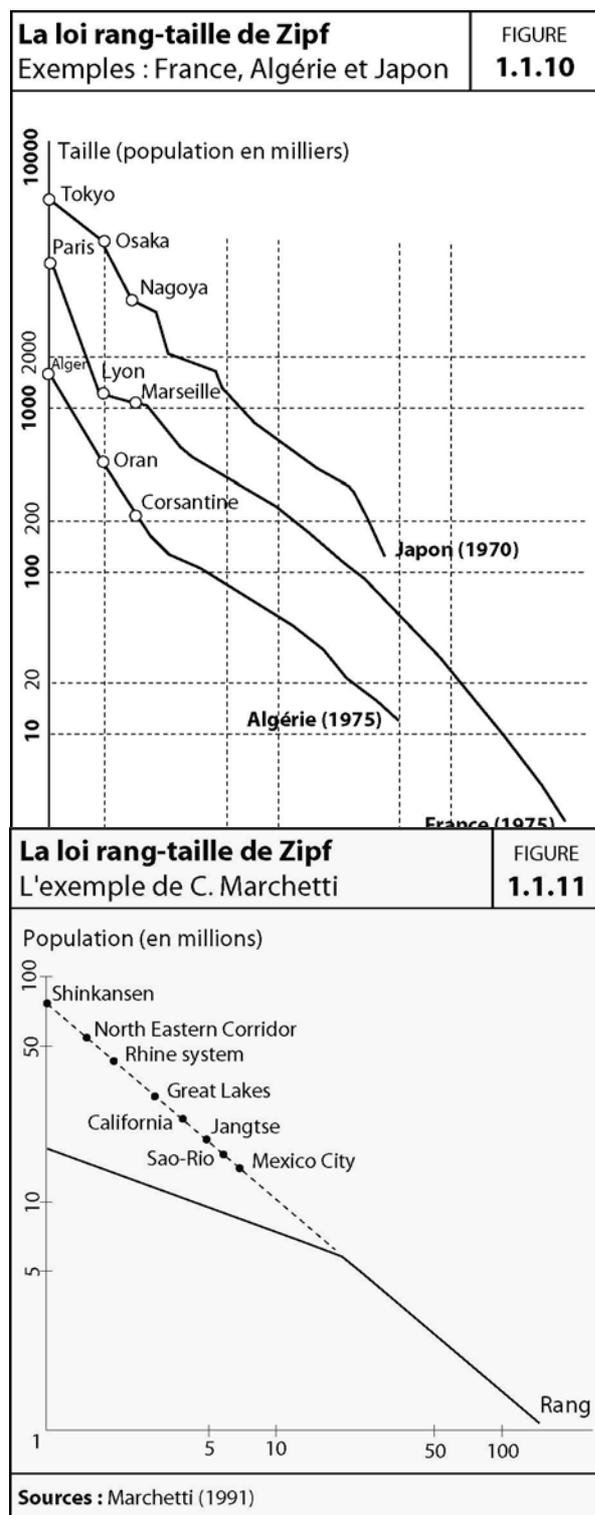
comme E. Monkonner (1998) a pu le montrer pour le cas américain. Cette deuxième révolution, liée à l'automobile, apporte ainsi la possibilité de « déplacer les lignes de déplacement », ce qui rend possible une sorte d'« amorphisme urbain ». Aujourd'hui à Belfort, ce n'est ni le réseau de chemin de fer, ni les transports collectifs qui donnent le pas en matière de déplacements : la voiture individuelle leur est très largement supérieure en nombre d'usagers. Aussi, les espaces isochrones les plus répandus doivent ils se situer à proximité des infrastructures permettant son utilisation. C'est probablement à proximité du réseau de communication routier que se situent les potentiels³⁴ les plus forts de l'urbanisation.

2.3.2. ... à l'accessibilité

Dans une étude du Plan Construction Architecture³⁵, on apprend que si la ville s'est déployée et transformée en une aire urbaine parfois très vaste, on ne peut pas considérer pour autant qu'à l'intérieur de cette nouvelle surface, les choses soient réellement excentrées ou périphériques, « car tout y est rapidement et facilement accessible ». Ainsi, **la mobilité est donc une chose, mais l'accessibilité en est une autre qui conditionne le fonctionnement des aires urbaines. Il ne suffit pas simplement que le déplacement soit possible entre les différents lieux qui composent la ville (ce type de déplacement est d'ailleurs rarement impossible, mais il peut avoir un coût important), mais il faut encore que ces lieux puissent effectivement être atteints dans de bonnes conditions.** Ces bonnes conditions mettent en jeu les notions de facilité et de rapidité, qui sont parfois liées. L'accessibilité peut donc se mesurer par l'intermédiaire de potentiels : les lieux accessibles dans de bonnes conditions ne sont pas ceux pour lesquels on mesure une mobilité fréquente et importante, mais ceux pour lesquels cette mobilité, si elle existe, se traduit par un coût et une consommation d'énergie faible. Reprenons alors la demi-heure de temps identifiée par C. Marchetti, puisqu'elle semble corresponde à une condition favorable à l'accessibilité, pour la comparer aux potentiels offerts par le réseau de transport de la ville de Belfort, afin de voir comment le territoire de la ville se redessine dans son espace régional (Antoni, 2001). La cartographie de l'accessibilité (établie par les chargés d'études de l'AUTB) montre en effet, qu'avec ce critère temporel, les limites de l'agglomération dépassent très largement ses limites administratives et empiètent sur les départements voisins : les trois villes de Mulhouse (Haut-Rhin), Montbéliard (Doubs) et Lure (Haute-Saône) se situent dans l'enveloppe de la demi-heure. Cela montre bien que si l'on observe les choses sur le plan de leur fonctionnement ou de leur fonctionnement possible, ce sont au moins quatre agglomérations qui peuvent aujourd'hui fonctionner ensemble. Pour nous en convaincre, prenons un autre exemple proposé par C.

³⁴ La définition du terme *potentiel* sera précisée au Chapitre 2.3. Pour l'instant, nous retenons sa définition courante : « qui existe en puissance », qui « exprime une possibilité » (adjectif) ; « qui exprime ce qui est possible, qui peut arriver sous certaines conditions » (nom) (Petit Robert, 1993).

³⁵ PCA, 1996, *La ville émergente : la périphérie, les périphéries*. Analyse préliminaire, PCA, MELT, 12 pages.



Marchetti (1991), même si celui-ci peut apparaître assez éloigné de la réalité de la ville de Belfort. Proche de la science-fiction, il a l'avantage de placer les réseaux de transport au centre de la définition des agglomérations urbaines et de montrer, à partir du cas de quelques très grandes villes mondiales, que les recompositions territoriales qu'ils engendrent peuvent très largement dépasser l'échelle des aires urbaines.

C. Marchetti (1991) s'est en effet amusé à confronter les possibilités de déplacement offertes par les transports à très grandes vitesses (aériens principalement) avec l'une des lois couramment utilisées par les géographes, la loi rang-taille de K.G. Zipf. La loi rang-taille ne permet pas d'expliquer quoi que ce soit en ce qui concerne la géographie des villes, leur hiérarchie ou leur fonctionnement, mais elle permet une série de comparaisons assez intéressantes. Elle met en évidence le fait qu'il existe une relation entre la taille des villes (que l'on estime en général en fonction de leur population) et leur position hiérarchique au sein du réseau de villes auquel elles appartiennent. Pour ce faire, l'idée de K.G. Zipf (1949) consiste à représenter sur un graphique bi-logarithmique le rang des villes en abscisse (la plus grande est au rang 1, la deuxième plus grande au rang 2, etc.) et leur population en ordonnée. Généralement, on obtient une droite, comme en témoigne le Figure 1.1.10 qui montre le résultat de

l'exercice pour les villes de France et d'Algérie en 1975, et du Japon en 1970. On trouve des résultats identiques pour quasiment toutes les configurations testées.

Néanmoins, quand C. Marchetti tente de reproduire l'exercice à l'échelle mondiale pour les plus grandes villes, il observe une divergence quant à la loi rang taille. La droite de Zipf (théoriquement droite) fait un coude à partir de 6 millions d'habitants. Il en conclut que les plus grandes villes ne sont pas aujourd'hui assez grandes pour correspondre à la loi rang-taille. Il a alors l'idée de ne plus considérer ces villes en tant que telles, mais de les associer entre elles par rapport à leur fonctionnement, dans un corridor, qu'il définit comme une « conurbation à l'intérieur de laquelle on peut se déplacer dans la même journée, comme peuvent l'être Boston, New-York et Washington (corridor que l'on dénomme souvent le « Bowwash »), Barcelone et Madrid, Rome et Milan, San Diego, Los-Angeles et San Francisco, etc., et que l'on peut facilement rapprocher de l'idée de « galaxie urbaine » de J. Gottman ou du concept d'Eperopolis de C. Doxiadis (1972). En additionnant la population des agglomérations qui composent chaque corridor et en les plaçant sur le graphique bi-log de la loi rang taille, C. Marchetti retrouve alors le droite de K.G. Zipf, avec au premier rang le Shinkansen, corridor qui va de Tokyo à Osaka et qui englobe environ 80 millions de personnes (Figure 1.1.14).

De l'expérience de C. Marchetti, **on peut retenir également que les choses changent et que, si la considération des espaces-temps place les réseaux de transport au centre des recompositions spatiales, la refonte des structures intercommunales apportée par la loi Chevènement n'est qu'un accompagnement faible, comparé à l'ampleur que le phénomène peut théoriquement prendre. L'étalement urbain actuel n'en est qu'une première mesure. En continuant de suivre cette logique, le processus peut prendre une forme réellement révolutionnaire, qui à la sortie du système, confirme l'idée que l'étalement urbain annonce une transition urbaine, qui conduit à une nouvelle forme de villes, une réorganisation et un réaménagement de l'espace, issu d'une modification de la dialectique entre éloignement et proximité.**



En conclusion à ces divers constats concernant l'évolution récente des villes, on peut proposer une première définition de l'étalement urbain. Celui-ci apparaît d'abord comme **un processus d'urbanisation particulier, qui conduit à un arrangement lui aussi particulier de l'espace urbain et de ce qui le compose, privilégiant une expansion des périphéries des villes**

moins dense que ne l'est le centre auquel elles appartiennent. L'étalement urbain, entendu non seulement comme un processus mais également comme une nouvelle forme urbaine résultant de ce processus, a contribué à modifier l'acceptation que de nombreux acteurs avaient de cet espace et ce sur plusieurs plans : le plan administratif, le plan technique, le plan statistique. Partout, obligation est ainsi plus ou moins faite de réfléchir au fait que désormais l'espace urbain est en expansion constante, et qu'il ne peut plus se définir à partir du découpage territorial et administratif auquel il a pu correspondre, ni même à partir de sa morphologie. Il convient, au contraire, de s'attacher à son fonctionnement, pour entrevoir ses nouvelles limites. On constate alors que l'étalement urbain commande aujourd'hui une organisation territoriale qui dépasse largement le simple monde des villes, et qui définit également une partie du monde rural (que les sociologues qualifient de « néo-rural »), situé toujours plus loin dans la périphérie urbaine. Ainsi, dans la mesure où à l'aube du troisième millénaire, plus de trois français sur quatre habitent dans une aire urbaine, on peut dire que l'étalement urbain est le plus important processus de modification de l'organisation spatiale en France, le plus à même de déplacer les hommes selon de nouvelles configurations spatiales.

Or, on a vu que, pour une bonne part, ce sont les réseaux qui commandent cette réorganisation, en permettant ici et là, au fil de l'ouverture de nouvelles accessibilités, l'émergence de nouveaux espaces, et de nouveaux noyaux d'habitat. La question qui suit directement ce constat concerne évidemment les conséquences d'une telle réorganisation spatiale, du fait notamment que la condition *sine qua non* de son fonctionnement est bien la mobilité constante et importante de ceux qui l'habitent. L'étalement urbain questionne alors sur deux choses. Premièrement, c'est la fin des territoires urbains, dans le sens où une nouvelle définition spatiale remplace aujourd'hui l'ancienne et commode distinction entre l'urbain et le rural, entre la ville et la campagne. La ville actuelle est plus proche d'un mélange intégrant ces deux contraires (que l'on ne considère d'ailleurs comme contraire que par tradition, dans la mesure où il est aujourd'hui parfois délicat de les distinguer l'un de l'autre) que d'une réelle dichotomie. Avec cette modification des rapports ville-campagne, se pose évidemment la question du conflit entre ces deux anciens espaces, qui aux marges périurbaines, peut apparaître comme un important facteur de perturbation de l'environnement et des équilibres écologiques. Cette perturbation, qui amène à se poser la question de la coalescence urbaine, sera traitée dans le Chapitre 1.2. La deuxième question que pose ensuite l'étalement urbain concerne la refonte des rapports sociaux, rendue possible par cette nouvelle façon d'occuper l'espace et donc de se regrouper ; elle engendre de nouveaux comportements et de nouveaux réflexes spatio-temporels, dans lesquels les réseaux jouent un rôle fondamental. Appuyée sur eux, la ville prend en effet la forme de lignes en mouvement et les choix de localisation se font autour de ces lignes, en fonction de nouvelles priorités et selon de nouvelles distances. Elle amène à se poser la question de la cohérence urbaine, qui sera abordée dans le Chapitre 1.3.

Références bibliographiques

- Alonso W.A., 1964, *Location and land use. Toward a general theory of land rent*. Harvard University Press.
- Alonso W.A., 1960, *A model of urban land market location and densities of dwellings and businesses*, Doctorate dissertation, University of Philadelphia.
- Antoni J.P., Meyer V., 2001, Les temps de la ville, les temps dans la ville : la question « en combien de temps la ville est-elle accessible ? », *Espaces, temps, modes de vie. Nouvelles cohérences urbaines*, 22^{ème} rencontres nationales des agences d'urbanisme, Nantes, 13-14 décembre 2001, pp. 26-29.
- Antoni J.P., 2000, Expansion. Quand la ville cherche ses nouvelles limites, *Aire urbaine, aire urbaine. Les nouveaux enjeux de la gouvernance*, 21^{ème} rencontre nationale des agences d'urbanisme, Strasbourg, 26-28 décembre 2001, pp. 20-23.
- Ascher F., 1995, *Métapolis ou l'avenir des villes*, Ed. Odile Jacob, 345 pages.
- Barcelo M., 1993, *L'étalement urbain, qu'en est-il ? Le définir avant même de tenter de le gérer*. In : Bussière Y., Bonnafous A. (ss. dir.), 1993, Transport et étalement urbain : les enjeux, Programme pluri-annuel en sciences humaines, Rhone-Alpes, pp. 29-34.
- Barcelo M., 1999, Les indicateurs d'étalement urbain et de développement durable en milieu métropolitain, *Observatoire métropolitain de la région de Montréal*, Cahier 99-06, juin 1999, 51 pages.
- Bassand M. (ss. Dir), 2000, *Métropolisation, crise écologique et développement durable*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Coll. Science, technique et société, 312 pages.
- Bauer G., Roux J.M., 1978, *La rurbanisation ou la ville éparpillée*, Seuil, 189 pages.
- Bauer J.M., 1997, Les aventures de la rurbanisation, *Urbanisme*, n°296, septembre-octobre 1997, pp. 73-74.
- Beaujeu-Garnier J., 1995, *Géographie urbaine*, Armand Colin, Coll. U, 349 pages.
- Berger M. et al., 1980, Rurbanisation et analyse des espaces ruraux périurbains, *L'espace géographique*, n°4, pp. 303-313.
- Berroir S., Cattant N., Saint-Julien T., 1996, *Polarisation des déplacements et formes de peuplement*, 9 pages. In : Pumain D., Godard F. (coord.), 1996, Données urbaines, Anthropos, Coll. Villes, pp. 301-309.
- Berroir S., Cattant N., Saint-Julien T., 1996, *La structuration des territoires de la ville, entre agglomération et aire polarisée*, Document de travail, Equipe PARIS, CNRS, Université de Paris I.
- Bessy-Pietri P., Hilal M., Schmitt B., 2000, Recensement de la population 1999 : évolutions contrastées du rural, *INSEE Première*, n° 726, juillet 2000, 4 pages.

- Bessy-Pietri P., Sicamois Y., 2001, La zonage en aires urbaines en 1999 : 4 millions d'habitants en plus dans les aires urbaines, *INSEE Première* n° 765, avril 2001, 4 pages.
- Bonnafous A., Tabourin E., 1998, *Modélisation de l'évolution des densités urbaines*, 14 pages. In : Pumain D., Mattei M.F., 1998, Données urbaines 2, *Anthropos*, Coll. Villes, pp. 167-180.
- Bonnel P., 2000, Une mesure dynamique des relations entre transports collectifs, étalement urbain et motorisation. Le cas de Lyon, 1976-1995, *Les cahiers Scientifiques du transport*, n° 38, pp. 19-44.
- Bordreuil J.S., 2000, *La ville desserrée*, 14 pages. In : Paquot T, Lussault M., Body-Gendrot S. (ss. dir.), 2000, La ville et l'urbain, l'état des savoirs, Paris, La Découverte, pp. 169-182
- Brunet R., Ferras R., Théry H., 1992, *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique*, Reclus-La documentation française, 518 pages
- Bussière Y., 1993, *L'étalement urbain à Montréal : un diagnostic*. In : Bussière Y., Bonnafous A., 1993, Transport et étalement urbain : les enjeux, Programme pluri-annuel en sciences humaines, Rhône-Alpes, pp. 5-29
- CERTU, 2000, *La forme des villes : caractériser l'étalement urbain et réfléchir à de nouvelles modalités d'action*, Débat CERTU 30, Coll. du CERTU, 178 pages.
- Chavouet J.M., Fanouillet J.C., 2000, Forte extension des villes entre 1990 et 1999, *INSEE Première*, n° 707, avril 2000, 4 pages.
- Choay F., 1994, *Le règne de l'urbain ou la mort de la ville*. In : Dethier J., Guiheux A., 1994, La ville, art et architecture en Europe, Centre Georges Pompidou, pp. 26-35.
- Choay F., 1999, De la ville à l'urbain (propos recueillis par T. Paquot), *Urbanisme HS*, nov. 1999, « Une chronique du siècle », pp. 6-8.
- Derycke P.H., 1979, *Economie et planification urbaine*, Tome 2, Théorie et modèles, Presses Universitaires de France.
- Donzelot J., 1998, *La ville éclatée*. In : Collectif, 1998, Les révolutions invisibles, Calmann Levy, 322 pages.
- Donzelot, 1999, La nouvelle question urbaine, *L'esprit*, nov. 99, pp. 87-98.
- Doxiadis C., 1972, The formation of the human room, *Ekistics*, n° 196, Vol. 33, mars 1972, pp. 218-229.
- Duvernoy I, 2000, Espace agricole périurbain et politiques communales d'aménagement : l'exemple de l'agglomération albigeoise, *Cybergeo : European Journal of Geography*, n°208, mars 2002, 16 pages.
- Emangard P.H., 1993, La ville prend ses aises, *Urbanisme*, hors-série n°1, février 1993, pp. 67-70.
- Estebe P., Kirszbaum T, Document non daté, *L'intercommunalité. Entre optimum territorial et pouvoir local, lecture de la littérature récente*, Etude réalisée par Acadie à la demande du Plan Urbain. Etude consultable sur le site du Ministère de l'Équipement dédié à l'urbanisme : www.urbanisme.equipement.gouv.fr

- FNAU, 1999, Les évolutions démographiques des aires urbaines où sont présentes les agences d'urbanisme, *Dossier FNAU*, n°3, Novembre 1999, 6 pages.
- FNAU, 2000, Une contribution de la FNAU aux réflexions sur les multiplexes cinématographiques, *Dossier FNAU*, n°5, novembre 2000, 6 pages.
- FNAU, 2001, *Atlas des aires urbaines*, Document réalisé en contribution avec la DATAR, Décembre 2001, 73 pages.
- Fouchier V., 1999, Maîtriser l'étalement urbain : une première évaluation des politiques menées dans quatre pays (Angleterre, Norvège, Pays-Bas, Hong-Kong), *2001 Plus*, n°49, septembre 1999, 59 pages.
- Gannon F., 1992, *Modèles de la ville et politiques urbaines optimales*, Thèse pour le doctorat de sciences économiques de l'université de Paris-X Nanterre.
- Halbachs M., 1928, *La population et les tracés de voies à Paris depuis un siècle*, PUF, Paris.
- INRETS, 1989, *Un milliard de déplacements par semaine. La mobilité des français*, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, La Documentation française, 293 pages.
- Jaillet M.C., 1981, *La production de la maison individuelle dans la région toulousaine*, Thèse de troisième cycle, Université de Toulouse II, 460 pages.
- Julien P., 2001, Les grandes villes françaises étendent leur influence, *INSEE Première*, n° 766, avril 2001, 4 pages.
- Le Gléau J.P, Pumain D., Saint-Julien T., 1996, Villes d'Europe : à chaque pays sa définition, *Economie et statistique*, n°294-295, 1996 - 4/5, pp. 9-23.
- Le Jeannic T., 1996, Une nouvelle approche territoriale de la ville, *Economie et statistique*, n° 294-295, pp. 25-44.
- Le Jeannic T., 1997, Trente ans de périurbanisation : extension et dilution des villes, *Economie et statistique*, n°307, juillet 1997, pp. 21-41.
- Le Jeannic T., Vidalenc J., 1997, Pôles urbains et périurbanisation. Le zonage en aires urbaines, *INSEE Première*, n° 516, avril 1997.
- Lusson P., 1997, *L'étalement de la ville : constats et analyse*. In : Dubois-Taine G., Chalas Y., 1997, *La ville émergente*, Ed. de l'Aube, pp. 43-53.
- Marchetti C., 1991, Voyager dans le temps. Considérations pour une meilleure exploitation de la liaison fixe, *Futuribles*, n° 156, juillet-août 1991, pp. 19-29.
- Mathieu N., 1998, La notion du rural et les rapports ville-campagne en France : les années 1990, *Economie rurale*, n°247, pp. 11-20.
- Mercier (coord.) et al., 1997, *L'étalement urbain, une dynamique géographique de valorisation culturelle, politique et économique*, Coopération France-Québec, 1995-1997, www.celat.ulaval.ca (université de Laval, Canada).
- Merenne-Schoumaker B., 1981, *La localisation des industries en milieu urbain*, Conférence du 6 mai 1981, Université de Fribourg, Suisse, 15 pages.

- Merenne-Schoumaker, 1974, Eléments entrant concrètement en compte pour le choix d'une localisation, *Localisation des entreprises et développement régional*, 1^{er} congrès des économistes belges de langue française, Charleroi, 13-14 décembre 1974, Rapports préparatoires, pp. 1-22.
- Ministère de l'intérieur, 2002, *Communiqué du Ministère de l'intérieur relatif au troisième bilan d'application de la loi du 12 juillet 1999 relative au renforcement et à la simplification de la coopération intercommunale*, Direction générale des collectivités locales, 11 février 2002, 13 pages.
- Monkonner E., 1988, *The development of US cities and towns, 1780, 1980*, University of California Press, Los Angeles.
- Monnet J., 1997, Pitié pour les grandes villes ! Big Cities Blues : myth or reality?, *CyberGeo : European Journal of Geography*, n°16, fév. 1997, 3 pages (<http://www.cybergegeo.presse.fr>).
- Nicot B.H., 1996, *La périurbanisation dans les zones de peuplement industriel et urbain*, 11 pages. In : Pumain D., Godard F. (coord.), 1996, Données urbaines, Anthropos, Coll. Villes, pp. 289-299.
- P. Cheylan et al., 1999, Les mots du traitement de l'information spatio-temporelle *Revue Internationale de Géomatique*, , n° spécial Représentation de l'espace et du temps dans les SIG, Volume 9, n°1, pp. 11-23.
- Prost B., 1994, L'agriculture périurbaine : analyse d'une marginalité, *Bulletin de l'association des géographes français*, n°2, pp. 114-151.
- Racine J.B., 1967, Exurbanisation et métamorphisme péri-urbain. Introduction à l'étude de la croissance du grand Montréal, *Revue de géographie de Montréal*, n° 22, pp. 313-341
- Reymond H., 1981, *Une problématique théorique de la géographie : plaidoyer pour une chorotaxie expérimentale*, 87 pages. In : Isnard H., Racine J.B., Reymond H., 1981, Problématiques de la géographie, Presses Universitaires de France, Coll. Le Géographe, pp. 163-249.
- Simard M., 1997, L'étalement urbain : un choix de société, *Routes et transports*, n°26-4, pp. 7-15.
- Steinberg J., 1990, Le développement périurbain est-il inédit et spécifique ? *Villes parallèles*, n° 15-16, pp. 100-109.
- Suire M., Laruelle N. , document non daté, *Coopération intercommunale. Note bibliographique*, Etude réalisée par Tetra à la demande du centre de documentation de l'Urbanisme (CDU). Etude consultable sur le site du Ministère de l'Équipement dédié à l'urbanisme : www.urbanisme.equipement.gouv.fr
- Surowiec C., Minvielle E., 2002, *La couverture des aires urbaines par les périmètres de transports urbains : le cas de 29 aires urbaines*, Note de synthèse du service économique et statistique de la direction des affaires économiques et internationales, mai-juin 2002, 6 pages.

Tabourin E., 1995, Les formes de l'étalement urbain. La logique du modèle de Bussière appliquée à l'agglomération lyonnaise, *Les annales de la Recherche urbaine*, Densités et espacements, n°67, juin, 1995, pp. 32-42.

Talbot J., 2001, Les déplacements domicile-travail : de plus en plus d'actifs travaillent loin de chez eux, *INSEE Première*, n° 767, avril 2001, 4 pages.

Thompson B., 1993, Sprawl is like the weather, *Planning Commissioners Journal* (www.plannersweb.com), Issue 11, summer 1993, p. 20.

Sites Internet :

Site du ministère de l'économie et des finances – Section Collectivités locales :
www.minefi.gouv.fr

Site du ministère de l'équipement – Section urbanisme :
www.urbanisme.equipement.gouv.fr

Site du Syndicat Mixte de l'aire urbaine Belfort-Montbéliard-Héricourt-Delle :
www.pays-aireurbaine.com

Chapitre 1.2

L'étalement urbain : éloignement et envahissement

L'étude de l'étalement urbain ne saurait se contenter d'une analyse uniquement spatiale de l'évolution des villes, car celle-ci n'aboutirait qu'à constater qu'elles sont toujours de plus en plus grandes, sans donner les moyens d'évaluer les conséquences de cette croissance. Or, pour H. Reymond (Reymond *et al.*, 1998), elle remet véritablement en cause les deux notions qu'utilise M. Sorre (1952) pour expliquer l'existence et la continuité historique des villes : la coalescence et la cohérence urbaines. Dans un premier temps, il s'agit de mettre l'accent sur la coalescence, pour voir comment, si l'on conçoit la ville et son environnement comme un tout formant un système, l'étalement urbain apparaît effectivement comme un processus qui nuit au système entier. Les espaces naturels périurbains subissent en effet la croissance de la ville. Les conséquences de cette croissance sont d'abord visibles par l'intermédiaire du mitage, cet « éparpillement de constructions dans la campagne, notamment à proximité des agglomérations »¹ (Brunet *et al.*, 1992). Mais elles sont visibles aussi par l'intermédiaire de la réticulation, c'est-à-dire de la mise en réseau de ces nouvelles constructions éparpillées dans la campagne, nécessitant la construction constante de nouvelles routes. Mitage et réticulation apparaissent alors comme les deux formes de l'agression de la ville sur la campagne, provoquée par la croissance urbaine. **L'une des questions qui se pose alors consiste à savoir**

¹ R. Brunet *et al.* (1992) précisent que le mitage correspond à une forme de périurbanisation « qui certes a bien des défauts ». Le mot évoque en lui-même « les trous aléatoires provoqués par les mites dans un tissu (racine indo-européenne : *mai*, idée de ronger, couper en très petits morceaux), bien qu'il s'agisse au contraire d'addition et non de soustraction ; mais c'est parce que l'on évoque implicitement la consommation de l'espace et la dégradation du tissu 'de qualité', qui est forcément et *a priori* le tissu agricole 'naturel' ».

quelles sont les conséquences de cette substitution, afin de voir dans quelle mesure elle affecte la coalescence urbaine, et les futurs possibles de cette croissance. Pour ce faire, il est alors nécessaire de revenir sur le principe et l'utilité de la proximité urbaine, afin de montrer que les changements actuels reposent essentiellement sur une modification de la dialectique entre proximité et éloignement, issue de nouvelles possibilités techniques, permettant de mieux allier le proximal et le distal.

1. La ville mise à distance

Le processus d'étalement urbain a indéniablement introduit des modifications notables dans l'urbanisation et la forme des villes ; l'évolution de l'intercommunalité ou encore les aires urbaines de l'INSEE n'en sont que des témoins. Pour les urbanistes, il y a eu un changement. Pour les mathématiciens, « un changement se produit si et seulement si, il existe une proposition P et des instants t et t' tels que P est vraie à t et fausse à t' »², ce qui revient à dire qu'il n'existe que si une différence est observée entre deux choses comparables. Dans le vocabulaire de la géographie (Cheylan *et al.*, 1999), le terme de « changement » est effectivement un terme générique qui renvoie aux notions plus précises d'évolution, de mutation et de transition, c'est-à-dire respectivement à « un changement graduel qualitatif ou quantitatif dans le temps », un « changement entre deux états stables », au « passage d'un état à un autre, structurellement différent et stable ». Quelle est alors la différence entre la valeur de P à t et sa valeur à t' ? Autrement dit, quelle ville faudrait-il comparer à la ville actuelle pour évaluer la quantité et la qualité des changements ? La notion d'espacement, nous l'avons vu, est une obligation nécessaire à la ville ; la notion de disposition, nous l'avons vu aussi, est une liberté pour l'arrangement de ces espacements, et c'est justement l'arrangement de la ville et de ses lieux qui se trouve modifié par le processus d'étalement urbain. L'idée de proximité, et donc *a fortiori* l'idée de distance, permet de qualifier ces arrangements pour voir ce que l'étalement urbain y a changé.

1.1. La ville : outil des proximités

Ceci doit amener à choisir un point de vue pour observer la ville, de manière à pouvoir dire si oui ou non, sur tel aspect ou tel autre, il y a eu changement. Ce point de vue constitue alors en partie une définition théorique de la ville en tant qu'objet spatial. Nous le choisissons en correspondance avec l'opinion de P. Claval (1981), ou encore celle de J.M. Huriot (1998), qui consiste à penser que la ville est avant tout un moyen de maximiser les interactions entre

² C'est la définition de B. Russel (Russel B., 1903, 1938, *The principles of mathematics*, Londres) cité par JP. Cheylan *et al.* (1999).

ceux qui l'habitent. Pour ce faire, la ville privilégie les proximités par rapport aux éloignements, et elle les arrange de manière à produire autant d'économies, qui feront d'elle une ville, c'est-à-dire une « machine à interagir » (Mumford, 1961).

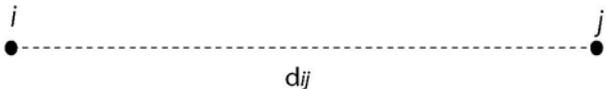
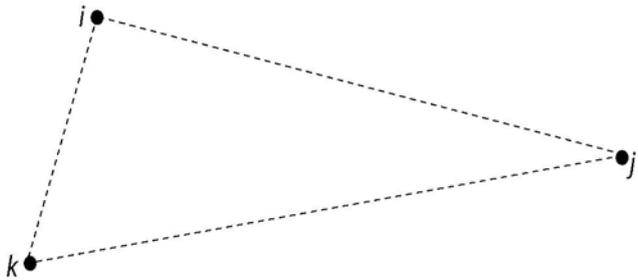
1.1.1. Distance et proximité

Dans le contexte actuel de la politique de la ville, la notion de proximité revêt néanmoins plusieurs sens (Querrien, 2001). On parle par exemple de police de proximité pour désigner les îlotiers de quartier, au contact de la population (Demonque, 2001); on parle encore de services et de commerces de proximité pour qualifier l'éparpillement des bureaux de postes ou des épiceries dans les villes, afin que ceux-ci soient plus accessibles pour la population, même si les choix proposés sont moindres (Madoré, 2000 ; Péron, 2000). Nous n'entendons pas **la proximité dans ce sens : la proximité apparaît beaucoup plus simplement comme un cas particulier de distance, celui pour lequel la distance est courte. Dans le cadre des éléments avancés dans le premier chapitre, les proximités peuvent en effet apparaître comme des formes particulières d'espace, qu'il convient de hiérarchiser au sein d'arrangements profitables aux territoires urbains.** Dans le langage courant, la proximité correspond en fait à la « situation d'une chose qui est à peu de distance d'une autre » (Petit Robert, 1993) : elle évoque alors le voisinage, la contiguïté, la ressemblance. Mais, quand elle concerne l'espace géographique ou l'espace économique, J. Huriot (1998) explique que la proximité est un concept encore mal cerné, et qu'« à toute question posée en termes de proximité, il semble exister une réponse en termes de distance ». La distance apparaît donc bien commode puisque contrairement à la proximité, elle peut se traduire formellement et entrer dans la construction de modèles théoriques ou opérationnels, capables d'apporter des solutions précises à des problèmes numériques spécifiques. On entend donc bien que la proximité est un cas particulier de distance, celui pour laquelle la distance est petite.

Qu'est-ce alors que la distance ? On peut retenir la définition proposée par D. Stea et R. M. Downs (1977), également retenue et enrichie par C. Cauvin (1984a et 1984b) : « Une distance est une quantité de séparation spatiale (ou temporelle, etc.³) entre deux objets comparables (localisation) ». Ainsi, si la distance entre deux points i et j est une quantité de séparation, cela implique que ces deux points ne soient pas confondus, mais qu'il existe entre eux un espacement, c'est-à-dire une quantité dont il faudra pourvoir mesurer l'importance. Cela implique également que i et j soient deux objets repérables. Mais, ces objets sont des termes non définis, que l'on pourra aussi appeler places ou lieux, et qui correspondent intuitivement à des unités spatiales élémentaires, à l'intérieur desquelles aucune distinction ne peut être faite. Ainsi, comme l'indiquent H. Béguin et J.F. Thisse (Béguin *et al.*, 1979), un tel ensemble de lieux permet de définir le substrat matériel de tous les processus physiques, biologiques et

³ Nous éliminons toutes les séparations qui ne sont pas spatiales et ne traiterons donc pas les autres séparations possibles, qui sont simplement signalées pour mémoire par cette parenthèse.

humains. En géographie, c'est généralement la localisation de ces points sur la surface terrestre qui permet de les repérer. En effet, d'après R. Brunet *et al.*, (1992), localiser, c'est pointer quelque part sur le globe, reconnaître une différence et faire l'hypothèse que le lieu pointé n'est pas indifférent. Ceci se fait en général par l'intermédiaire d'un système de coordonnées indiquant la position du lieu sur le globe terrestre, calculée par rapport à l'équateur et à un méridien de référence (celui de Greenwich, par exemple).

La distance Définition et propriétés mathématiques		FIGURE 1.2.01
<p>Définition</p> 		<p>Avec <i>i et j</i>: deux objets comparables, soit deux points donc deux localisations ;</p> <p><i>dij</i>: intervalle entre <i>i</i> et <i>j</i>, soit la distance entre <i>i</i> et <i>j</i></p>
<p>Propriétés mathématiques</p> <p>1. Non négativité : $d_{ij} > 0$</p> <p>2. Identité : $d_{ij} = 0 \iff i = j$</p> <p>3. Symétrie : $d_{ij} = d_{ji}$</p> <p>4. Inégalité triangulaire : $d_{ij} < d_{ik} + d_{kj}$</p> <p>Avec : <i>i, j</i> et <i>k</i> des lieux non confondus de l'ensemble</p>		
<p>Sources : Stea et Downs (1977), Thisse et Beguin (1979), Cauvin (1984) ; Auteur : JP. Antoni (2002)</p>		

Traditionnellement, cette position s'exprime en heures, minutes et secondes, mais un transfert est possible dans d'autres systèmes de référence. Le plus commode est alors le repère orthonormé faisant correspondre des valeurs *x* en abscisse et des valeurs *y* en ordonnée, via un système de projection. La position de chaque lieu est alors définie par un couple de coordonnées *x* et *y* :

$$i(x_i, y_i) ; j(x_j, y_j)$$

Mais, les lieux étant différents, ils ne sont pas confondus, et il est possible de calculer une distance entre eux. La distance est donc décrite dans une métrique donnée qui dans notre

cas, sera une métrique euclidienne⁴, et se mesurera de façon directe, à vol d'oiseau⁵. On peut la calculer directement à partir des coordonnées x et y des lieux :

$$d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{1/2}$$

Entendue dans ce sens, on peut faire correspondre à la distance les quatre propriétés que lui associent les mathématiciens (Béguin *et al.*, 1979 ; Huriot, 1998), c'est-à-dire la non-négativité, l'identité⁶, la symétrie et l'inégalité triangulaire (Figure 1.2.01) :

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1. Non-négativité : | $d_{ij} \geq 0,$ |
| 2. Identité : | $d_{ij} = 0 \Leftrightarrow i = j,$ |
| 3. Symétrie : | $d_{ij} = d_{ji},$ |
| 4. Inégalité triangulaire : | $d_{ij} \leq d_{ik} + d_{kj}.$ |

Avec i, j et k des lieux de l'ensemble

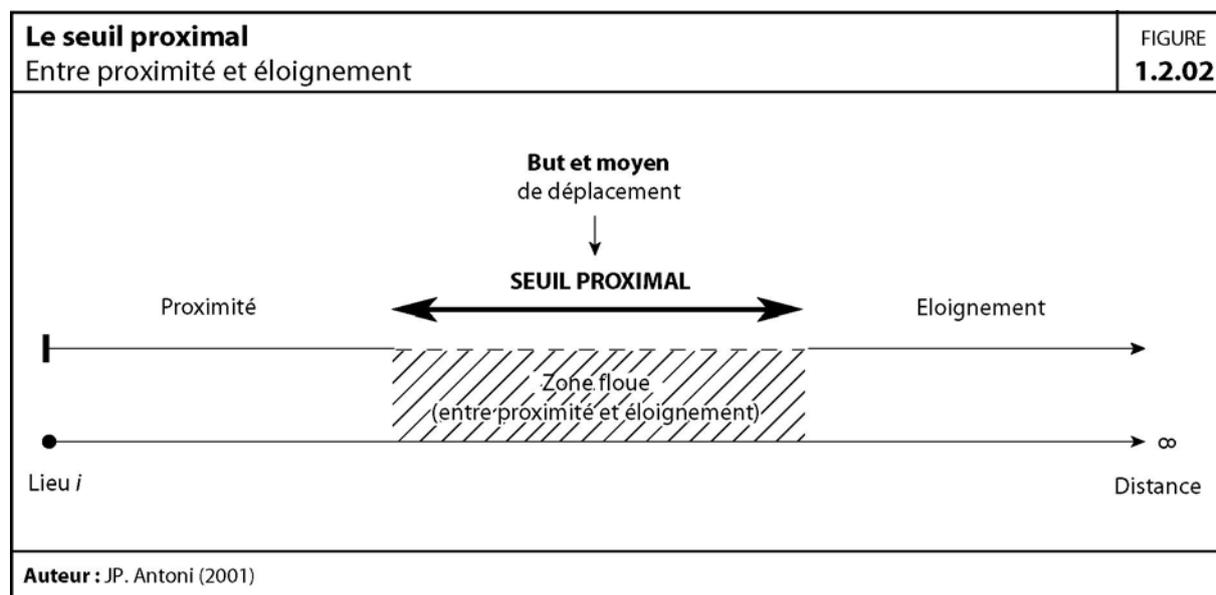
Après avoir défini la distance, revenons à la proximité. Etre proche signifie être « à peu de distance », c'est-à-dire à peu de kilomètres à vol d'oiseau. Mais, comme le remarque R. Brunet (1992), ce caractère est éminemment relatif puisque tout dépend du « peu », qui apparaît comme un seuil en-deçà duquel on est effectivement proche, mais au-delà duquel on est éloigné. **Ceci nous amène à évoquer la notion de proximité telle qu'on la rencontre en économie spatiale : « la proximité est associée à une faible distance, ce qui suppose la fixation d'un seuil en dessous duquel la distance satisfait cette qualité »** (Huriot, 1998). Or, pour les économistes toujours, la distance est déplorée lorsqu'elle gêne la réalisation des objectifs des individus ou de la société ; cet effet négatif engendre alors une « préférence pour la proximité », c'est-à-dire une localisation établie en dessous du seuil. Inversement, la distance peut être souhaitée si elle protège de certains effets négatifs (encombrements, pollution, etc.) ; cet aspect négatif engendre alors une préférence pour l'éloignement, c'est-à-dire une localisation établie au-dessus du seuil. On saisit donc bien ici également la caractère relatif du seuil, et donc de la proximité. Elle est fortement dépendante du contexte dans lequel on la conçoit. Ainsi, on posera comme principe que **le seuil séparant le proche du**

⁴ Nous éliminons donc toutes les autres métriques définies dans un espace Minkowski (distance de Manhattan, distance dominante, distance circumradiale) ou dans un espace de Riemann (distances cognitives).

⁵ Dans un premier temps, nous éliminons donc la distance réelle (calculée à partir d'une voie de circulation), la distance-temps (calculée en durée horaire), la distance coût (calculée en euros), etc.

⁶ J.M. Huriot (1998) synthétise les deux premières propriétés (non-négativité et identité) en une seule (qu'il appelle identité) en la définissant comme ceci : la distance s'annule si et seulement si i et j sont confondus.

lointain – et qui définit en même temps la proximité – est une limite floue, déterminée par le but de celui qui le fixe (Figure 1.2.02).



Pour qualifier la position des éléments considérés en dessous et au dessus du seuil, on utilisera alors les adjectifs contraires *proximal* et *distal*. *Proximal* caractérise en effet ce qui est « le plus près du centre » et s'oppose à *distal* qui caractérise « ce qui est le plus éloigné d'un point de référence » (Petit Robert, 1993). Le fait de considérer la ville comme un outil permettant de maximiser les proximités offre un éclairage sur cette notion relative, et sur le seuil qui sépare le proximal du distal. La considération du seuil permet de distinguer les éléments proximaux des éléments distaux, c'est-à-dire la proximité de l'éloignement. Cette distinction apparaît très intéressante pour étudier les arrangements urbains, puisque, comme le note J.M. Huriot (1998), la ville peut être considérée comme une « proximité organisée ».

1.1.2. La ville : un arrangement des proximités

Dire que la ville est une « proximité organisée » nécessite que l'on se soit posé la question de savoir à quoi sert la ville, pourquoi elle a été construite, car définir la proximité consiste à définir un seuil qui, on l'a vu, dépend d'un but. On est alors en droit de se demander pourquoi les villes existent, c'est-à-dire quelle est l'originalité qui, par rapport à d'autres formes d'habitats humains à la surface de la Terre, leur permet d'exister en tant que telles. D'évidence, il y a une multitude de réponses à ces questions, qui se heurtent à l'histoire particulière de chaque civilisation et de chaque site, c'est-à-dire de chaque espace et de chaque société. Certaines villes ont un but politique, d'autres un but religieux, d'autres encore sont des relais économiques, etc. On pourra lire à ce sujet l'énumération de G. Chabot et J. Beaujeu-Garnier (Chabot *et al.*, 1964), au chapitre 'Comment naissent les villes?'. Mais, si

tant est qu'il soit permis de le faire, et pour essayer de généraliser, nous retiendrons ici une seule idée pour justifier l'existence des villes et leur organisation, par rapport à l'objectif que nous nous fixons : celle de la maximisation des interactions, liée à la maximisation des proximités.

Dans *L'homme et la terre*, E. Reclus avait remarqué en son temps (et avec ses mots) que « si l'homme vit de rien dans certaines parties de la zone tropicale, il n'y prospère pas, et l'existence purement végétative ne le conduit pas à développer son intelligence et à se rendre maître de la nature qui l'environne. L'homme pullule au contraire dans les territoires réclamant de sa part un travail constant, d'où résulte une évolution graduelle de son être ». Plus récemment, P. Claval (1981) a écrit que « les sociétés archaïques ignorent la vie urbaine. Cela vient de la médiocrité de leur maîtrise technique sur le milieu : elles sont incapable d'en tirer une alimentation abondante ». Ces deux idées corroborent le fait qu'il existe pour chaque espace naturel une densité limite supportable pour que les hommes y vivent de façon prospère. Généralement, cette densité limite est très faible. Ainsi, il est nécessaire de quitter ce premier espace pour en découvrir d'autres et puiser leurs ressources : le fait qu'un territoire ne puisse accueillir qu'une faible densité humaine trouve une première solution dans l'expansion temporaire de cet espace, lors d'expédition de chasse et de périodes de récoltes qui mobilisent toute la population, pour la recherche indispensable de nourriture. Mais, la proximité offre une deuxième solution à ce problème. P. Claval (1981) remarque en effet qu'une population stable et nombreuse peut se maintenir en permanence si elle s'installe à proximité d'un point d'eau, par exemple. De la stabilité de cette situation peut émerger une forme d'organisation qui n'était pas possible auparavant : la division des tâches nécessaires à la survie du groupe, qui permet de ne plus mobiliser toute la population, mais de tenir compte de l'aptitude particulière des individus (âge, sexe, etc.). Cette division engendre alors une nouvelle organisation, qui va permettre de maîtriser des techniques nouvelles, l'élevage en particulier. Au fur et à mesure que les techniques sont acquise, « l'accumulation cesse d'apparaître comme le résultat d'une situation exceptionnelle ; elle devient chose normale » (Claval, 1981). **La proximité permet ainsi d'organiser la subsistance des groupes humains sur l'écoumène⁷, c'est-à-dire sur la « partie de la Terre occupée par l'humanité » (Brunet *et al.*, 1992), en lui permettant d'épargner le temps et l'énergie nécessaire à la recherche des ressources dont ils ont besoin. La proximité est donc une forme d'épargne qui permet d'améliorer le confort et de diminuer les efforts nécessaires à la survie.**

⁷ Concernant l'orthographe du mot écoumène, il nous suffit de citer A. Berque (1996) : « Le genre et l'orthographe de ce terme ont grandement varié dans la langue française. J'écris *écoumène* en conformité avec le mode de formation ordinaire des mots français dérivés du grecs (comme, à partir d'*oikos*, écologie, économie, etc.), et ce au féminin pour des raisons étymologiques d'une part (*oikoumenê* était féminin), sémantique d'autre part (il s'agit de la relation entre des entités qui sont féminines en français : la Terre, l'humanité) ».

Ainsi, le fait que l'homme ait arrangé et modifié son environnement naturel en créant des formes de regroupements spatiaux, dans un certain champ de proximité par rapport aux éléments qui lui sont nécessaires pour survivre, constitue la base de la création et de l'appropriation de territoires définis et stables. On comprend alors qu'en tant que regroupement de l'habitat humain, cet arrangement de l'espace nécessaire à l'amélioration des conditions de vie, prend la forme d'un village, voire d'une ville, et que celui-ci, comme le signalait E. Reclus, réclame une réflexion et une organisation constante, celle-là même qui permet son évolution, par la maîtrise de l'environnement naturel. L'idée que nous retiendrons ici est alors que **l'organisation des proximités permet aux groupes humains d'optimiser leur survie en facilitant leurs relations spatio-temporelles aux choses de la nature. Le regroupement humain constitue de la sorte avant tout un phénomène a-naturel, voué à pallier les manques proximaux de la nature, à trouver une solution au problème de l'échelle inhumaine de l'écoumène. La ville se pose dès lors en rupture avec l'équilibre local et naturel et s'impose comme une structure nouvelle créée par l'homme. Elle est donc artificielle, produit de l'habileté humaine à s'adapter au milieu qui l'entoure.** Parallèlement à ce premier rôle orienté uniquement vers la survie trophique du groupe, la proximité résultant de l'organisation urbaine va également influencer les rapports des gens qui y vivent. On a dit par exemple, que la ville permettait la division des tâches, et donc l'organisation de collaborations et de complémentarités entre ceux qui y vivent et les lieux qu'ils habitent. On a pris l'habitude, depuis, de penser que la ville sert ainsi à maximiser les interactions humaines, et qu'elle le fait par l'intermédiaire de sa propre proximité, c'est-à-dire de la proximité aux choses qu'elle contient : « la ville est l'expression par excellence d'une proximité organisée dans le but de maximiser les interactions » (Huriot, 1998). La question reste alors de déterminer quel but, c'est-à-dire quelle finalité est à la source de cet effet-ville. Si l'on se réfère aux bases de l'économie, la ville apparaît dès son origine comme un formidable moyen mis en place pour dégager des marges de profit. C'est l'un de ses premiers buts, une de ses premières finalités théoriques. Mais qu'est-ce réellement que l'économie ?

1.1.3. L'économie par la ville

Au delà de la simple épargne dont nous nous sommes servis plus haut pour introduire l'idée, la définition la plus commune de l'économie lui donne le sens d'une science « qui a pour objet la connaissance des phénomènes concernant la production, la distribution et la consommation des richesses, des biens matériels dans la société humaine » (Petit Robert, 1978). C'est à peu près aussi l'idée que s'en fait A. Smith (1776), comprise plus comme l'étude de tout ce qui concourt à la production, à l'échange et à la répartition des richesses, que comme simple étude des biens matériels, simple thésaurisation. L'économie est ici considérée comme science des richesses, non comme science des choix (de type classique, néo-classique, libéral ou ultra-libéral), ni comme une entité globale indissociable de

l'ensemble de la société (de type marxiste). L'idée d'économie entendue ici est donc celle qu'il existe une relation entre proximité spatiale et gains. F. Goffette-Nagot et B. Schmitt (Goffette-Nagot *et al.*, 1998) mettent aussi cette idée en avant pour expliquer la naissance des regroupements humains, qu'il s'agisse de villages ou de villes : c'est un ensemble d'« économies d'agglomérations fondées sur des mécanismes micro-économiques ». Y. Crozet (1998) explique cette même idée par le fait que l'économie d'agglomération, qui apparaît comme une variante en théorie économique, des effets externes (encore appelées externalités)⁸, offre de nombreux effets positifs qui découlent directement de la proximité urbaine : baisse des coûts de transport, existence d'un vaste bassin d'emploi, de nombreux consommateurs, etc. Il avance alors l'idée que les effets externes positifs, pécuniaires, d'informations ou de comportement collectif ou encore technologiques (Torre, 1998 ; Baumont *et al.*, 1998), sont au fondement même de l'utilité sociale du développement urbain. Dans le cas de la ville, ces économies d'agglomération s'entendent en effet en termes de valorisation des proximités spatiales propres au regroupement, maximisation engendrant des gains. Le gain, c'est alors ce que l'on gagne avec la ville, son bénéfice, son profit, son rapport. Et le premier rapport, par l'économie des déplacements, est un gain de temps. L'idée tient simplement à une formule mathématique, celle de la vitesse (v), qui lie la distance (d) et le temps (t) :

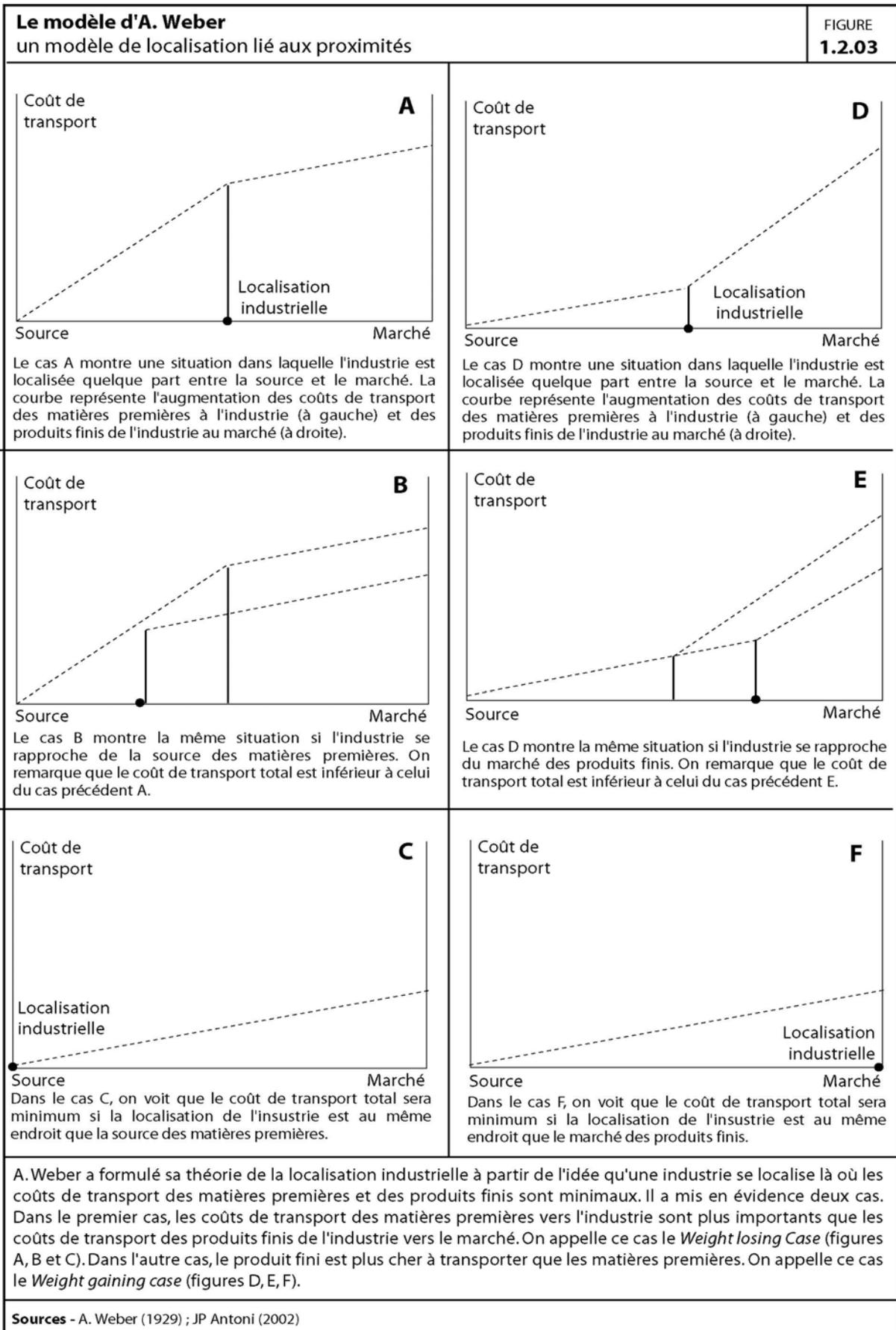
$$\begin{aligned} v = d / t & \Leftrightarrow t = d / v \\ & \Leftrightarrow t = \alpha \cdot d \text{ si } v \text{ est une constante} \end{aligned}$$

En toute logique, une diminution de la distance implique une perte de vitesse. Mais si la vitesse reste constante, elle implique une diminution proportionnelle du temps dépensé en déplacement, et donc, un gain de temps. Ainsi, en minimisant les distances entre les objets qui l'intéressent, l'homme gagne du temps et par là, il gagne beaucoup de choses : la possibilité de s'organiser en habitat groupé qui peut correspondre à un village, de transformer ce village en une ville, de développer et d'adapter cette ville en fonction d'attentes et de besoins nouveaux, jusqu'à ce que ces nouvelles fonctions masquent presque complètement le rôle de l'économie et de la proximité qui en sont à l'origine. En 1819 déjà, J.N.L. Durand estimait que « de tous les temps et dans tous les lieux, toutes les pensées de l'homme et toutes ses actions ont eu pour origine ses deux principes : l'amour du bien-être et l'aversion pour toute espèce de peine. C'est pourquoi les hommes [...] lorsque réunis en

⁸ « Pour l'économiste, il y a effet externe lorsqu'il y a interdépendance entre les comportements des acteurs économiques, soit lorsqu'une décision de production ou de consommation modifie la fonction de production ou d'utilité d'un autre acteur. Mais d'emblée, il faut distinguer les voies par lesquelles passent ces modifications que l'on appelle effets externes ou externalités. Si elles transitent par le marché et des changements de prix, on parlera d'effets externes pécuniaires, si elles agissent sur la structure des fonctions de coût, ou d'utilité, on parlera d'effets externes technologiques » (Crozet, 1998).

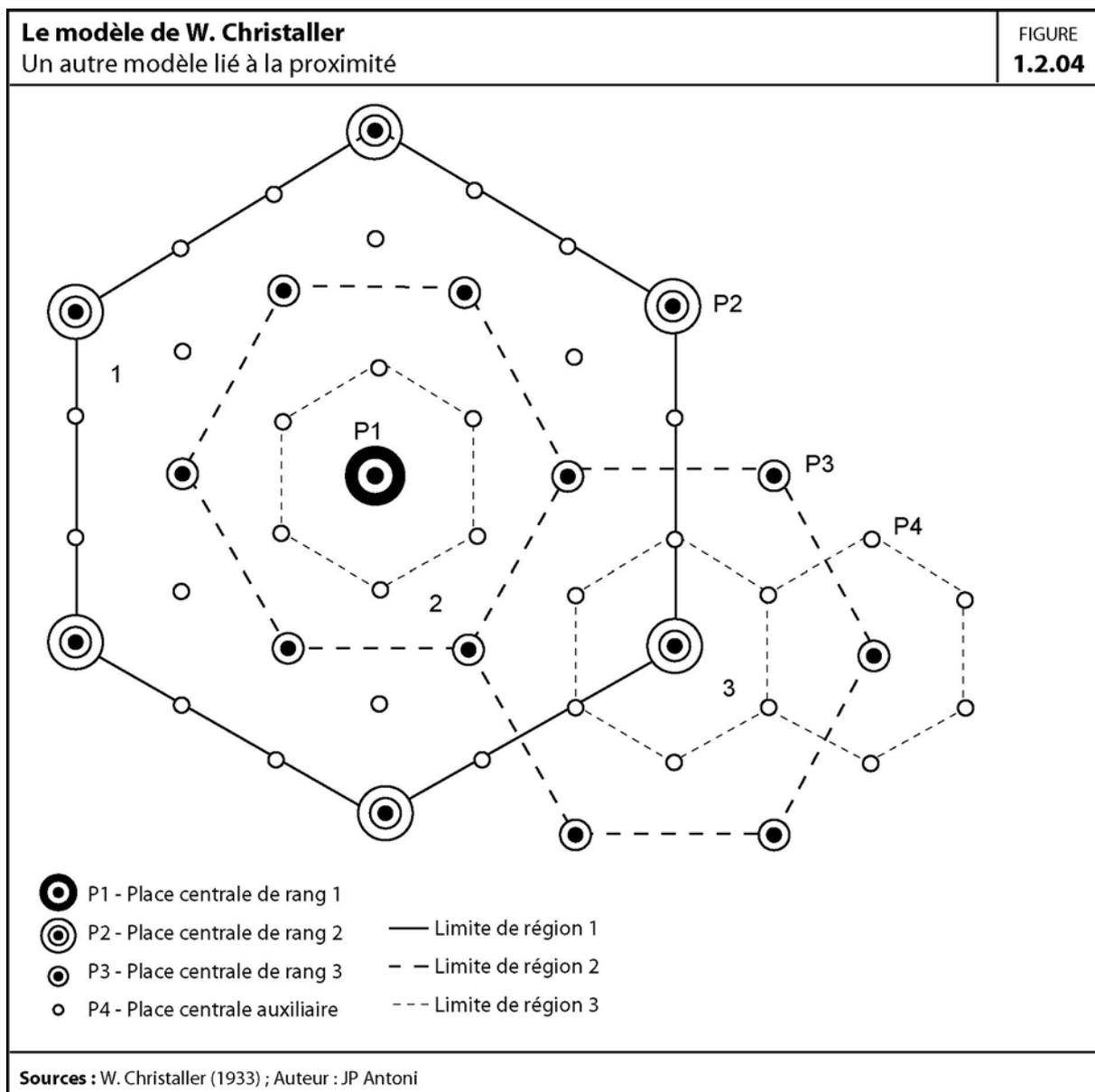
société ils élevèrent des édifices publics, durent chercher : 1. à tirer des édifices qu'ils construisaient les plus grands avantages et par conséquent, à les faire de la manière la plus convenable à leur destination ; 2. à bâtir de la manière la moins pénible dans l'origine et la moins dispendieuse par la suite, lorsque l'argent fut devenu le prix du travail ». On saisit donc bien ici encore cette idée que **la ville est bâtie pour réduire les efforts et augmenter le confort des sociétés, en leur permettant de réaliser un certain nombre d'économies, et que cette idée s'entend à plusieurs niveaux, puisqu'elle concerne autant le fait de bâtir la ville, que la manière avec laquelle on la bâtit. C'est donc par la ville et son organisation proximale que se font les économies nécessaires à ces nouvelles conditions de société.**

L'idée qu'il existe un lien entre proximité et économie est une idée classique de l'économie, que l'on retrouve dans plusieurs modèles qu'utilisent les géographes. Le modèle d'A. Weber (1929) illustre parfaitement cette relation, dans le cas d'un établissement industriel, entre le choix d'une localisation, la proximité à d'autres éléments eux-mêmes localisés (en l'occurrence des ressources de matières premières et un marché de vente de produits finis) et la rentabilité que l'on pourra tirer de tel ou tel arrangement (Figure 1.2.03). A. Weber constate en fait qu'il existe deux arrangements asymptotiques et optimaux. Dans le premier (*weight losing case*), il s'agit de se rapprocher le plus possible des matières premières dans la mesure où leur coût de transport est plus cher que celui des produits finis. Dans le deuxième cas (*weight gaining case*), il s'agit de maximiser la proximité au marché, dans la mesure où le coût de transport des produits finis est plus cher que celui des matières premières. La relation gagnante est donc bien celle identifiée plus haut dans le cas des villes : réduire les déplacements onéreux pour engendrer des gains, par le biais de la proximité. Dans le même cadre d'idées, le modèle de W. Christaller (1933) est aussi intéressant, même s'il est moins démonstratif. Ici, l'idée consiste à dire que les villes se localisent les unes par rapport aux autres en fonction des services dont elles disposent, selon un arrangement optimal qui prend la forme d'une série d'hexagones emboîtés (Figure 1.2.04). Pour mettre au point ce modèle qui a correspondu à la réalité géographique du Sud de l'Allemagne, W. Christaller a dû poser l'hypothèse qu'il existe une relation entre la quantité de services offerts par une ville et la distance que des consommateurs sont susceptibles de parcourir pour en disposer, la règle étant bien sûr de réduire le plus possible ces distances, c'est-à-dire de maximiser les proximités.



Ainsi, les modèles de A. Weber et de W. Christaller confirment l'idée qu'en quelque sorte la

proximité permet de faire des économies, mais ils la complètent aussi. Le modèle de A. Weber montre en effet qu'une localisation ne se fait pas par rapport à un seul lieu, mais à plusieurs, tous ceux avec lesquels une interaction, une communication ou un fonctionnement s'imposent. Or, il est impossible d'être proche de tous ces lieux à la fois. L'arrangement optimal résulte alors d'un compromis entre les différentes proximités, celui qui génère le meilleur gain⁹.



Le modèle de W. Christaller quant à lui, nous enseigne que ce type de rapports proximaux n'explique pas uniquement la localisation d'un lieu, mais concerne l'arrangement de plusieurs lieux, voire de tous les lieux entre eux. L'un dans l'autre, les modèles de A. Weber

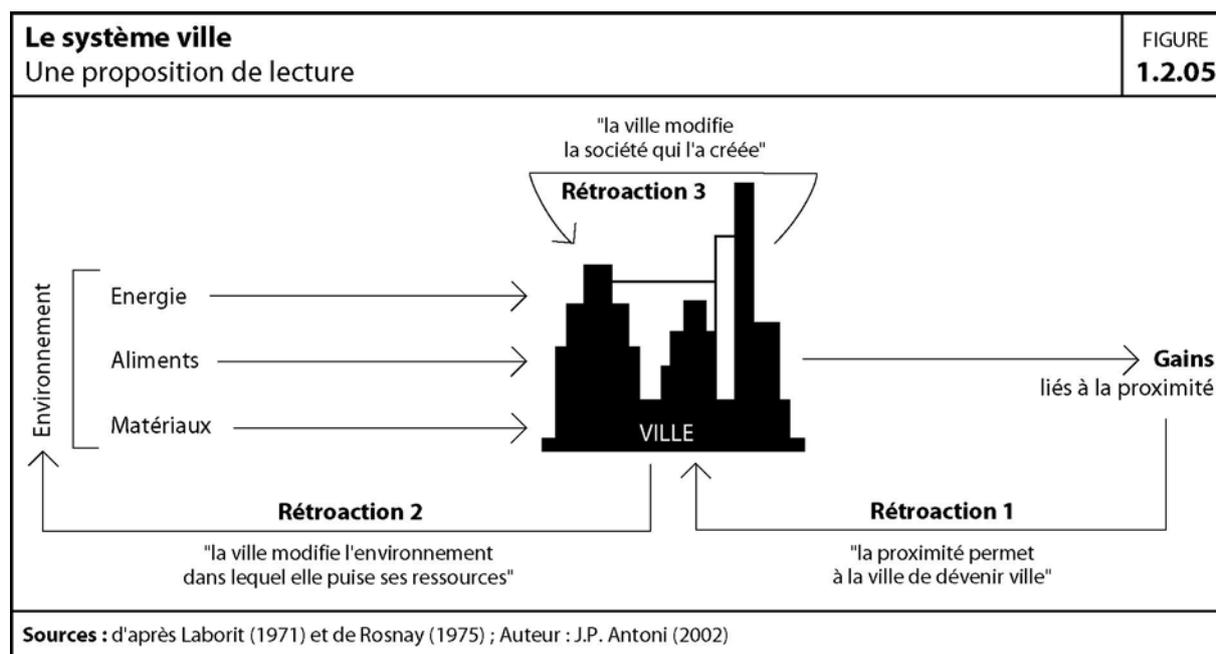
⁹ Nous verrons au Chapitre 2.3 comment cette idée peut se traduire en termes de potentiels.

et de W. Christaller montrent que la proximité induit l'économie et *a fortiori* que la ville, puisqu'elle s'organise selon des rapports proximaux, l'induit aussi. Mais, si la ville permet l'économie, c'est aussi par l'économie que la ville (différente du village ou d'autres formes de groupements et d'habitats) se crée.

1.1.4. La ville par l'économie

L'organisation en proximité, c'est-à-dire en-deçà du seuil proximal, permet de réduire l'effort de déplacement, de générer un certain nombre de gains, parmi lesquels un gain de temps. Que faire alors de ce nouveau temps libéré ? Il va pouvoir être réinvesti dans des thèmes qui n'appartiennent plus exclusivement au simple but de maintenir ou de reproduire le groupe (ce qui correspond à un état de survie), mais de l'organiser pour lui permettre d'évoluer et de remplir des fonctions communes à chacun de ses membres (ce qui correspond à un état de vie). C'est donc aussi par l'intermédiaire de la proximité, comme le signale P. Claval (1981), que l'homme passe d'un état de subsistance biologique (son inscription dans une chaîne trophique), où son seul but était de survivre, à un état d'organisation culturelle, régie par une volonté appartenant à une dimension supérieure, souvent culturelle. Les gains proximaux issus du regroupement permettent l'organisation et les structures physiques indispensables à ce nouvel agencement commun. Mais, P. Claval (1981) note également que le seul regroupement ne suffit pas pour qualifier Jéricho ou Catal Hüyük de villes. Ce qui va permettre de le faire se situe ailleurs, dans l'idée que l'organisation que l'on y trouve se distingue de l'homogénéité propre aux groupes archaïques. La ville se caractérise effectivement par une différenciation des tâches attestées par la naissance, propre aux villes, d'une complexité culturelle qui engendre la spécialisation de certains dans les tâches religieuses, d'une forme artistique particulière, d'un artisanat à temps plus ou moins complet, d'une organisation militaire, et d'une administration susceptible de gérer et d'organiser l'ensemble. C'est donc ainsi que le regroupement en proximité organisée devient ville, et qu'il se distingue du village, le développement de ses structures étant entendu comme une série de « réalisations qui ont fait appel à côté du travail domestique (...) à un travail collectif différent du précédent (...), et des édifices plus importants que les autres, révélateurs d'une hiérarchie sociale, dont les échelons supérieurs ont pour but d'organiser, de diriger, de décider à propos de celui-ci », pour reprendre la différenciation de H. Raymond (1998). C'est toute la différence entre la ville et le village ; elle ne se caractérise pas uniquement par une différence de taille, mais surtout par un ajout de fonctions qui permettent à la ville de changer de nature. Ainsi, une mutation du village vers la ville nécessite bien sûr une certaine aptitude à tirer du milieu environnant les ressources suffisantes pour nourrir des groupes assez nombreux, mais elle n'est pas possible sans l'existence d'excédents dégagés par ceux qui produisent au profit de ceux qui se spécialisent dans des tâches qui ne concernent plus directement la production de ces ressources. **Avec la ville, l'état de vie (celui du travail non uniquement domestique) succède à celui de survie**

de l'homme (celui du travail domestique seul), succession que l'on doit essentiellement aux économies réalisées par le biais de la proximité. La proximité est donc issue de la ville, mais c'est elle également qui lui permet d'être une ville, différente d'un village : il y a action et rétroaction (c'est la rétroaction 1 de la Figure 1.2.05). La ville apparaît donc fondamentalement comme un objet lié à la proximité. D'évidence, l'organisation des proximités au sein des systèmes urbains engendre des modifications mesurables sur le plan technique comme sur le plan écologique et social.



L'un des défis principaux des groupes humains est alors de pouvoir s'adapter eux-mêmes aux villes qu'ils ont fondées et qui ne tarderont pas à devenir de véritables objets techniques, ou plutôt des « ensembles techniques » tels qu'ils sont définis par G. Simondon (1969). Pour H. Haniotou (1989), en effet, « dire que la ville est un objet, c'est la réduire à quelque chose d'uniquement matériel et fini. Dire qu'elle est quelque chose de technique, c'est une évidence puisqu'elle est sortie de la *techné* de l'homme, c'est à dire de sa puissance de fabriquer, faire, manier, et de créer, inventer, instituer. Elle est donc produite de l'expérience humaine et de l'application de connaissances ». Comme elle est son créateur, la société est évidemment capable d'agir sur la ville, mais de manière moins visible, celle-ci va également influencer sa manière d'être et le comportement du groupe : « Il convient de considérer la naissance et l'évolution des unités d'habitat comme un processus dans lequel un certain point central agit sur l'espace environnant, tout en subissant lui-même, inversement, l'influence de celui-ci. [...] L'unité d'habitat et son environnement forment alors un tout intégral » (Malisz, 1966). Ceci introduit l'idée que **les interactions entre la société, son environnement (espace écologique) et la ville, sont des interactions multilatérales**. C'est également ce que considère H. Laborit (1971, 1974), en proposant une schématisation systémique de la ville,

tenant compte des trois facteurs environnement, besoin, et information en entrée, et de la ville en sortie, par l'intermédiaire de l'homme constitué en société. La dimension systémique du principe théorique de l'organisation des villes apparaît alors clairement, avec comme il se doit, les rétroactions inhérentes à chaque système, sources de leur dynamisme (Figure 1.2.05). Le schéma présenté ici est bien entendu fort simplificateur, mais vient soutenir l'idée d'une organisation urbaine liée au principe de proximité, en se rattachant à l'idée, aujourd'hui classique, de la ville correspondant à un système. Il correspond également à l'idée que propose J. de Rosnay (1975). Nous nous permettons simplement de modifier deux boucles de rétroaction, la première (rétroaction 2 de la Figure 1.2.05) entre la ville et son environnement, car elle le modifie également, et la deuxième (rétroaction 3 de la Figure 1.2.05) au sein même du groupe, car celui-ci est animé par un certain nombre de tensions, d'idées et de stratégies (taxes, impôts et travail pour J. de Rosnay) qui le modifient lui-même.

1.2. La contradiction spatiale de l'étalement urbain

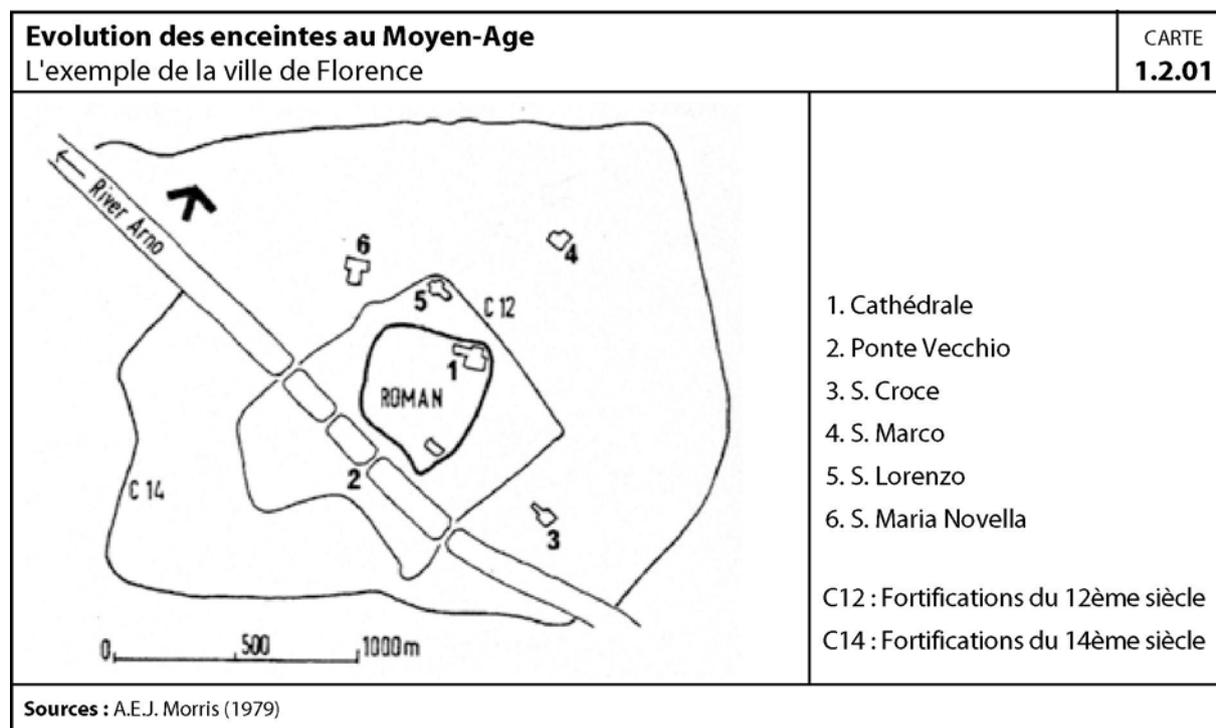
Mais si sur le plan théorique on peut adhérer à cette conception que la ville est un système d'interface entre l'homme et son environnement, force est de constater que cette ville que nous venons de décrire, n'a que peu de choses à voir avec celle du Chapitre 1.1, et que les acteurs politiques et techniques ont tenté de redéfinir à travers de nouvelles idées et de nouveaux concepts. **Le processus d'étalement urbain apporte ici une contradiction entre ce que l'on peut penser que la ville est et ce qu'elle est réellement, contradiction qui permet de mesurer l'ampleur du changement. Cette contradiction (ce changement) est d'abord spatiale dans la mesure où elle remet en cause la notion même de proximité urbaine, et installe un nouveau rapport, une nouvelle dialectique, entre le proximal et le distal.**

1.2.1. La nécessité et la volonté proximale

La volonté et la nécessité proximale – la proximité étant génératrice de gains – est en fait à l'origine même de la croissance des villes, et on les retrouve, au moins depuis le Moyen-Age¹⁰ (mais elles sont déjà très bien décrites dans *la République* de Platon), comme un *leitmotiv* qui a commandé l'évolution des villes dans l'histoire européenne (Benevolo, 1975 ; Blanquart, 1997). L'un des premiers témoins de cet état de fait est daté du 14^{ème} siècle. C'est la

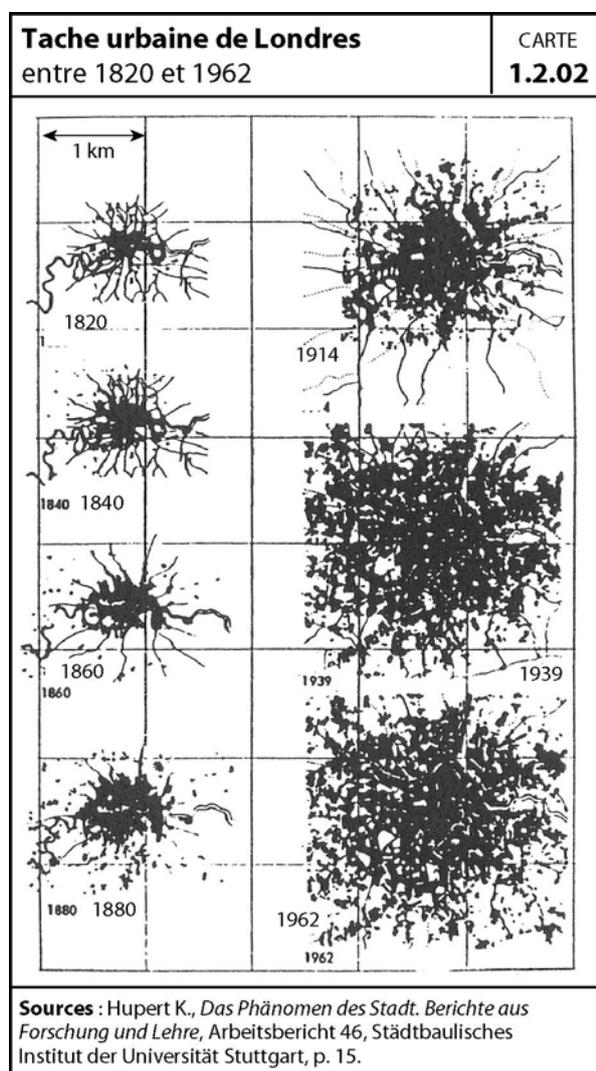
¹⁰ Ce phénomène est plus difficile à montrer pour les villes antiques (grecques et romaines), celles-ci fonctionnant souvent selon le principe qu'il ne fallait pas dépasser une population limite (que l'on estime à 10 000 ou 30 000 personnes selon les cas) comme le montrent les travaux de F. de Coulanges (1864) ou de E.A.J. Morris (1979). En cas de dépassement de ce seuil, de nouvelles villes (colonies) étaient créées. On retrouve un phénomène équivalent au Moyen Age, en France méridionale avec les bastides (Monpazier étant la plus célèbre), les *poblaciones* en Espagne et les villes de colonisation en Allemagne orientale.

chronique de Saint Bertin, dans laquelle on lit à propos de la ville de Bruges : « Afin de satisfaire aux besoins de ceux du château, ont commencé à affluer devant sa porte, près du pont du château, des commerçants, des marchands d'articles chers, puis des cabaretiers, enfin des hôteliers pour nourrir et héberger ceux qui faisaient des affaires avec le prince, lequel était souvent là ; on a construit des maisons et installé des auberges où logeaient ceux qui ne pouvaient être les hôtes du château [...] Les habitations se sont multipliées de telle sorte que bientôt s'est créée une grande ville qui garde encore aujourd'hui dans le langage courant des gens du peuple le nom de *Pont*, car Bruges signifie *pont* dans leur patois » (Le Goff, 1980). C'est donc effectivement par le biais d'un arrangement des proximités d'où naissent des gains, qu'un pont se transforme en une ville. Au Moyen-Age toujours, l'agrandissement successif des enceintes urbaines apparaît comme un second témoin, qui montre, lui aussi, cette volonté de se rapprocher des villes et d'organiser leur proximité (Carte 1.2.01). Pour accueillir plus de citoyens, il est nécessaire que les villes s'agrandissent, qu'elles poussent hors de leurs murs, puis qu'elles érigent de nouvelles enceintes. C'est à cette époque, vers le 12^{ème} siècle, que naissent les faubourgs et les banlieues. En dehors des murs, la banlieue est un périmètre juridique qui s'étend sur environ une lieue, et accueille majoritairement des artisans venus commercer. Si l'on reprend la logique du modèle de A. Weber (Figure 1.2.03), leur localisation correspond en fait au *weight gaining case*. Les faubourgs (de l'ancien français *fors-boc*, traduit par « bourg hors des murs ») correspondent à des excroissances moins régulières et plus petites d'habitations hors des murailles. A Paris, par exemple, cinq enceintes ont été construites entre 1180 (enceintes de Philippe Auguste) et 1860 (limites actuelles de Paris).



Ces deux exemples sont propres au Bas Moyen-Age (entre le 10^{ème} et le 15^{ème} siècle), qui correspond à une période de paix relative en Europe, stimulant les innovations techniques : la rotation triennale des cultures, les nouveaux systèmes d'attelage des animaux aidant aux champs, et la diffusion du moulin à eau datent de cette époque. Ces techniques et ces innovations dans les processus de production ont amené F. Braudel (1979) à qualifier le 11^{ème} siècle de « première révolution industrielle ». La productivité de l'agriculture, principale activité économique a été largement accrue, entraînant une pénurie de travail dans ce secteur et un petit exode rural qui a également renforcé les populations urbaines. **C'est donc de la modification des activités économiques, issue d'un contexte historique pacifique et d'une technique en progrès, que naissent ces nouvelles proximités. Elles sont effectivement le produit simultané d'une nécessité et d'une volonté. Une nécessité d'abord puisqu'il s'agit de répondre aux exigences d'une nouvelle production économique, qui ne se base plus sur l'exploitation de terrains agricoles, mais qui s'organise autour de l'artisanat et qui doit tenir compte des proximités aux matières premières et aux marchés de vente. Une volonté ensuite, parce que cette même production nouvelle a engendré de nouveaux gains, ceux qui ont permis l'émergence de nouvelles « qualités » proprement urbaines, parmi lesquelles la scolastique (champ intellectuel), l'art gothique (champ esthétique), la dévotion mendicante (champs politique et religieux), soit autant de champs qui contribuent à différencier une ville d'un village.**

Ainsi, si la première révolution industrielle a été à l'origine d'une nécessité et d'une volonté proximale, la « vraie » révolution industrielle l'a également été, mais dans une autre mesure. Elle est issue d'un contexte à peu près similaire : la baisse de la mortalité, issue du progrès de l'hygiène et de la médecine, provoque une incomparable augmentation de la population, due à une transition démographique imprévue et mal contrôlée, comme l'a expliqué M. Aghulon (1983). Parallèlement, l'agriculture accomplit d'énormes progrès et la charge de travaux agricoles diminue. Des classes entières vont alors fournir la main d'œuvre du secteur économique naissant : l'industrie. Avec l'industrie, c'est ensuite l'offre en biens et en services produits qui augmente. La demande ne tarde pas à suivre ; elle est rendue possible par le développement simultané de nouveaux moyens et de nouvelles voies de communication (train, puis train urbain, métro et tram). **Pour répondre aux impératifs de production de l'industrie, les populations cherchent à s'agglomérer dans les villes. Tout n'est alors qu'un simple rapport de proximité, celle-ci apparaissant à la fois comme une volonté et une nécessité : les villes se concentrent près des matières premières, les usines près des villes, les hommes près des usines, leur nouvelle source de travail.** Autour de chaque pôle urbain se forment des mouvements centrifuges extrêmement rapides et expansifs. Ils vont se matérialiser par une expansion impressionnante de la taille des villes, comme en témoigne l'exemple de Londres présenté ici (Carte 1.2.02). Au 19^{ème} siècle, la population de Paris a été multipliée par 6, celle de Berlin par 8 (Pinol, 1991).



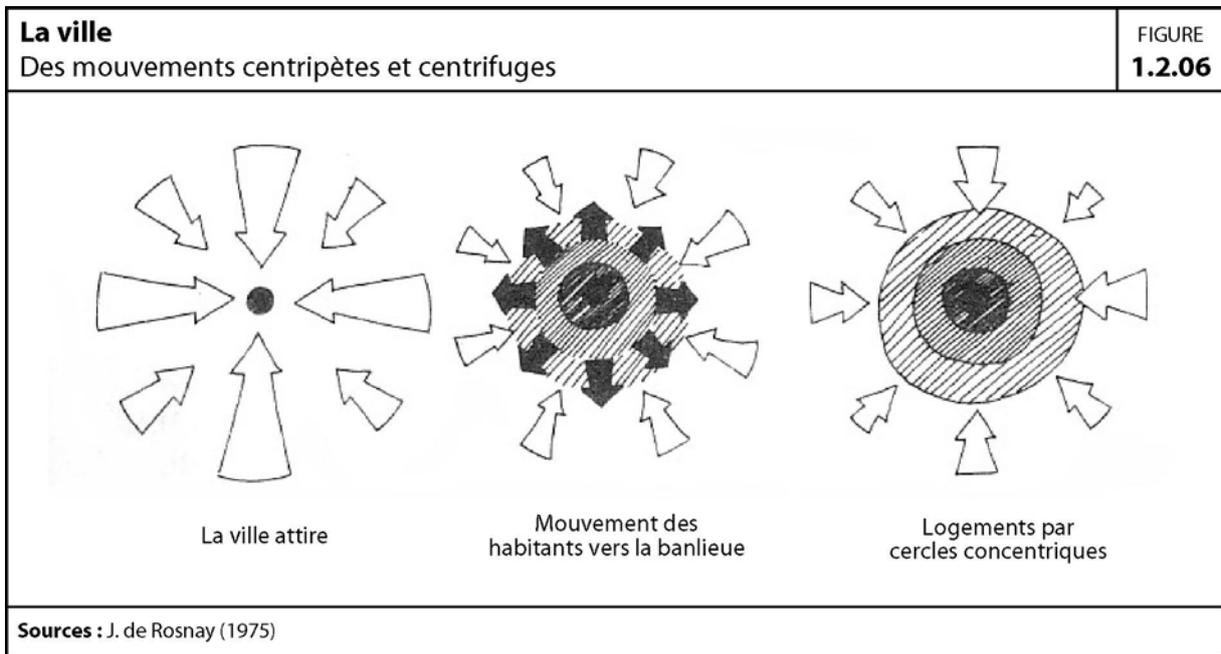
1.2.2 La nécessité et la volonté distale

Le processus d'étalement urbain semble pourtant aujourd'hui avoir mis fin à ces mouvements centrifuges qui ont contribué à la maximisation des proximités nécessaires au fonctionnement des villes et de l'économie : **proximité et étalement urbain font mauvais ménage.** En fait, on a vu, par l'intermédiaire des Recensements Généraux de la Population de l'INSEE, que la population urbaine continue de croître, ce qui confirme bien l'idée que la recherche de proximité reste de mise dans la formation des systèmes urbains. Mais ce phénomène est aujourd'hui lié à un développement spatial en périphérie. Or, cette périurbanisation est à double échelle, et son caractère proximal n'est fonction que du point de vue duquel on se place pour l'observer. Vue de loin, la ville grandit car des populations jusqu'alors rurales s'y installent. Elles participent alors à une augmentation générale de la proximité aux centres. Mais, si l'on observe la ville de l'intérieur, cette

proximité se dilue dans l'espace périphérique. C'est aussi ce qu'indique J. de Rosnay (1975), dans un schéma qui montre bien que les mouvements de population urbaine sont aujourd'hui à la fois centrifuges et centripètes (Figure 1.2.06). Il semble donc qu'en partie, la recherche de proximité ait muté en une nécessité et une volonté distale, c'est-à-dire d'éloignement des centres urbains.

Cet éloignement témoigne effectivement d'abord d'une nécessité. Car la ville, dans sa limite proximale, ne peut s'étendre à l'infini sans que sa proximité ne cesse : l'espace urbain bidimensionnel n'est pas extensible à volonté. Choisir d'habiter en ville aujourd'hui contraint donc, par manque de place, à s'installer autour de la ville, c'est-à-dire le plus loin possible de son centre, à l'endroit périphérique où sa proximité est déjà biaisée par l'éloignement nécessaire. **A fortiori, si l'on considère qu'historiquement, les villes sont en expansion démographique constante, il doit exister un moment dans l'histoire à partir duquel il n'est**

plus possible de fonder cette croissance sur la proximité, dans la mesure où l'ensemble est devenu si grand qu'en quelque sorte, il ne peut plus être proche de lui-même. Dans ce sens, toute expansion urbaine repousse les possibilités de proximité et les transforme en nécessité d'éloignement. D'évidence également, cette nécessité d'éloignement est d'ordre processuel, c'est-à-dire liée au temps : il n'y a pas de possibilité de retour en arrière ; la nécessité d'éloignement sera toujours de plus en plus importante. Ainsi, la nécessité distale actuelle n'est pas fondamentalement différente de celle qui existait également dans les deux exemples cités plus haut (la ville médiévale et la ville industrielle). Elle apparaît simplement plus tard dans le temps ; elle est donc plus importante.



Mais, si cet éloignement est nécessaire, force est de constater que dans certains cas, il est également voulu. Et, nous sommes ici face à une nouveauté, que l'on n'a pas mesurée dans les exemples de la ville médiévale et de la ville industrielle. La démocratisation de l'accessibilité permise par la voiture individuelle a en effet permis de ne plus seulement concevoir la ville comme une organisation de proximité, mais plutôt comme un arrangement qui combine à la fois les proximités et les éloignements. Le seuil proximal que l'on a pu dégager précédemment de l'étude des proximités (Figure 1.2.02) prend aujourd'hui toute sa dimension dans l'organisation urbaine : il est possible d'agir en-deçà et au-delà du seuil. Il ne s'agit plus uniquement de raisonner de façon proximale, mais de façon proximale et distale. On retrouve alors la dialectique entre distance et éloignement qu'utilisent les économistes : la proximité est souhaitée lorsqu'elle permet la réalisation de certains objectifs, mais l'éloignement peut être également souhaité si il protège de certains effets négatifs (Huriot, 1998). A l'heure actuelle, la nécessité comme la volonté de localisation se fixe donc autant sur les proximités que sur les éloignements : l'espacement entre le proximal et le distal s'utilise sur toute sa longueur. Est-il néanmoins possible de

trouver le compromis qui permettrait d'allier ces deux contraires ? Oui, c'est possible, grâce à la SNCF¹¹, et surtout grâce à la voiture individuelle, c'est-à-dire toutes ces évolutions techniques qui mettent en jeu les systèmes de déplacement, et qui modifient dans le même temps les seuils proximaux. Car à l'heure actuelle, les seuils proximaux ne sont plus uniquement fonction d'un but, ils sont fonction également d'un moyen de déplacement.

1.2.3. Vitesse et technique : allier proximal et distal

La technique de déplacement permet la modification des vitesses de déplacement. Car, si l'on a vu que la vitesse permet d'allier l'espace et le temps, ce sont effectivement les possibilités d'accélération qui décuplent les possibilités offertes par cette alliance, et qui permettent de relire le schéma de C. Marchetti (Figure 1.1.09). **La périurbanisation apparaît donc comme une solution, une forme de compromis, qui permet de pallier la volonté et la nécessité d'éloignement avec la volonté et la nécessité de proximité.** Cette solution est rendue possible par la démocratisation de l'accessibilité liée à l'utilisation massive de l'automobile individuelle, par l'intermédiaire de l'accélération que celle-ci a engendré dans les déplacements. Mais, l'automobile individuelle n'est en réalité que la dernière étape d'une série de révolutions apparues avec la ville industrielle, et qui sont toutes du même ordre. L'apparition du chemin de fer a concédé exactement le même type de révolutions mais celles-ci étaient contraintes dans l'espace par un transport en site propre qui rendait impossible d'allier l'éloignement et la proximité. Avec l'automobile, par contre, d'une part l'accélération est supérieure, d'autre part elle est peu contrainte par la structure du réseaux, car elle permet de « déplacer cette structure ».

Appuyée sur les techniques de déplacement, la périurbanisation consacre en quelque sorte la primauté de l'espace-temps sur l'espace-distance. En termes de mobilité quotidienne, ceci se traduit par le privilège que les individus accordent à la limitation du temps de déplacement plutôt que de la distance de déplacement. Plus que la localisation, c'est aujourd'hui l'accessibilité qui détermine les choix résidentiels, d'implantation industrielle ou commerciale. On passe alors d'un « ancrage dans la fixité » à un « ancrage dans la fluidité » (Kauffmann, 2001). C'est ainsi que J. Urry (2000) appelle à recentrer les problématiques de la sociologie autour de l'analyse de la modernité, et que Z. Baumann (2000) propose de parler de *liquid modernity*, cette ère qui place le mouvement au cœur même de l'époque contemporaine (par opposition à la *solid modernity*, cette ère dont nous sortons et qui se caractérisait par la force des structures).

Dans tous les cas, cette nouvelle donne, mesurée par de nombreux travaux, demande à ce que l'étude des villes quitte l'espace euclidien pour visualiser les espaces-temps urbains, c'est-à-dire les « accélérations urbaines ». Mais elle pose aussi de nombreuses questions sur

¹¹ SNCF : Société Nationale des Chemins de Fer

le devenir des villes. G. Dupuy (1991), par exemple, a fortement critiqué l'urbanisme aréolaire qui raisonne aujourd'hui encore en lignes et en surfaces alors que les potentiels de développement se situent sur une structure réticulaire souple considérant l'idée de déplacement comme une dimension primordiale de l'espace géographique. **Il y a donc bien un processus de dé-convergence espace-temps, et il n'est plus possible aujourd'hui d'assimiler les distances au temps nécessaire pour les parcourir. Les techniques de déplacement qui ont contribué à une certaine anisotropie spatiale, tendent maintenant à rendre l'espace isotrope, c'est-à-dire égal en tous points, pour peu que ceux-ci soient connectés aux réseaux qui le rendent accessibles dans un temps raisonnable, compte tenu des possibilités d'accélération autorisées par la technique.** F. Choay (1999) estime d'ailleurs à ce sujet que l'ère actuelle est l'« ère du branchement », dans le sens où ce qui commande à la fois la localisation et l'architecture des lieux, c'est le fait d'être « branché » aux réseaux, qui sont eux mêmes en expansion constante. Dans ce contexte, l'environnement immédiat des lieux n'est pas primordial sur le plan fonctionnel, mais ne conserve son intérêt que pour le paysage qu'il offre. En architecture, la notion de « contextualité », cette étude préalable à la construction qui permettait d'assurer une certaine cohérence avec le voisinage, se perd. La géographie, quant à elle, est également amenée à réviser deux notions qu'elle utilisait aussi comme une base préalable à toute étude : le site et la situation.

A cela correspond un différentiel de moins en moins marqué sur le plan spatial dans les possibilités d'urbanisation, mais de plus en plus marqué entre des lieux connectés aux réseaux de transports et des lieux qui ne le sont pas. Si l'on considère que c'est la technique de déplacement, aujourd'hui majoritairement représentée par l'automobile individuelle et ses réseaux, qui génère ces différentiels, on peut alors se poser la question de la fluidité et de l'ancrage si de nouvelles techniques de transport, plus rapides, sont mises en place. C. Marchetti (1991) a ainsi calculé les vitesses de déplacement que permettraient un nouveau système, dérivé du Maglev¹², sur lequel les japonais et les américains ont longuement travaillé, basé essentiellement sur l'accélération (l'appareil est en accélération constante sur la première moitié du trajet, et en décélération sur la deuxième). Dans le cas d'une accélération de 10 m/s^2 , un tel système devrait permettre d'atteindre des vitesses de près de $8\,000 \text{ km/h}$, ce qui placerait l'Afrique du Nord à une vingtaine de minute du centre de Paris, comme son actuelle (très) proche banlieue¹³. Le choix des localisations résidentielles et d'activités et leurs stratégies s'en trouveraient fortement perturbés. On peut alors penser que le nomadisme apparaîtrait comme une nouvelle forme d'urbanité. Ceci permettrait par exemple de relocaliser l'ensemble des installations humaines, non pas dans un rapport de proximité, mais dans un nouveau contexte essentiellement déterminé par la géographie physique. Le paysage et le climat, c'est-à-dire le site, se substituerait alors complètement à la situation

¹² Le Maglev est une sorte de train circulant en suspension magnétique au dessus de ses rails. Il tire son nom de *magnetic levitation*, et existe principalement sous la forme de prototypes, aux Etats-Unis et au Japon.

¹³ D'après les calculs de C. Marchetti (1991), 15 minutes permettent de parcourir une distance de 2 000 kilomètres.

(sous réserve de la couverture offerte par les moyens de transports). De tels phénomènes sont d'ailleurs d'ores et déjà en place aux Etats Unis : on a vu certaines firmes quitter leur première localisation pour le climat plus clément de la Californie, en bénéficiant de connexions rapides avec leur sites et leur partenaires restés sur place. Il est alors possible que la carte des établissements résidentiels futurs ressemble à celle des premiers établissements humains.

En sous-jacence à cette idée, c'est bien évidemment la question de la pérennité de l'outil que sont les villes qui est en question : **la ville est-elle encore le bon outil pour organiser les proximités, ou est-elle obsolète face aux possibilités offertes par les techniques et les réseaux de déplacement à très grande vitesse ? Derrière le problème de l'étalement urbain, si on le pousse à l'extrême en insistant sur les mobilités, le problème prend une réelle dimension historique**, qui transformera peut-être l'actuelle contradiction du processus d'étalement urbain en l'abandon de la ville comme façon d'habiter l'écoumène.

2. La nature mise à distance

Toutefois, si une telle évolution¹⁴ apparaît effectivement envisageable, au moins du point de vue du principe qui la met en œuvre, il est important de se poser la question des conséquences qu'elle pourrait avoir. On a vu, en effet, que la ville (et avec elle l'urbanisation de ses espaces périphériques) engendrait deux boucles de rétroaction : la première sur l'environnement, et la deuxième sur la société (Figure 1.2.05). Commençons par la première pour évaluer les conséquences de la modification de la dialectique proximal-distal sur la nature, qui, de fait, se retrouve alors à distance, à la fois sur le plan spatial (elle est alors plus éloignée) et sur le plan environnemental (elle est alors mise en danger).

2.1. La substitution par le mitage

Si l'on considère en effet les choses sur le plan de la nature et de l'environnement, il est tout à fait possible de souligner le fait que le processus d'étalement urbain actuel corresponde à une substitution : l'espace urbain ou urbanisé se substitue à un espace précédemment rural ou naturel, et ce d'une manière parfois agressive (comme on l'a vu dans le Chapitre 1.1). Mais, dans la mesure où, on l'a vu, l'étalement urbain est un processus qui vise à une nouvelle implantation urbaine assise sur les possibilités permises par les réseaux de transport et de déplacement, cette substitution apparaît sur deux plans, qui ont des conséquences équivalentes quant à l'environnement et aux problèmes économiques qu'elles produisent. C'est d'abord la substitution par le mitage qui déstructure l'environnement

¹⁴ Une telle évolution signerait de fait probablement cette fameuse fin des villes dont de nombreux auteurs parlent depuis longtemps (Mumford (1961) ou P.H. Combart de Lauwe (1982) par exemple).

rural ; c'est ensuite la substitution par la réticulation, qui apparaît comme la cause et la conséquence de la première.

2.1.1. L'hominisation périurbaine

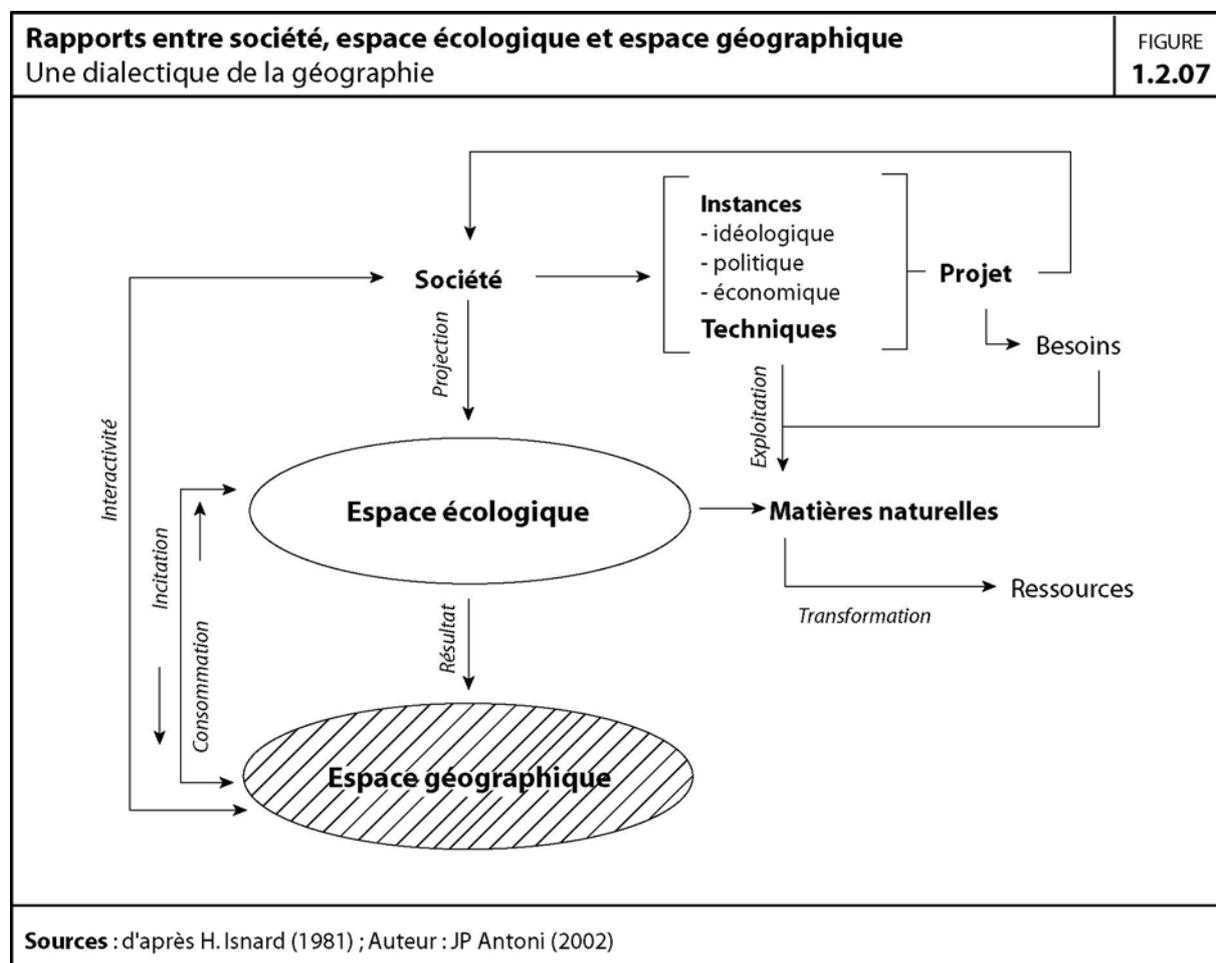
En effet, la périurbanisation, parce qu'elle implique que la ville quitte son propre espace pour pénétrer dans l'espace rural, implique également une modification sensible de cet espace. Ainsi, si l'on reprend l'idée proposée par H. Isnard (1981), **le fait que la ville empiète aujourd'hui sur ses territoires périphériques correspond à une nouvelle phase de l'hominisation, ou plutôt à une modification de sa troisième phase, c'est-à-dire à une nouvelle construction de l'espace géographique de façon non-spontanée**¹⁵. Il y a donc aujourd'hui une modification dans la création de l'espace géographique commencée au néolithique, pour installer des établissements humains sur un espace écologique occupé par d'autres espèces vivantes. Il convient alors de préciser ce que sont les espaces écologiques et l'espace géographique, afin de voir dans quelle mesure on peut considérer que le processus actuel d'étalement urbain se fait au détriment des équilibres naturels précédemment établis.

De façon assez simple, on pourrait dire que l'espace écologique est l'espace organisé qu'occupent les espèces animales. Il est souvent issu d'un certain hasard (E. Morin (1977) parle de « hasard organisationnel »), répondant à la nécessité qu'ont éprouvé les espèces vivantes de survivre dans un milieu qui ne leur était pas toujours favorable. Son organisation est maintenue par les espèces qui y vivent elles-mêmes, même si elles ne sont pas conscientes de le maintenir. Ainsi, au degré final de son organisation, l'espace écologique apparaît comme un équilibre maintenu par ses propres mécanismes de régulation, régi par la *loi de l'auto* : autoproductio, autodestruction, autoreproduction, autorecyclage. Cette loi vient du fait que les espèces ont du s'adapter à leur milieu ; l'animal ne peut pas vivre hors de son monde ou de sa niche écologique, c'est-à-dire que l'animal et l'espace ne font qu'un.

Mais, contrairement aux espèces animales, l'homme ne s'adapte pas au milieu naturel : il adapte le milieu naturel à lui-même, et l'organise comme son habitat, en fonction de son organisation sociale et de sa culture. **L'espace géographique est alors la résultante de cette adaptation ; il est à l'homme ce que l'espace écologique est à l'animal et se définit comme la projection d'un projet de société sur l'espace écologique (Figure 1.2.07). L'espace écologique est donc en quelque sorte la matière première, la ressource, nécessaire à la création de l'espace géographique, et travaillée par un certain nombre de savoirs-faire et de techniques accumulés par les sociétés humaines.** Ces moyens techniques sont mis en

¹⁵ Rappelons que pour H. Isnard (1981), la première phase de l'hominisation consiste en l'adaptation de l'homme à son milieu ; il en a donc une utilisation passive. Au cours de la deuxième étape, l'homme asservit son milieu afin de pouvoir réaliser son but, qui est consciemment choisi. Enfin, à la troisième étape, il construit de toute pièce son espace géographique « selon une rationalité qui ne doit pratiquement plus rien aux mécanismes spontanés ».

œuvre pour réaliser les conditions que la société prévoit dans son projet d'organisation et d'arrangement des lieux qui lui correspondent, et remplace la structure écologique donnée par une nouvelle structure, voulue.



Les sociétés programment donc la métamorphose de l'espace écologique en leur espace géographique. Mais, cette métamorphose n'est pas sans conséquence puisqu'elle va se faire au détriment de certains éléments, particulièrement ceux qui n'ont pas d'intérêt direct dans la menée à bien du projet. C'est la conséquence directe de la rétroaction 2 de la Figure 1.2.05 : « la ville modifie l'environnement dans lequel elle puise ses ressources ». S'ensuivent un certain nombre de déséquilibres au sein du système écologique pré-existant, l'empêchant parfois de revenir à son état d'équilibre naturel. Parmi ces déséquilibres, certains peuvent apparaître comme des atteintes graves, particulièrement difficiles à estimer dans leurs conséquences complètes parce que souvent soumises à une série d'effets de chaîne partiellement connus seulement. Parmi les plus connues : l'appauvrissement de la faune, la destruction des sols, le bouleversement de la circulation de l'eau, la dégradation du climat local, etc.

Globalement, ce sont donc trois phénomènes – la substitution, le mitage et la réticulation – liés les uns aux autres, qui concrétisent cette modification de la troisième phase d'hominisation. Il s'agit d'abord de la substitution de l'espace écologique par l'espace géographique : le second remplace le premier, ce qui entraîne dans certains cas des déséquilibres importants dans l'organisation de l'espace¹⁶. Mais ces modifications dépendent en fait de la forme que prend la substitution. On a vu en effet que le territoire urbain ne peut s'étudier indépendamment des lieux (points) qui le composent et des réseaux (lignes) qui relient ces lieux, c'est-à-dire de leur arrangement en surface, et qu'il est aujourd'hui possible, au sein de ces arrangements, de lier le proximal et le distal par le biais des accélérations et des « branchements » aux réseaux. Ainsi, **soit la substitution concerne de nouveaux lieux et opère comme un mitage ponctuel, c'est-à-dire qu'elle éparpille des îlots urbains et résidentiels au sein d'espaces jusque-là ruraux et agricoles, soit elle concerne de nouveaux liens entre ces lieux, cas auquel elle opère par réticulation en reliant par des voies de communication (un réseau) ces îlots urbains à la ville-centre de laquelle ils dépendent. L'exemple de l'agriculture périurbaine permet de se rendre compte des conséquences du mitage (première forme de substitution) dans la structuration des espaces périurbains.**

2.1.2. Première conséquence : la déstructuration des activités périurbaines

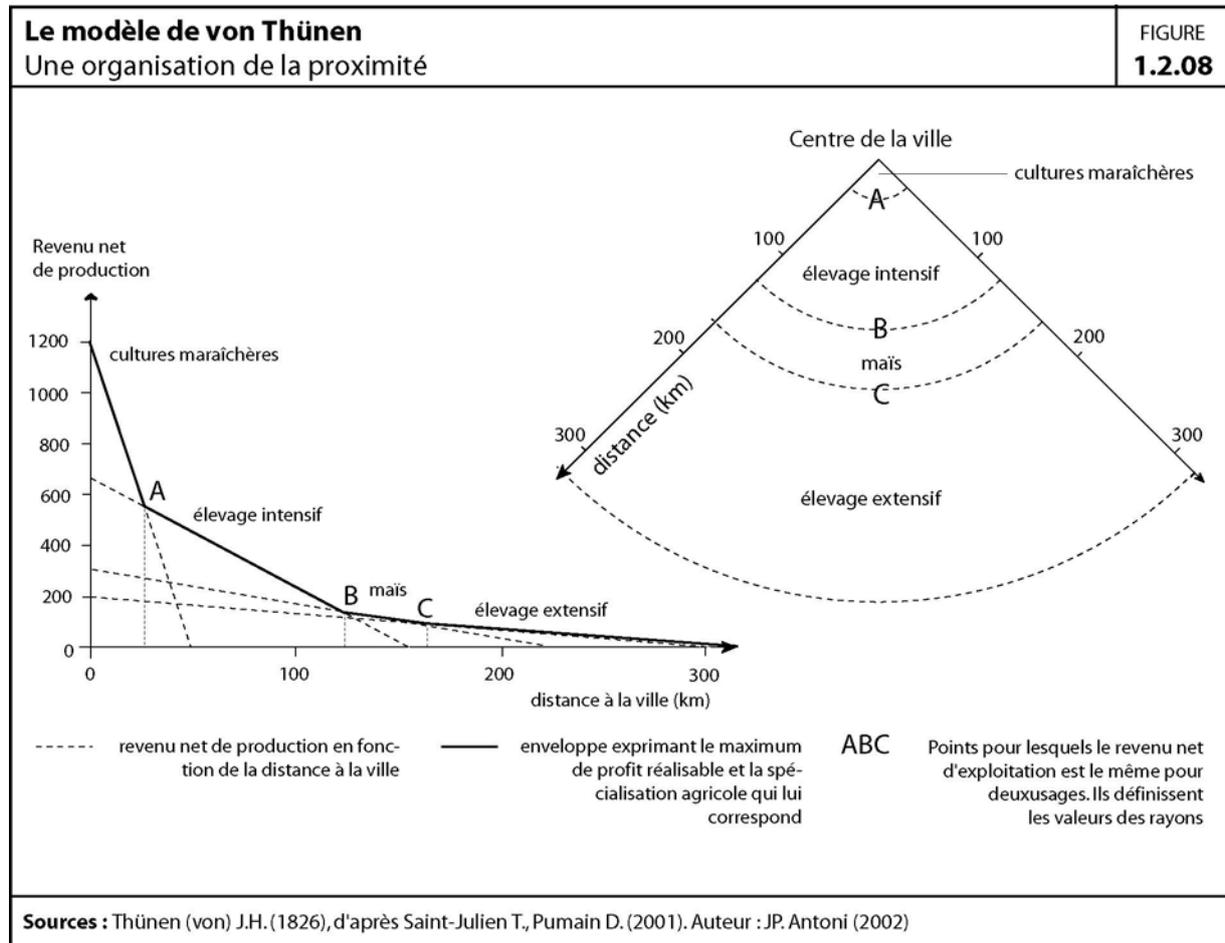
L'agriculture périurbaine est une activité économique indéniable, tout à fait semblable en substance à l'agriculture conventionnelle : en France, elle représente 10% de la surface agricole utilisée, 12% des exploitations et de la population familiale agricole, 12% de la production agricole¹⁷. Mais elle se développe dans des conditions particulières, qui se singularisent par un rôle structurant et de multiples fonctions (maintien des équilibres territoriaux, qualité des paysages, lien social, etc.) qu'elle apporte aux villes. Elle s'organise d'ailleurs en fonction d'elles, selon une logique qui met souvent en jeu la distance au centre et la rente foncière, comme le montre théoriquement le modèle de J. von Thünen (Figure 1.2.08). **Ce modèle explique effectivement qu'il y a toujours eu un lien fort entre une ville et ces espaces périphériques agricoles et que ce lien est organisé : l'espace écologique périurbain y apparaît comme une ressource pour l'espace géographique des villes.**

Mais à l'heure actuelle, l'étalement urbain fragilise très largement ce lien, en confrontant l'agriculture périurbaine avec une urbanisation en expansion constante : celle-ci peut alors s'assimiler à une véritable « consommation » de terres agricoles (Windels, 1983). Le rapport Larcher (1998), inquiet de cette mise en difficulté, n'hésite pas à comparer la situation actuelle de l'espace périurbain à celle qu'a connu le littoral français avant la création du Conservatoire du Littoral, et rappelle les conclusions du rapport qui avait précédé sa

¹⁶ Nous l'avons évoqué dans le Chapitre 1.1 en parlant de la pénétration de l'urbain dans le rural.

¹⁷ Selon les définitions de la SEGESA (Société d'Etudes Géographiques et Sociologiques Appliquées).

création : « La décision de construire, d'occuper l'espace est irréversible, alors que la décision de la protéger est toujours provisoire. La ville attire le plein, le plein ne recule jamais au profit du vide » (Legrain, 2000). La situation est effectivement préoccupante puisque les espaces périurbains français sont couverts par des zones urbanisables ou réservées à l'urbanisation qui représentent entre le quart et le tiers du total national des surfaces urbanisables à terme.



Le rapport Larcher (1998) traduit en fait l'inquiétude des pouvoirs publics, face à la menace de l'urbanisation sur les équilibres écologiques, fonciers et financiers des zones périurbaines, leurs activités et leurs paysages, et conforte la position de certains géographes : « l'affrontement commence là où s'arrête la dernière conquête urbaine, autour du dernier lotissement, à un carrefour périphérique, à proximité du village le plus proche. C'est-à-dire que tout territoire non urbanisé contigu à la ville est l'objet potentiel d'une annexion par la ville, indifférente à la nature de ce territoire, intéressée uniquement par sa valeur urbanistique » (Prost, 1994). En juillet 2001, le Comité interministériel d'aménagement et de développement du territoire a d'ailleurs inscrit la protection de l'agriculture périurbaine dans ses trois actions majeures pour les espaces agricoles. Il est relayé par des agglomérations de plus en plus nombreuses, qui inscrivent l'agriculture dans leur stratégie

d'aménagement, comme ont pu le montrer N. Souchard (2000) ou J.J. Tolron (2001). **Le mitage périurbain ou rurbain affecte effectivement parfois fortement le fonctionnement biologique et écologique des espaces périurbains agricoles : il contribue à leur disparition, à leur émiettement dans des espaces interstitiels ou encore à leur changement jusque sur le plan social (Steinberg, 1991). Il perturbe également visuellement les paysages, de façon beaucoup plus forte que ne peut le laisser penser la transformation parfois quantitativement faible d'espaces agricoles en espaces résidentiels.**

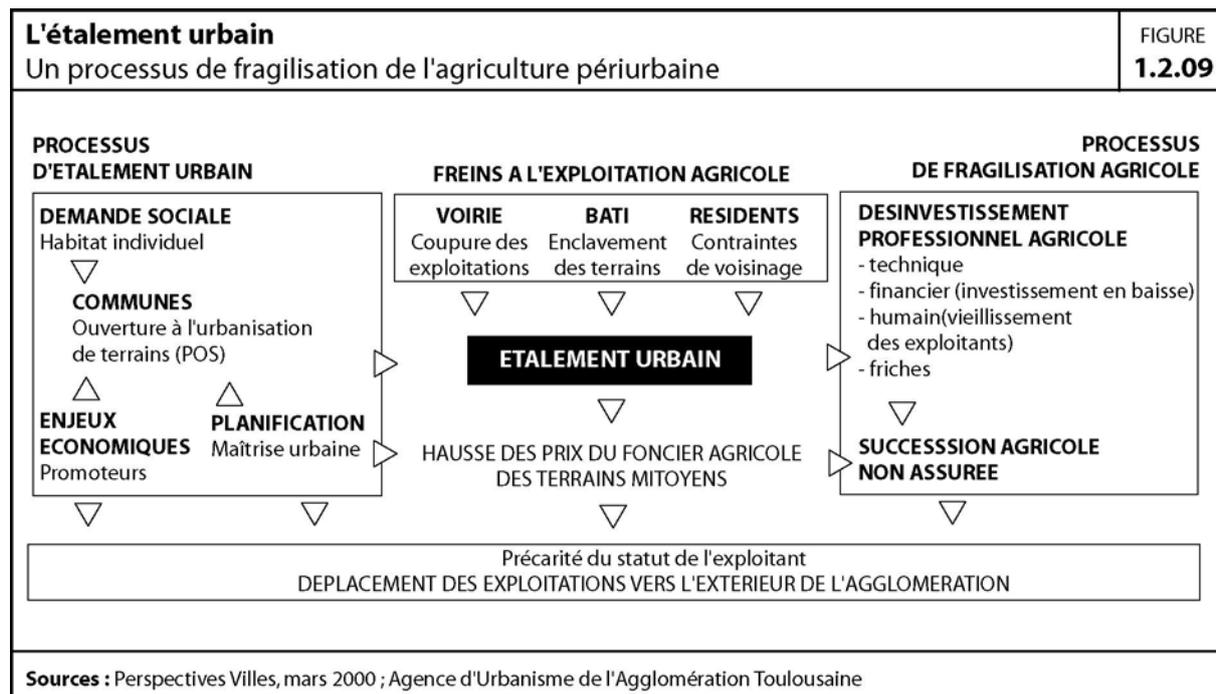
Dans un premier temps, il faut noter que l'implantation de lotissements en zone périurbaine s'accompagne généralement d'un règlement concernant les pratiques dans le voisinage des occupations résidentielles. Souvent, par l'intermédiaire des règlements sanitaires départementaux, ils modifient ou interdisent les possibilités d'épandage¹⁸ en limite d'agglomération ou d'habitation et déstabilisent ainsi les anciennes pratiques agricoles. Ces règlements se doublent parfois également de problèmes d'accès qui peuvent mener à des relations conflictuelles entre des voisins exploitants et résidents : certains chemins ruraux sont enclos par les particuliers, ce qui rend difficile l'accès aux parcelles agricoles. Mais, ces conflits peuvent être liés à d'autres nuisances : pour des questions d'odeur, de bruit, de traitements, de pulvérisation (etc.), l'agriculture gêne les riverains. Parallèlement, la pollution des sols provenant de l'urbanisation et le passage fréquent d'automobiles individuelles à proximité des champs gênent l'exploitation agricole et dégradent certaines récoltes. Ces perturbations de l'espace agricole périurbain devraient aussi rapidement affecter les finances des collectivités locales. On sait par exemple qu'en Amérique du Nord, le coût d'une occupation résidentielle pour la collectivité est évalué à cinq fois plus que celui d'une occupation agricole, ce qui a inspiré une nouvelle législation aux Etats-Unis¹⁹ et au Canada, visant à privilégier la préservation de terre agricole, plutôt que de laisser l'urbanisation s'y substituer. Du simple fait de la pénétration de l'urbain dans le rural, l'activité agricole périurbaine se retrouve donc gênée. Mais, dans d'autres cas, elle est réellement mise en danger.

Car en fait, c'est la perturbation ou la déstructuration du foncier qui apparaît réellement comme la principale source de problèmes. Elle concerne autant l'espace rural agricole ancien que le nouvel espace périurbain qui s'y est installé. Cette modification foncière vient simplement du fait que le prix d'un terrain agricole n'est pas le même que celui d'un terrain constructible, le second étant sensiblement plus cher que le premier. Ainsi, le fait que certains espaces agricoles soient ou deviennent constructibles entraîne une flambée de leur prix, ce qui les rend inaccessibles au budget des agriculteurs en vue d'une exploitation agricole. Ils sont par contre accessibles aux promoteurs qui pourront y lancer des opérations d'urbanisme. Celle-ci entraînera la viabilisation de l'espace et de ses alentours, susceptible de

¹⁸ Epandage : « acte de disposer sur le sol des fumures, engrais, pesticides, dans les travaux agricoles » (Brunet *et al.*, 1992).

¹⁹ Réglementation fédérale adoptée par 19 états sur 52 en place depuis 1966.

rendre d'autres espaces agricoles constructibles. On entre donc rapidement dans un cercle vicieux qui condamne les espaces agricoles périurbains à une diminution inexorable, et qui pousse les agriculteurs à vendre plutôt qu'à poursuivre leur activité. La logique foncière de l'espace urbain se substitue donc à la logique foncière de l'espace agricole. M.F. Slack *et al.* (2000) estime alors qu'« une exploitation, dont le foncier est déstructuré n'a plus de possibilité de réorganisation foncière et transmet en même temps que ce foncier les difficultés d'usage qui lui sont liées ».



A Toulouse, par exemple, ces modifications foncières ont entraîné une délocalisation de l'activité agricole périurbaine, plus loin du front d'urbanisation : la zone maraîchère s'est délocalisée sous l'effet de l'urbanisation et n'occupe plus qu'une petite superficie au Nord de l'agglomération, le long de la Garonne, alors qu'elle se situait précédemment dans la ville-centre et en première couronne. L'élevage ne représente, quant à lui, que quelques unités spécialisées, en proie à des problèmes constants liés au contact urbain-rural. Dans le fond, c'est en fait le statut des agriculteurs en lui-même qui est fragilisé dans ce secteur. Un schéma (Figure 1.2.09) de l'Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Toulousaine (Bretagne, 2000) montre en effet comment l'envolée des prix du foncier sous la pression urbaine et la difficulté d'obtenir des terres en fermage accentuent la précarité du statut d'agriculteur, entraînant une accélération des cessations d'activité et des départs vers d'autres lieux, hors de l'agglomération. Ainsi, comme le note la SEGESA (1994), si « l'urbanisation progressive conduit au mitage des territoires agricoles et à une raréfaction des terres disponibles, elle limite aussi les possibilités de restructuration et de travail collectif des agriculteurs et induit une déstabilisation de nombreuses exploitations, notamment lors des successions ». **Le mitage de l'espace rural périurbain entraîne donc des modifications exponentielles dans**

son organisation : l'urbanisation de petits espaces, dispersés ici et là, peut entraîner la déstructuration des activités agricoles à une échelle beaucoup plus large, fonctionnant comme un cercle vicieux, et qui à terme, devrait opérer au détriment des espaces résidentiels autant qu'à celui des espaces agricoles. Il est évident, en effet, que les résidents qui viennent d'acquérir un terrain pour construire ont privilégié le caractère rural de ce terrain, de façon à « habiter à la campagne ». Parallèlement, les agriculteurs qui leur ont vendu ce même terrain ont réalisé une plus-value nettement plus importante que s'ils l'avaient vendu à un autre agriculteur pour l'exploiter. Il est donc fort probable, pour M.F. Slak *et al.* (2000), que dans les prochaines décennies, ce paysage devienne « un paysage périurbain, entrecoupé de boisement tout autour de l'habitat, c'est-à-dire un tout autre paysage que celui qui avait motivé l'installation des personnes qui ont construit dans cette zone ». Sous la pression de l'étalement urbain, l'espace agricole semble donc bien « partir en friches » (Cabanel, 1990).

Mais, *a contrario*, et dans certains cas particuliers (proportionnellement peu nombreux), l'urbanisation peut profiter à l'agriculture périurbaine, si celle-ci arrive à s'adapter à la nouvelle demande des citadins venus s'installer en périphérie des villes. La localisation périurbaine du terroir viticole Haut-Garonnais de l'AOC²⁰ Côtes de Frontonnais, par exemple, profite de l'urbanisation et voit croître sa notoriété, en même temps que l'afflux de résidents périurbains dans ses caves à vin. Il reste donc une place pour l'agriculture périurbaine, mais celle-ci ne peut plus se fonder sur une activité économique à grande échelle, elle doit se spécialiser dans des produits de contact avec le monde urbain, portés par des manifestations et des animations locales (marchés sédentaires et de plein vent, fêtes champêtres, circuits courts de commercialisation, rallyes de découvertes des activités agricoles, etc.) liées aux attentes formulées par les habitants du périurbain, même si ces manifestations restent peu identifiées et peu légitimées par les urbains, tout comme elles sont mal connues et peu accompagnées par la profession agricole. Ainsi, l'agriculture se maintient beaucoup mieux à proximité des villes lorsqu'elle se consacre à des productions de plus haute valeur ajoutée. L'étude de I. Duvernoy (2002) sur l'agriculture périurbaine dans la région d'Albi montre en effet qu'elle oscille entre vestige du passé (activité passée, patrimoine des espaces verts) et survivance ou renouveau économique (élément de gestion du territoire, et facteur de production). **On peut donc penser que dans un futur proche, soit l'agriculture périurbaine se délocalisera réellement à l'extérieur des agglomérations pour continuer de produire en masse, soit elle sera amenée à modifier ses pratiques et sa production pour continuer de subsister au contact de la ville.** Il convient alors, comme le proposent P. Donadieu (Fleury *et al.*, 1997) et A. Fleury (Fleury, 2000), de dépasser le clivage qui oppose le monde rural au monde urbain, afin de faire émerger le nouveau rôle de l'agriculture périurbaine face à l'étalement urbain. Dans tous les cas, la situation reste problématique et le processus d'étalement contribue à perturber les anciens équilibres sans

²⁰ AOC : Appellation d'Origine Contrôlée

apporter de solution, même temporaire, aux conséquences que ces déséquilibres peuvent engendrer, notamment à l'appauvrissement de la biodiversité périurbaine.

2.1.3. Deuxième conséquence : la crise financière urbaine

La recherche économique et sociale est fréquemment sollicitée depuis les années 1960 sur la question du coût de l'urbanisation, mais elle peine à trouver des réponses fiables tant il est difficile de recueillir les informations nécessaires pour traiter le problème de manière exhaustive et tant les acteurs publics et privées en jeu dans cette évaluation sont divers et variés. Ainsi, la majorité des recherches consacrées aujourd'hui aux coûts de l'urbanisation est issue de modélisations qui tiennent compte d'avantage de comportements financiers que de la compilation de documents comptables : « les coûts d'urbanisation ne se mesurent pas mais se calculent » (Guengant, 1995).

Néanmoins, au moins deux champs peuvent être distingués pour témoigner que l'urbanisation périphérique coûte cher : le coût d'aménagement et de viabilisation des nouveaux espaces bâtis et le coût de développement des équipements publics d'accompagnement. Premièrement, le coût d'aménagement des périphéries (hors équipement d'accompagnement) dépend assez directement de la densité de l'habitat nouvellement construit, et donc du type de construction : il apparaît donc plus cher pour une maison individuelle que pour un immeuble collectif (Pétolat, 1994). A partir de l'exemple de Rennes en 1994, A. Guengant (1995) a montré que le prix de revient par unité d'habitation décroît sensiblement avec l'augmentation de la densité : 230 000 FF pour un lotissement de 7 maisons à l'hectare contre 12 000 FF pour une zone mixte de constructions individuelles et de petits immeubles collectifs, de 17 à 18 logements par hectare. Parallèlement, on peut également estimer le coût du développement d'équipements publics d'accompagnement : réseaux d'infrastructure (eau, assainissement, rues, etc.), équipements de superstructures (écoles, stades, piscines, espaces verts, etc.). A partir du même exemple (Rennes en 1994), A. Guengant (1995) conclut que la concentration urbaine augmente en permanence les charges d'aménagement des voies et réseaux structurant la ville. Le coût des équipements de superstructure augmente également avec le nombre d'habitants, passant de 35 000 FF au voisinage de 300 logements, à 45 000 FF pour 3 400 logements et 60 000 FF pour 80 000 logements. Néanmoins, compte tenu de la pauvreté de l'estimation statistique, il est difficile d'interpréter ces résultats. A ceci, il convient bien entendu d'ajouter les coûts récurrents induits par les équipements publics, c'est-à-dire les coûts engendrés par le fonctionnement (salaire des personnels, biens et fournitures, etc.), soit environ 2% par an du coût d'investissement des infrastructures et 7% du coût des superstructures (Guengant, 1995), et de prévoir l'amortissement nécessaire à l'entretien et à la dépréciation technique des installations.

Mais, ces coûts sont finalement des coûts normaux de l'urbanisation, même si, compte tenu de la faible densité des espaces périphériques, ils sont plus importants que ceux des espaces centraux plus denses. Le réel problème, par contre, réside dans leur imprévisibilité, voire, dans certains cas, dans la déstructuration qu'implique une nouvelle expansion urbaine. Car en effet, l'expansion de la zone morphologique urbanisée ne se diffuse pas à 360° autour du centre ; on en prend conscience au regard des digitations qui concentrent l'urbanisation le long des réseaux de communication : l'urbanisation s'agglomère dans certaines directions précises et s'accommode mieux de certains espaces que d'autres, conséquence de la topographie, des pressions foncières, des contraintes réglementaires, (etc.) et surtout des réseaux de communication. Ainsi, en renforçant l'habitat de façon différentielle, l'expansion urbaine devient relativement imprévisible et ne peut se programmer à l'avance. De ce fait, l'espace que la ville utilise et les équipements dont elle a besoin pour fonctionner ne peuvent se programmer qu'étape par étape. **A chaque fois que la ville s'agrandit d'un stade supplémentaire, elle remet en cause les équipements précédemment établis, parce que la logique de l'expansion du bâti n'est pas forcément optimisée pour l'expansion de sa viabilisation. Elle peut même répondre à une logique contradictoire particulièrement coûteuse, et ce malgré l'émergence de structures intercommunales aux compétences étendues** (communautés d'agglomération, communautés urbaines, autres EPCI). C'est dans ce sens, parce que l'étalement ne permet pas de gérer les équipements de façon durable qu'il contribue à leur déstructuration successive. Les équipements nouveaux mis en place pour accompagner l'étalement de la ville, outre qu'il s'affranchissent de toute logique prédéfinie, deviennent donc aussi extrêmement coûteux, du fait qu'ils desservent des espaces de faible densité. Dans le cas de la ville de Rennes, par exemple, la mobilité résidentielle de la zone suburbaine vers les périphéries pavillonnaires a contribué à la diminution de la fréquentation de certains équipements ; la redistribution spatiale rend donc en quelque sorte inutiles les installations construites à l'origine pour répondre aux besoins des quartiers nouveaux à l'époque de leur construction.

2.2. La substitution par la réticulation

On voit donc bien ici que si le processus d'étalement urbain déstructure les activités périurbaines, agricoles notamment, il apparaît aussi très coûteux pour la collectivité, et ce d'autant plus que les mouvements vers la périphérie qu'il implique ne permettent ni de rentabiliser, ni de pérenniser les investissements. Sur le plan de la réticulation, qui apparaît comme le pendant obligé du mitage, on retrouve le même *leitmotiv* : **la périurbanisation est préoccupante sur le plan environnemental et son coût peut atteindre des proportions inacceptables, mais qui sont pourtant rarement consciemment évaluées comme prohibitives.**

2.2.1. La nécessité de mobilité

Le processus d'étalement urbain a engendré une délocalisation de l'habitat résidentiel en périphérie des villes. Mais, dans le même temps, la majorité des emplois, notamment des emplois tertiaires, n'ont pas suivi (du moins pas encore) ce mouvement de déconcentration. On a vu également que cette nouvelle configuration spatiale entre centre et périphérie n'est rendue possible que si la mobilité, voire l'accessibilité, sont suffisantes pour que les interactions nécessaires au système urbain puissent se faire correctement : **la mobilité est une nécessité de l'étalement urbain. Mais, cette mobilité s'accompagne obligatoirement de deux choses : une augmentation physique des infrastructures permettant les déplacements (routes), et une augmentation du trafic sur ces infrastructures.** Cette dernière concerne autant le nombre de déplacements que leur longueur, de plus en plus importante au fur et à mesure que la ville s'implante plus loin dans l'espace périphérique. Elle peut être approchée par la prise en compte des dépenses énergétiques liées à ces déplacements. J. Delsey et J.P. Orfeuil (Delsey *et al.*, 1989) estiment ainsi que les demandes d'énergie pour le transport sont trois fois plus importantes dans les périphéries des villes que dans les centres, augmentation résultant avant tout des distances parcourues plus élevées, de la place moindre de la marche dans la satisfaction des besoins de déplacements et de la position plus faible des transports en commun dans le partage modal entre modes motorisés. D'après une étude de l'INRETS sur la ville de Rennes en 1982 (Delsey *et al.*, 1989), quatre raisons permettent également d'expliquer la multiplication par trois du budget « énergie-déplacement » entre ville centre et périphérie : il y a plus de personnes et surtout plus d'actifs dans les périphéries que dans le centre (x 1,5) ; les distances au travail sont plus longues (x 2,4) ; on fait moins de déplacements en périphérie mais ces déplacements sont plus longs que dans le centre (x 1,7) ; et enfin, les modes motorisés, notamment l'automobile individuelle, sont plus utilisés en périphérie que dans le centre (x 1,2).

L'éloignement en périphérie des zones de peuplement de faible densité impose donc logiquement une augmentation de la mobilité, et celle-ci s'effectue par l'intermédiaire de l'automobile individuelle. En effet, les transports collectifs ne trouvent pas dans ces zones de demande suffisante pour justifier leur fréquence, voire leur existence. Une étude de P. Bonnel (2000) met en lumière un certain nombre de relations entre la nécessité de se déplacer entre le centre et la périphérie et la part de marché occupée par les transports collectifs et l'automobile individuelle. Ce que l'on remarque en premier lieu, c'est que de nombreuses agglomérations (au sein des pays de l'OCDE²¹) ont lancé des programmes ambitieux pour développer leur système de transports collectifs, mais que leur usage n'a pas suivi cette forte augmentation : les statistiques de l'Union des Transports Publics (UTP)²² indiquent que si l'offre s'est accrue de 17%, sur l'ensemble du réseau français entre 1986 et 1996, la demande a

²¹ OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique.

²² Union des transports publics, 1997, *Les chiffres clés du transport public urbain de l'année 1996*, 31 pages.

quant à elle diminué de 11% dans le même temps. Une étude du SYTRAL (1997)²³ de 1997 fait le même constat flagrant à partir de l'exemple de Lyon : l'offre de transport en commun a progressé de 35% entre 1986 et 1995 pendant que la part du marché des transports collectifs a chuté de 23,5% (au sein des modes motorisés) et que la voiture a vu son utilisation s'accroître de 25%. De nombreuses études viennent encore relayer cet état de fait et montrent que les grandes tendances d'évolution de la mobilité ne se feront probablement pas à l'avantage des transports collectifs (Orfeuill, 1992 ; Banister, 1992) : **la redistribution des zones d'habitat et des zones d'emploi par le processus d'étalement urbain génère en fait une hausse importante des flux dans les secteurs où les transports en commun sont peu performants (les secteurs peu denses) et une régression, au mieux une stagnation, dans les secteurs où ils devraient être les plus performants.** Pour rivaliser avec cette quasi-hégémonie de l'automobile individuelle, et afin d'assurer un service public susceptible de la contrebalancer, les autorités urbaines tentent donc de développer les réseaux de Transports Publics Urbains (TPU). Mais, ils parviennent difficilement à la concurrencer (Surowiec, 2002) : en regard avec l'expansion spatiale et démographique des aires urbaines (au sens de l'INSEE), la lecture des périmètres de transports urbains, c'est-à-dire la zone où l'autorité organisatrice de transport exerce sa compétence de transport, permet de mesurer le retard de l'offre en transports publics, particulièrement dans les communes périurbaines. Dans l'étude de C. Surowiec, sur 29 aires urbaines, seuls 11% de la population des communes périurbaines appartiennent au périmètre des transports urbains. Ainsi, si les pôles urbains sont généralement bien couverts, ce n'est quasiment jamais le cas pour leur périphérie. Or, c'est justement dans ces périphéries que l'étalement tend à accroître la demande. F. Ascher (2000) estime en effet que la ville éparsée est difficile à desservir avec des transports collectifs : « elle est le produit de la voiture et, en même temps, elle contraint à l'usage de la voiture ».

2.2.2. Une conséquence importante : la perturbation environnementale

Les problèmes écologiques liés à l'étalement urbain sont donc directement liés à la nécessité de mobilité qui conduit à la multiplication des tronçons routiers et à la croissance des véhicules qui y circulent. Sur le plan de l'énergie nécessaire à leur fonctionnement, notamment l'énergie pétrolière, la majorité des secteurs qui utilisent ce type d'énergie diminuent régulièrement leur consommation du fait de progrès technologiques qui permettent d'optimiser leur combustion. Les transports sont le seul secteur qui affiche une contre-tendance, puisque en France, dans la communauté européenne, aux Etats-Unis comme au Japon, ils sont en croissance constante (Tableau 1.2.01). La première conséquence de cette croissance est l'augmentation de la pollution atmosphérique. Néanmoins, celle-ci est difficile à évaluer parce qu'elle est liée à plusieurs types de facteurs et n'apparaît pas de façon

²³ Le SYTRAL est l'Autorité Organisatrice de Transports (AOT) dans l'agglomération lyonnaise. C'est un établissement public créé en 1985 par la Communauté Urbaine de Lyon et le Conseil Général du Rhône. Il est composé d'élus de ces deux collectivités (www.sytral.fr)

identique selon les types de polluants analysés, les conditions d'émission de ces polluants et les conditions climatiques dans lesquelles ils sont émis. Ce que l'on remarque pourtant fréquemment, cinq à dix fois par an dans les grandes agglomérations, c'est l'occurrence de pics de pollution, caractérisés par des augmentations exceptionnelles de la concentration de certains polluants, principalement l'ozone et les oxydes de carbone. Les récents progrès de la recherche et la surveillance accrue de l'atmosphère ces dernières années ont permis de mieux connaître les polluants et leur concentration.

Rythme annuel d'évolution (en %) de la consommation pétrolière par secteur				TABLEAU 1.2.01
	France	CEE (12 pays)	USA	Japon
Consommation pétrolière finale	-2,0	-1,5	-0,5	-1,0
Consommation pétrolière industrie	-7,0	-6,5	-1,0	-5,0
Consommation pétrolière résidentiel tertiaire	-3,5	-3,0	-3,0	+1,0
Consommation pétrolière résidentiel transports	+2,5	+2,5	+1,0	+2,3
France et CEE : moyenne annuelle 86/73 ; USA et Japon : Moyenne annuelle 84/73				
Sources : Eurostat et OCDE ; Delsey (1989)				

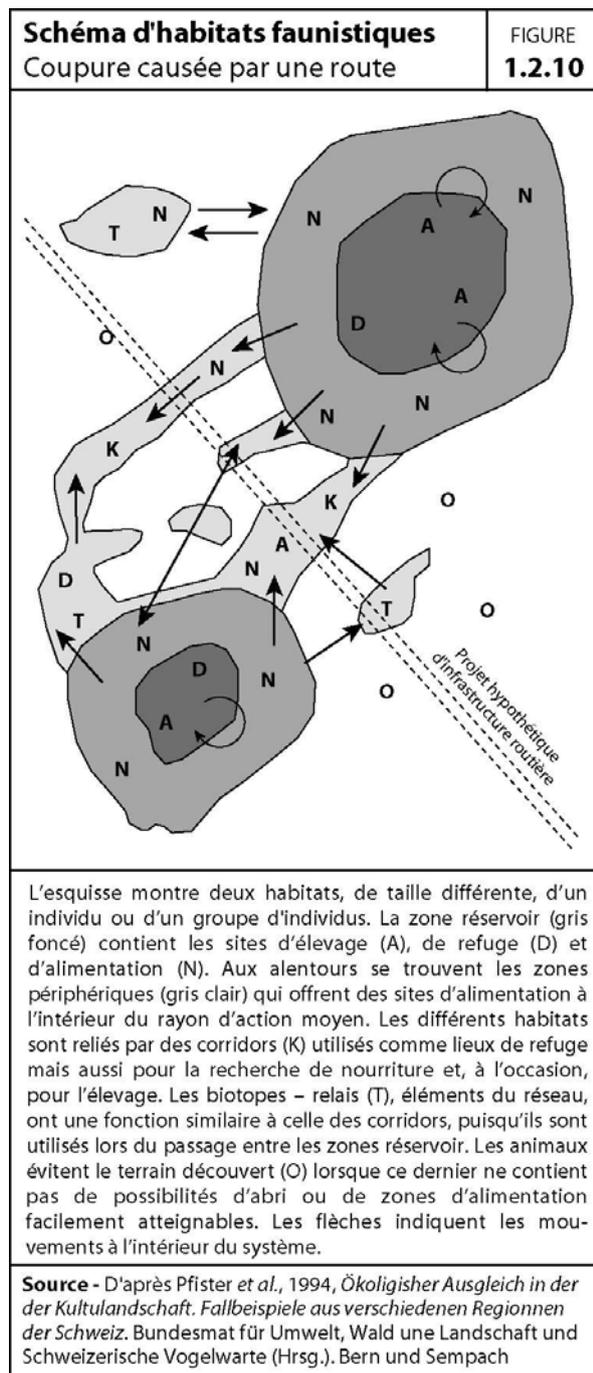
On a ainsi constaté que plusieurs types de pollutions se différencient, tant par leur rayon d'action que par leur rémanence (Lescure, 1997). Il peut d'abord s'agir d'une pollution globale due aux gaz à effet de serre, et indépendante du lieu d'émission, qui peut s'accumuler pendant plusieurs dizaines d'années. Il peut s'agir également d'une pollution régionale, due aux oxydes d'azote, de soufre, et à l'ozone, généralement émis par le trafic routier en périphérie des villes, mais qui finit par toucher les zones urbaines habités, et occasionne des dommages aux constructions et aux personnes. Enfin, la pollution peut être locale, provenant des hydrocarbures, du monoxyde de carbone et d'autres particules et fumées ; elle n'apparaît réellement nocive qu'en milieu urbain (elle est réduite en rase campagne). D'après une étude de l'OCDE de 1995, le secteur des transports émet environ un tiers des fumées noires et des particules, 70% des oxydes d'azote et 87% du monoxyde de carbone. Il apparaît donc aujourd'hui comme le responsable principal des émissions de polluants en milieu urbain. On estime ainsi que deux facteurs expliquent essentiellement les relations entre pollution et trafic routier en ville : la densité du trafic et les conditions météorologiques. Le trafic automobile est donc la première source de pollution atmosphérique, et celle-ci est à l'origine de dommages sanitaires importants que l'on mesure essentiellement sur les pathologies aggravées par de fortes concentrations en oxyde d'azote, notamment l'asthme et les migraines (Lescure, 1995).

Impact de la pollution sur la santé due aux oxydes d'azote (1)			TABLEAU 1.2.02
Augmentation (en %) ...	Niveau moyen : 43µg / m ³ soit 95% du niveau de base	Niveau élevé : 78µg / m ³ soit 255% du niveau de base	Niveau encore plus élevé : 122µg / m ³ soit 455% du niveau de base
... du nombre journalier d'hospitalisation pour asthme	3	9	17
... des visites à domicile SOS Médecins pour asthme	10	32	63
... des visites à domicile SOS Médecins pour maux de tête	8	16	22
... des visites à domicile SOS Médecins pour affection des voies respiratoires inférieures	6	11	15
... du nombre journalier d'arrêt de travail à EDF - GDF	7	14	20
Les risques sanitaires ont été calculés pour trois situations différentes : niveau moyen de pollution (observé 50% de l'année), niveau élevé de pollution (observé 5% de l'année) et niveau encore plus élevé de pollution (observé de 5 à 8 jours par an) qui correspond à une augmentation de 100 µg /m ³ du niveau de base des teneurs moyennes de chaque indicateur de pollution. Le niveau de base retenu par ERPURS a été fixé au cinquième percentile de la distribution des valeurs journalières de chaque indicateur de pollution.			
Sources - ERPURS, programme français de lutte contre l'effet de serre (ADEME) ; Lescure (1997)			

Une étude effectuée dans le cadre du programme ERPURS²⁴, montre une hausse de 80 consultations SOS Médecin et de 7 hospitalisations pour asthme dans les hôpitaux de l'Assistance publique (hôpitaux de Paris) durant les jours de pic de pollution (Tableau 1.2.02). En ce qui concerne certains polluants, notamment les NOx ou les monoxydes de carbone, les innovations technologiques récentes ou encore en cours de développement (on citera par exemple les recherches sur la pile à combustibles menées à Belfort par l'Université Technologique de Belfort-Montbéliard) devraient permettre de réduire les émissions dans les années à venir, même si la circulation continue d'augmenter. Pour d'autres polluants par contre, notamment les gaz à effet de serre, plusieurs simulations montrent qu'ils ne diminueront pas si des politiques volontaristes ne sont pas mises en œuvre (Nicolas, 1997). D. Banister (1998) estime que jusqu'en 2025 au moins, on mesurera une élasticité de 0,89 environ entre la consommation d'énergie dans les transports (non exclusivement urbains) et le PIB²⁵, soit un accroissement d'autant des émissions de gaz à effet de serre.

²⁴ ERPURS : Evaluation des Risques de la Pollution Urbaine sur la Santé

²⁵ PIB : Produit Intérieur Brut



Mais, si la pollution atmosphérique est le point le mieux diffusé par les médias, elle n'est pourtant pas la seule conséquence environnementale liée au processus d'étalement urbain. En effet, on mentionne assez rarement le fait que la construction de nouvelles infrastructures routières pour soutenir le déplacement croissant de véhicules peut également apparaître traumatisante pour certains écosystèmes (Lieberherr, 1998). Une route ou un chemin de fer tracé en ligne droite dans un milieu naturel ou agricole apparaît en effet, pour la faune qui l'occupe, comme une nouvelle frontière, difficile à traverser. Ces voies constituent en fait l'équivalent d'enclos pour la faune qui, dans certains cas, vit dans des espaces dont l'étendue est inférieure à la taille critique permettant la survie de l'espèce à long terme. Dès les années 1980, certains écologistes ont rendu attentif à ce problème et milité pour que l'on en tienne compte dans la planification des grandes infrastructures en y permettant plus de perméabilité. L'exemple des crapauds ou des passerelles à gibiers, apparus il y a quelques années sur les plus grosses infrastructures, est à ce titre assez significatif de l'effet de barrage qu'elles peuvent créer. Les Suisses semblent à ce sujet un peu plus avancés que nous. L'introduction d'un rapport de l'OFEFP²⁶ (2001) s'ouvre en effet sur ces quelques lignes qui décrivent la

substitution de l'espace géographique (réticulé) sur l'espace écologique : « L'homme a recouvert notre pays d'un réseau de voies de communication toujours plus dense [...] Nous l'utilisons quotidiennement, car il est vital pour nous : les Suisses ne parcourent pas moins de 33 km par jour dont deux tiers en auto. Ce réseau de communication est immense, on l'entend nettement, on peut même le sentir. Mais il existe encore un autre réseau, largement invisible pour nous. Bien plus ancien que le réseau de voies de communications créé par l'homme, il est utilisé essentiellement pendant les heures du crépuscule et de la nuit. C'est le

²⁶ OFEFP : Officé Fédéral de la Protection de l'Environnement, des Forêts et du Paysage.

réseau des passages de la faune, car les animaux eux aussi ne peuvent survivre sans mobilité » (OFEFP, 2001). Le même rapport montre d'ailleurs que 47 des 303 « corridors faunistiques suprarégionaux » de la Suisse, soit 16%, sont aujourd'hui complètement interrompus et ne peuvent plus être utilisés par les animaux sauvages ; 171, soit 56%, sont affectés dans leur fonctionnement de manière notable à forte ; et seul 85, soit 28% sont encore intacts et fonctionnels. Or, ces corridors sont nécessaires à tous les animaux sauvages pour satisfaire leur besoins en alimentation, reproduction, contacts sociaux et tranquillité. Ils font partie de leur habitat et varient sensiblement selon les saisons. La Figure 1.2.10 montre deux de ces habitats, reliés par des corridors, traversés par une hypothétique infrastructure routière qui empêcherait la connexion naturelle entre ces deux espaces, avec comme conséquence possible, la diminution considérable et la dispersion de la faune, entraînant à terme des problèmes liés à l'élevage et à l'économie forestière.

Ainsi, les problèmes écologiques liés à la réticulation nécessaire à l'étalement urbain, ne doivent pas uniquement s'associer aux perturbations atmosphériques et à leurs pics de pollution. Ceux-ci ne représentent qu'une face du problème. Les barrages aux migrations faunistiques que créent les infrastructures supportant les déplacements sont par contre un problème qui semble tout aussi grave à moyen ou long terme, mais pour lequel aucune solution n'émerge à l'heure actuelle. Ainsi, s'il ne faut pas voir uniquement le problème atmosphérique de la réticulation, il ne faut pas non plus s'intéresser seulement à ses conséquences environnementales : le processus d'étalement urbain entraîne aussi une crise économique qui, au niveau global, affecte la rentabilité de l'urbanisation actuelle.



La recomposition spatiale des aires urbaines, c'est-à-dire des villes-centres et de leurs périphéries imbriquées dans un tout fonctionnant ensemble, au gré des déplacements autorisés par les réseaux de communication, engendre donc de nombreuses perturbations, qui ne se relèvent pas directement sur les cartes topographiques. En effet, au-delà de la réticulation et du mitage que montrent assez clairement les images satellites, et que le voyageur peut également voir dans le paysage, c'est bien un système en entier qui se transforme, en impliquant tous les éléments qui lui appartiennent, avec une force relative. Ainsi, on ne peut simplement qualifier l'étalement urbain par ce qu'il provoque sur la forme de la ville en tant que processus d'urbanisation : il ne s'agit pas seulement de la construction de nouvelles habitations et de nouvelles infrastructures routières. Il est au contraire

nécessaire de compléter sa définition, en y intégrant ses conséquences majeures, de manière à ce qu'elles permettent de mieux le saisir. A la définition proposée en conclusion du Chapitre 1.1, on peut donc maintenant ajouter que l'étalement urbain est **un processus engendrant une perturbation environnementale, qui intervient autant dans la détérioration qu'il provoque sur l'environnement que dans la déstructuration des espaces et des hommes sur lesquels il agit**. On ne saurait donc se contenter de voir l'étalement comme une simple expansion spatiale des villes ; c'est véritablement une recomposition de ces espaces. Celle-ci ne touche pas seulement les espaces urbains : elle modifie autant, sinon plus, les espaces ruraux. L'étalement urbain correspond alors effectivement à une certaine forme d'agression de la ville sur la campagne, dans laquelle la seconde est passive et subit les conséquences de l'action de la première. L'ensemble induit néanmoins des problèmes qui touchent autant l'une que l'autre, mais qui, à terme, pourraient avoir des conséquences environnementales plus graves dans les espaces urbains que dans les espaces ruraux. Ces conséquences résultent essentiellement de la mise en œuvre du processus actuel d'urbanisation, qui place la mobilité, l'accessibilité, et avec elles les réseaux qui les supportent au cœur du système général de la ville. Ainsi, l'ensemble apparaît comme une série de résultats et de conséquences liés en cascade, dont certains sont indirects et dont les causes véritables s'inscrivent dans l'espace des villes et dans les relations spatiales qu'elles entretiennent avec leurs périphéries de plus en plus lointaines. Les causes visibles, c'est-à-dire les perturbations environnementales et atmosphériques issues de la réticulation et du mitage, ne sont en fin de compte que la conséquence du processus d'étalement urbain qui caractérise la modification de la répartition des populations à l'échelle nationale, et particulièrement la recomposition spatiale des aires urbaines. Cet état de fait annonce une **crise de la coalescence** ; il montre que la croissance ne pourra pas indéfiniment continuer à ce rythme et sous cette forme. Avec l'étalement urbain, la croissance urbaine atteint une limite qui crée une rupture dans la coalescence, et qui fait prendre conscience que si la croissance devait continuer, il serait très certainement préférable que ce ne soit pas en continuant d'étaler les villes. Parallèlement à ce constat, il est important de se demander quelles en sont les conséquences sur la cohérence.

Références bibliographiques :

- Aghulon M., 1983, 1998, *La ville de l'âge industriel. Le cycle haussmannien*, Seuil Histoire, Coll. Histoire de la France urbaine, Tome 4, 730 pages.
- Ascher F. Beaucire F., 2000, Tous en ville ou la ville partout ? *Le monde des débats*, juin 2000, pp. 22-24.
- Banister D., 1998, *Transport policy and environment*, E&FN Spon, 348 pages.
- Bansister D., Bayliss D., 1992, Structural changes in population and impact on passenger transport, 60 pages, *ECMT Round Table 88*, OECD, pp. 103-142.
- Baumann, 2000, *Liquid Modernity*, Polity Press, Cambridge, 318 pages.
- Baumont C., Guillain R., Huriot J.M., 1998, *Proximité et formation des villes : le rôle des externalités d'information*. In : Huriot J.M. (ss.dir), 1998, *La ville ou la proximité organisée*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 115-128.
- Béguin H., Thisse J.F., 1979, An axiomatic approach to geographical space, *Geographical analysis*, oct. 1979, n°4, vol. 11, pp. 325-341.
- Benevolo L., 1975, *Histoire de la ville*, Ed. Parenthèses, 509 pages.
- Bercque A., 1996, *Etre humain sur la Terre. Principes d'éthique de l'écoumène*, Gallimard, Coll. Le débat, 212 pages.
- Blanquart P., 1997, *Une histoire de la ville. Pour repenser la société*, La Découverte/Poche, Coll. Essais, 194 pages.
- Bonnel P., 2000, Une mesure dynamique des relations entre transports collectifs, étalement urbain et motorisation. Le cas de Lyon, 1976-1995, *Les cahiers scientifiques du transport*, n°38, pp. 19-44.
- Braudel F., 1979, *Civilisation matérielle, économie et capitalisme*, Tome 3, Armand Colin.
- Bretagne G., Guichard, P., 2000, L'agriculture périurbaine toulousaine : un patrimoine à protéger, une activité à conforter, *Observatoire urbain de l'agglomération toulousaine, Perspective Ville*, mars 2000, 3 pages.
- Brunet R., Ferras R., Théry H., 1992, *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique*, Reclus-La documentation française, 518 pages

- Cabanel J., Ambroise R., La France part en friches, et alors ? *Métropolis*, n°87, Premier trimestre 1990, pp. 4-16.
- Cauvin C., 1984a, *La perception des distances en milieu intra-urbain : une première approche*, Edition du CDHS.
- Cauvin C., 1984b, *Etude des configurations cognitives intra-urbaines : aspects méthodologiques*, UER de Géographie, ERA 214 CNRS, 213 pages.
- Cauvin C., Raymond H., Hirsch J., 1980, *L'espacement des villes. Théorie des lieux centraux et analyse spectrale*, Edition de CNRS, Mémoires et documents de géographie, 186 pages.
- Chabot G., Beaujeu-Garnier J., 1964, *Traité de géographie urbaine*, Armand Colin, 493 pages.
- Cheyran J.P. et al., 1999, Les mots du traitement de l'information spatio-temporelle *Revue Internationale de Géomatique*, n° spécial Représentation de l'espace et du temps dans les SIG, Volume 9, n°1, pp. 11-23.
- Choay F., 1999, De la ville à l'urbain (propos recueillis par T. Paquot), *Urbanisme* « Une chronique du siècle », nov. 1999, pp. 6-8.
- Chombart de Lauwe P.H., 1982, *La fin des villes*, Calmann-Levy, 246 pages.
- Christaller W., 1933, 1977, *Central places in Southern Germany*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 229 pages.
- Ciparisse G., 1997, Dynamiques foncières et agriculture en zones périurbaines : éléments pour un débat sur de nouvelles frontières, *Bulletin Réforme agraire, colonisation et coopératives agricoles*, FAO, 1997.
- Claval P., 1981, *La logique des villes. Essai d'urbanologie*, Ed. Litec, 633 pages.
- Crozet Y., 1998, *Proximités et effets externes*, 10 pages. In : Huriot J.M. (ss.dir), 1998, *La ville ou la proximité organisée*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 79-88.
- De Coulanges F., 1864, *La cité antique*, Flammarion, Coll. Champs, 494 pages.
- De Rosnay J., 1975, *Le Macroscopie. Vers une vision globale*, Seuil, Coll. Point Essai, 346 pages.
- Delsey J., Orfeuill J.P., 1989, *Transport et énergie*, 15 pages. In : INRETS, 1989, *Un milliard de déplacements par semaine. La mobilité des français*, La documentation française, pp. 235-249.
- Demonque P., 2001, La police de proximité. Une révolution culturelle à mener tranquillement, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 90, Septembre 2001, pp. 157-164.

- Dupuy, 1991, *L'urbanisme des réseaux. Théorie et méthodes*, Ed. Armand Colin, 199 pages.
- Duvernoy I, 2000, Espace agricole périurbain et politiques communales d'aménagement : l'exemple de l'agglomération albigeoise, *CyberGeo : European Journal of Geography*, n°208, mars 2002, 16 pages.
- Fleury A., 2000, En quoi l'arrivée des urbains dans les espaces agricoles génère-t-elle de nouvelles formes de ruralité ? *Actes du colloque de l'ADEF*, 2000, pp. 25-35.
- Fleury A., Donadieu P., 1997, De l'agriculture périurbaine à l'agriculture urbaine, *Courriers de l'environnement de l'INRA*, n°31, pp. 45-61.
- Hamilton F.E.I., 1967, *Models of industrial location*. In : Haggett P., Chorley R.J., 1967, *Models in Geography*, The Trinity Press, pp. 362-424.
- Haniotou H., 1989, La ville, objet technique, Mémoire de DEA, UFR de géographie, Strasbourg, 55 pages.
- Huriot J.M. (ss.dir), 1998, *La ville ou la proximité organisée*, Anthropos, Coll. Villes, 237 pages.
- Isnard H., 1981, *Une problématique empiriste de la géographie*, 69 pages. In : Isnard H., Racine J.B., Raymond H., 1981, *Problématiques de la géographie*, Presses Universitaires de France, Coll. Le Géographe, pp. 15-83.
- Kauffmann V., Jemelin C, Guidez J.M., 2001, *Automobile et modes de vie urbains : quel degré de liberté ?* Le documentation française, 167 pages.
- Laborit H., 1971, *L'homme et la ville*, Flammarion, Coll. Champs, 217 pages.
- Laborit H., 1974, 2000, *La nouvelle grille*, Gallimard, Folio Essais, 346 pages
- Larcher G., 1998, *La gestion des espaces périurbains*, Rapport d'information 415, Commission des affaires économiques au plan, 112 pages. Consultable à l'adresse : www.senat.fr
- Le Goff J. (ss. dir.), 1980, 1998, *La ville en France au Moyen Age*, Seuil Histoire, Coll. Histoire de la France urbaine, Tome 2, 677 pages.
- Legrain D., 1997, 2000, *Le conservatoire du littoral*, Actes-Sud, 112 pages.
- Lescure R., Nogier A., Tourjansky-Cabart L., 1997, Une évaluation économique de la pollution atmosphérique, *Economie et statistique*, n°307, juillet 1997, pp. 3-20.
- Liebherr A., 1998, *Les impacts A16 sur le patrimoine naturel et les mesures de comportement écologique*, Département de l'environnement et de l'équipement (Suisse), Service national des Ponts et Chaussées, 47 pages.

- Madoré F., 2001, *Les pratiques d'achat dans la ville contemporaine. Mobilités et appartenances territoriales*, 9 pages. In : *Les annales de la recherche urbaine*, n° 90, Septembre 2001, pp. 58-66.
- Malisz B., 1966, *La formation des systèmes d'habitat. Esquisse de la théorie des seuils*, Dunod.
- Marchetti C., 1991, *Voyager dans le temps. Considérations pour une meilleure exploitation de la liaison fixe*, *Futuribles*, n° 156, juillet-août 1991, pp. 19-29
- Morin E. 1977, *La méthode I : la nature de la Nature*, Ed. du Seuil, 398 pages.
- Morris A.E.J., 1974, 1979, *History of urban form. Before the industrial revolutions*, Second Edition, George Godwin Limited, 432 pages.
- Mumford, L., 1961, 1964, *La cité à travers l'histoire*, Seuil, 777 pages.
- Nicolas J.P., 1997, *Mobilité, congestion, technologie : les paramètres du trafic routier affectant le niveau de pollution atmosphérique en milieu urbain*, *Actes du colloque de l'ATEC, Mobilité dans un environnement durable*, Presse de l'Ecole des Ponts et Chaussées, pp. 71-83.
- OCDE, 1995, *La pollution des véhicules à moteur. Stratégie de réduction au-delà de 2010*, Paris, 48 pages.
- OFEFP (Office fédéral de l'environnement, des forêts et des paysages), 2001, *Les corridors faunistiques en Suisse. Bases pour la mise en réseau suprarégionale des habitats*, *Cahiers de l'environnement*, n° 326, 120 pages.
- Orfeuil J.P., 1992, *Structural changes in population and impact on passenger transport*, 60 pages. In : *ECMT Round Table 88*, OECD, pp. 43-102.
- Péron R., 2001, *Le près et le proche. Les formes recomposées de la proximité commerciale*, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 90, Septembre 2001, pp. 47-57.
- Pétolat P., 1994, *Structure des coûts d'une maison individuelle*, *Etudes foncières*, n° 63, juin 1994, pp. 20-23.
- Pinol J.L., 1991, *Le monde des villes au 19^{ème} siècle*, Ed. Hachette, 230 pages.
- Prost B., 1994, *L'agriculture périurbaine : analyse d'une marginalité*, *Bulletin de l'association des géographes français*, n°2, pp. 114-151.
- Querrien A., Lassave P., 2001, *Les seuils du proche*, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 90, Septembre 2001, pp. 3-5

- Rallet A. 1998, *Proximité urbaine et information*, 11 pages. In : Hurriot J.M. (ss.dir), 1998, *La ville ou la proximité organisée*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 103-113.
- Reclus E., 1998 (réed.), *L'homme et la terre*, Introduction et choix de textes de Béatrice Giblin, La Découverte, Coll. Sciences humaines et sociales, 398 pages.
- Reymond H., Cauvin C., Kleinschmager R. (coord.), 1998, *L'espace géographique des villes. Pour une synergie multistratègic*, Anthropos, Coll. Villes, 557 pages.
- SEGESA, 1994, *Entre ville et Campagne : les espaces périurbains*, 97 pages.
- Simondon G., 1969, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, 265 pages.
- Slak M.F., Vivière J.L., 2000, Vers une modélisation du mitage. Périurbanisation et agriculture, *Etudes Foncières*, n°85, hiver 1999-2000, pp. 33-38.
- Smith A., 1776, 1997, *La richesse des nations (Recherche sur la nature et les causes de la richesse des nations)*, Flammarion, 531 pages.
- Souchard N., 2000, *L'agriculture périurbaine : nouvelle scène pour l'agriculture et nouveaux rôles pour les collectivités locales ?*, Colloque de l'association des ruralistes français, 15-27 octobre 2000, Toulouse, pp. 158-162
- Stea D. et Downs R. M., 1977, *Maps in minds. Reflections on cognitive mapping*, Harper & Row, Series in Geography, 284 pages.
- Steinberg J., 1991, Les formes de périurbanisation et leur dynamique, *La périurbanisation en France*, SEDES, pp. 59-85.
- Surowiec C., Minvielle E., 2002, *La couverture des aires urbaines par les périmètres de transports urbains : le cas de 29 aires urbaines*, Note de synthèse du SES, mai-juin 2002, 6 pages.
- SYTRAL, 1997, *Le plan de déplacement urbain de l'agglomération lyonnaise*, Projet arrêté le 31 janvier 1997, 101 pages
- Tolron J.J., Giraud G., 2001, *L'agriculture actrice de la ville émergente. Prise en compte des espaces agricoles et aménagement des grandes métropoles françaises*, Rapport de recherche à l'appel d'offre « la ville émergente » du Plan urbanisme construction architecture (PUCA), METL/Cemagref, 130 pages.
- Torre A., 1998, *Proximité et agglomération*, 13 pages. In : Hurriot J.M. (ss.dir), 1998, *La ville ou la proximité organisée*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 89-101.
- Urry, 2000, *Sociology beyond Societies, Mobility for the twenty-first century*, Routledge, London, 421 pages.

Weber A., 1929, *Theory of location of industries*, University of Chicago Press.

Windels N., 1983, La consommation de l'espace agricole, *Etudes foncières*, n° 21, 1983, pp. 32-37.

Chapitre 1.3

L'étalement urbain : une nouvelle forme urbaine

Certains problèmes de pollution et de détérioration environnementales, en particulier ceux qui se manifestent aux alentours des villes, apparaissent comme une conséquence de l'étalement urbain et de l'augmentation de la mobilité à laquelle l'étalement oblige. Cette conséquence peut être considérée comme une conséquence visible dans la mesure où, pour une part, elle concerne l'ensemble de la population, et pour une autre part, elle est aujourd'hui fortement médiatisée. La canicule de l'été 2003, par exemple, a contribué à la prise de conscience de ce problème, et a marqué les mentalités dans un sens qui vise à réduire les déplacements polluants. Mais, si ces pollutions sont visibles, d'autres le sont beaucoup moins, parce qu'elles ne concernent pas directement les populations urbaines, et sont l'apanage de petits groupes d'initiés, trop faiblement représentatifs pour que leur opinion soit entendue par l'ensemble : le problème de la déstructuration des écosystèmes et de la faune par la réticulation périurbaine fait partie des conséquences invisibles de l'étalement urbain, celles qui ne se voient pas, soit parce qu'effectivement, elles sont difficiles à mesurer, soit parce qu'elles n'intéressent personne. **Cette déstructuration n'est pas la seule conséquence invisible de l'étalement urbain : ce dernier implique aussi des modifications sociales qui influencent très directement la cohérence urbaine mais qui sont extrêmement difficiles à appréhender. Plusieurs éléments lisibles dans le paysage périurbain permettent néanmoins de faire référence à cette nouvelle donne sociale, qui pour une part, correspond à une ségrégation socio-spatiale accentuée par le processus d'étalement urbain.** A leur origine, on trouve effectivement un lien très fort avec l'idée de proximité : les

nouvelles possibilités offertes par l'étalement pour ré-aménager les éléments de la ville entre le centre et les périphéries modifient effectivement la dialectique entre éloignement et proximité et montrent que l'urbanisation actuelle se fonde sur une nouvelle contradiction historique.

1. Un changement en quantité

Dans le langage courant, la quantité désigne « le nombre d'unités ou la mesure qui sert à déterminer une collection de choses considérées comme homogènes, ou une portion de matière » (Petit Robert, 1993, sens 1) ou bien « une propriété de la grandeur mesurable ; la chose même qui est susceptible d'être mesurée » (Petit Robert, 1993, sens 3). C'est au confluent de ces deux idées que se situent notre propos puisque nous retiendrons de la quantité qu'elle est ce qui est mesurable d'une part, et ce que l'on a les moyens de mesurer d'autre part. Mais quelle quantité est-il alors possible de considérer pour témoigner des changements introduits par le processus d'étalement urbain ? *A priori*, les données de populations mesurées par l'INSEE lors des recensements généraux sont les seules quantités dont nous disposons de façon immédiate et précise. On s'intéressera donc ici aux quantités de population. Mais dans le cadre de l'étude de la ville, ces populations se disposent sur un certain espace, que l'on peut également mesurer par l'intermédiaire de leur surface. Ceci nous amène à considérer la densité.

1.1. Définition de la densité

De façon très simple, la densité apparaît en effet comme un indicateur intéressant pour prendre en compte la localisation des hommes et des objets qui contiennent la ville et l'espace urbain. Elle permet de saisir leur répartition et leur importance relative, ici et là. Il n'est donc pas étonnant que cette étude des densités constitue souvent un préalable à l'étude urbaine et fasse partie des indicateurs privilégiés pour identifier le processus d'étalement urbain. Mais, **si la notion de densité paraît élémentaire au premier abord, elle est bien plus compliquée quand on la regarde de près, et les informations simples que l'on croit qu'elle renvoie demandent finalement à être interprétées avec la plus grande précaution, si bien que l'on peut se demander si *in fine*, elle n'apparaît pas comme un indicateur plus dangereux que pertinent.** Car, en effet, si l'on est sûr que la densité est un rapport, on peut se demander un rapport de quoi sur quoi, et si d'autres indicateurs statistiques, faisant intervenir l'espace autrement que par sa simple surface, n'apparaissent pas comme des indicateurs à privilégier.

1.1.1. La densité : un rapport ...

La notion de densité est assez simple pour les chimistes ou les physiciens : la densité d'un gaz par rapport à l'air correspond au rapport de la masse d'un certain volume de gaz à la masse d'un égal volume d'air dans les mêmes conditions de température et de pression. Mais la densité est autrement plus complexe quand elle touche le domaine des sciences spatiales et de la géographie, dans lesquelles elle demeure pourtant omniprésente. Elle y exprime généralement un rapport entre une variable et des surfaces de terrain. Pour R. Brunet *et al.* (1992), par exemple, la densité est « le rapport d'un nombre d'objets à une surface définie ». D'autres insistent sur le fait qu'en géographie humaine, c'est généralement à partir de l'homme, et donc de la population, qu'il est intéressant de la calculer. Ainsi, pour G. Sautter (1979), « la densité de population constitue un élément capital, le plus simple et le plus synthétique à la fois, parmi ceux qui permettent d'appréhender la nature des relations entre un espace et un ensemble d'hommes solidaires de cet espace ». Pour D. Pumain (1995), il s'agit du rapport moyen entre une population et une surface, mesuré par exemple en nombre d'habitants par km², et pour A. Bailly (1991), d'un quotient du nombre d'habitants par la superficie du territoire sur lequel ils vivent. Enfin, V. Fouchier (1998) donne la définition probablement la plus juste, mais aussi la moins opératoire, en disant qu'elle est un rapport théorique entre une quantité ou un indicateur et l'espace occupé par cette quantité ou cet opérateur. On voit donc bien que, quelle que soit la définition, la densité se compose de deux variables : une première variable (p) est considérée au numérateur et la surface (s) sur laquelle cette variable prend place est considérée au dénominateur. La densité (d) résultante est donc bien un rapport :

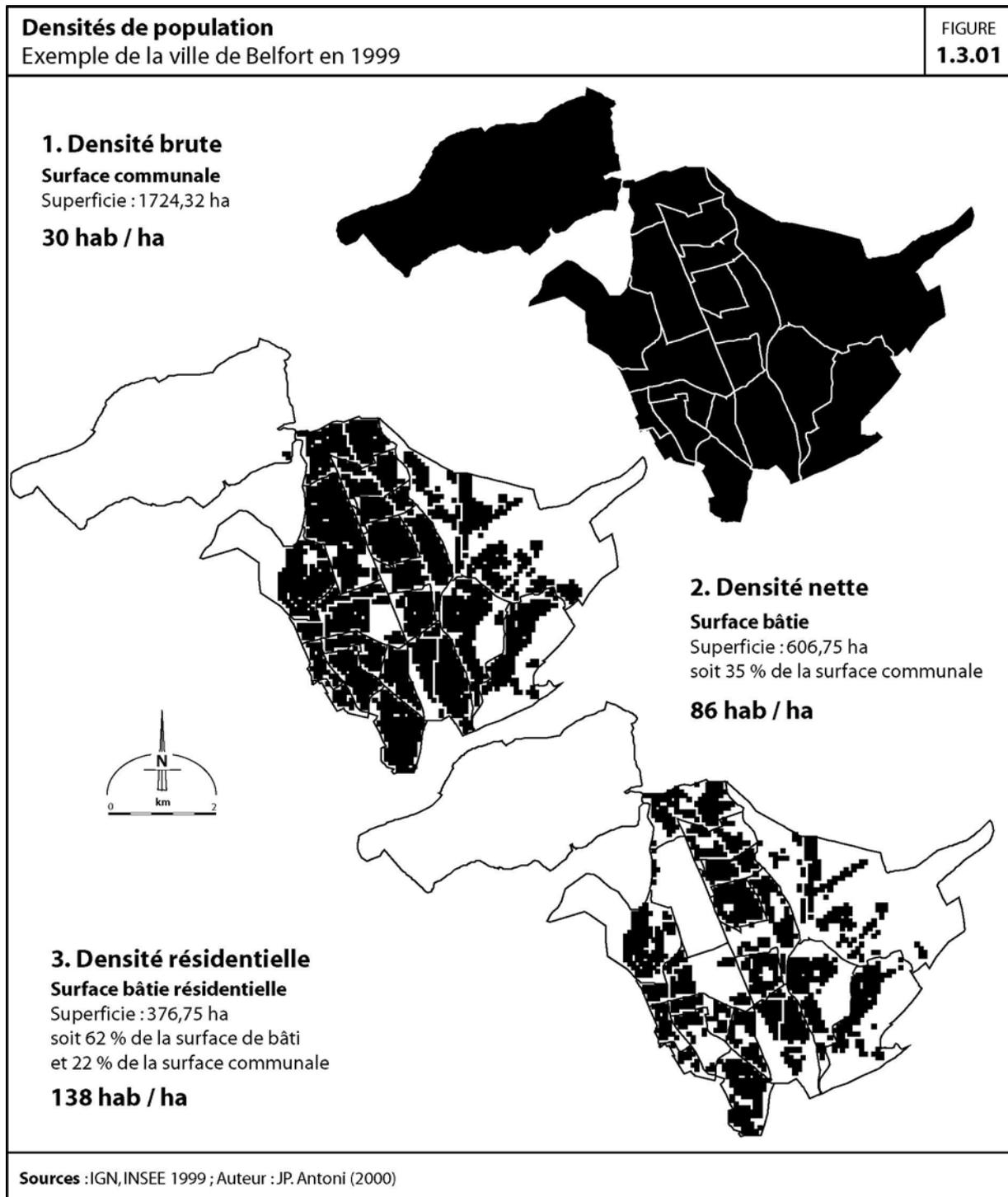
$$d = p / s$$

C. Cauvin (1997) a d'ailleurs précisé ce que l'on trouve généralement au dénominateur et au numérateur de ce rapport quand il s'agit d'étudier les densités urbaines : « Le numérateur représente une quantité, un nombre de..., à un temps T ; en fait le plus souvent un nombre de personnes. Ces personnes peuvent être tous les résidents d'une ville relevés au lieu de résidence ou encore au lieu de travail, ou encore aux deux emplacements. Mais on peut également séparer les catégories de personne selon leur catégorie socio-économique, leur âge, leur nationalité, etc. Alors, le terme densité devra être accompagné d'un qualificatif permettant de connaître l'attribut associé à la variable prise en compte. Cependant, on peut également retenir un « nombre de » autre que des personnes : par exemple, le nombre de maisons individuelles, le nombre de grands ensembles, ou encore, selon le but poursuivi, le nombre de commerces, de services, la longueur des rues. Seuls l'objectif de la recherche et la disponibilité des données interviennent pour prendre des décisions ». Quant à lui, « le dénominateur exprime en général une surface. Mais de quelle surface s'agit-il ? Comment la décomposer ? La plus courante est une surface administrative dont la taille varie selon

l'échelle de l'étude ; en France, on pourra retenir la parcelle (ce qui est rare), l'îlot, le quartier ou même l'arrondissement pour certaines villes. Mais que représentent réellement ces surfaces qui ne sont pas nécessairement entièrement occupées par des populations ou du bâti, mais qui peuvent être occupées par des maisons individuelles ou des bâtiments collectifs. Une densité « brute » où l'on rapporte une population totale (au lieu de résidence, ou au lieu de travail) à une surface administrative dont on ignore l'occupation par le construit, et surtout la disposition et la nature de ce construit peut donner une vision complètement fautive de l'occupation réelle d'une ville ». C. Cauvin soulève donc **deux points essentiels qui conditionnent tout travail sur la densité** : **1. Il est indispensable de disposer des données nécessaires à son calcul ; 2. Il est indispensable de se poser la question de savoir ce que ces données représentent sur le plan thématique.** Ainsi, si la densité est un rapport, il convient bien de préciser quels en sont le numérateur et le dénominateur.

1.1.2. ... mais un rapport de quoi sur quoi ?

Car, pour une variable identique, les périmètres considérés (c'est-à-dire la surface s du dénominateur) peuvent considérablement varier, en fonction qu'ils incluent différents éléments comme la voirie, des équipements, des espaces publics, etc. Une étude de E. Egli de 1965, rapportée par A.M. Meyer (1999), donne à ce propos un exemple très significatif : elle montre que sur 19 communes urbaines suisses, la densité de population a été calculée de 16 manières différentes, selon la surface considérée au dénominateur (surface hors sol, surface de plancher, surface de plancher utilisé, etc.) Ainsi, selon que certains de ces éléments soit inclus dans les surfaces considérées (le dénominateur), la densité peut varier du simple au quadruple. Certains chercheurs, parmi lesquels J. Szegö (1994) ou V. Fouchier (1998), estiment d'ailleurs qu'on ne devrait calculer de densité qu'en considérant sa surface bâtie uniquement, celle-ci étant la seule surface véritablement peuplée au sein d'une aire urbaine. On a donc pris l'habitude de considérer trois types de densités de population, fonctions du dénominateur qu'ils utilisent, et donc de la surface considérée et de sa signification thématique : **1. La densité de population brute** : il s'agit du rapport entre le nombre d'habitants et la surface totale de l'aire de référence ; **2. La densité de population nette** : dans ce cas, le dénominateur comprend l'ensemble de l'aire construite, c'est-à-dire également les zones destinées aux infrastructures et équipements. Les surfaces non bâties (forêts, cultures plans d'eau, etc.) ne sont pas retenues ; **3. La densité résidentielle** : seules les surfaces consacrées pour l'essentiel à la fonction résidentielle sont considérées. Par rapport à la densité caractérisée précédemment, l'ensemble des zones occupées par les voies de communication, par les équipements et bâtiments publics et par les activités économiques ne sont pas conservées (Meyer, 1999).



Pour illustrer cette variabilité, prenons un exemple calculé sur la ville de Belfort, avec les chiffres INSEE de 1999. Rapportée à la totalité de la surface communale, la densité de population de la ville de Belfort (en 1999) est de 30 hab./ha (cas 1). Si l'on ne considère plus que les surfaces bâties à l'intérieur de la surface communale, elle passe à 86 hab./ha (cas 2).

Enfin, si parmi ces surfaces bâties, on ne considère plus que les surfaces résidentielles (c'est-à-dire les surfaces réellement habitables), la densité de population est de 138 hab./ha (cas 3), soit 4,6 fois plus que dans le premier calcul (Figure 1.3.01). De ceci on tirera une première conclusion : **la densité n'est interprétable que si l'on connaît précisément les données à partir desquelles elle est calculée et si l'on est capable d'associer une pertinence thématique à ces données.** Dans notre cas, la première densité (cas a), par exemple, prévoit que les habitants de Belfort habitent n'importe où sur le ban communal, même sur une autoroute ; le deuxième calcul (cas b) n'exclut pas qu'ils vivent dans le fond d'une cuve à produits chimiques. L'un comme l'autre sont peu pertinents ; seul le troisième (cas c) rend véritablement compte d'une situation réaliste, puisqu'il ne considère que les zones réellement habitables. Mais ceci est-il toujours vrai si l'on considère que l'espace réellement habitable est une maison individuelle ? Car celle-ci ne peut se dissocier de son jardin, qui n'est pourtant pas considéré dans le calcul des densités résidentielles. Le jardin est pourtant nécessairement pris en compte si l'on considère la consommation importante d'espace qu'entraîne la construction périurbaine de lotissements de maisons individuelles. Le même problème se pose quand on essaye de considérer les grands ensembles, dont la surface au sol est souvent très réduite (en contrepartie, ils ont de nombreux étages) mais qui s'entourent généralement de vastes parcs et d'espaces verts, prévus dès le départ dans l'opération architecturale. A chaque espace correspond donc une spécificité de surface dont il faudrait tenir compte de façon très précise dans le calcul, et surtout dans l'interprétation des densités. Mais, même considéré de la sorte, un calcul de densité en tant que tel ne veut rien dire ; il demande à être complété par des indicateurs complémentaires.

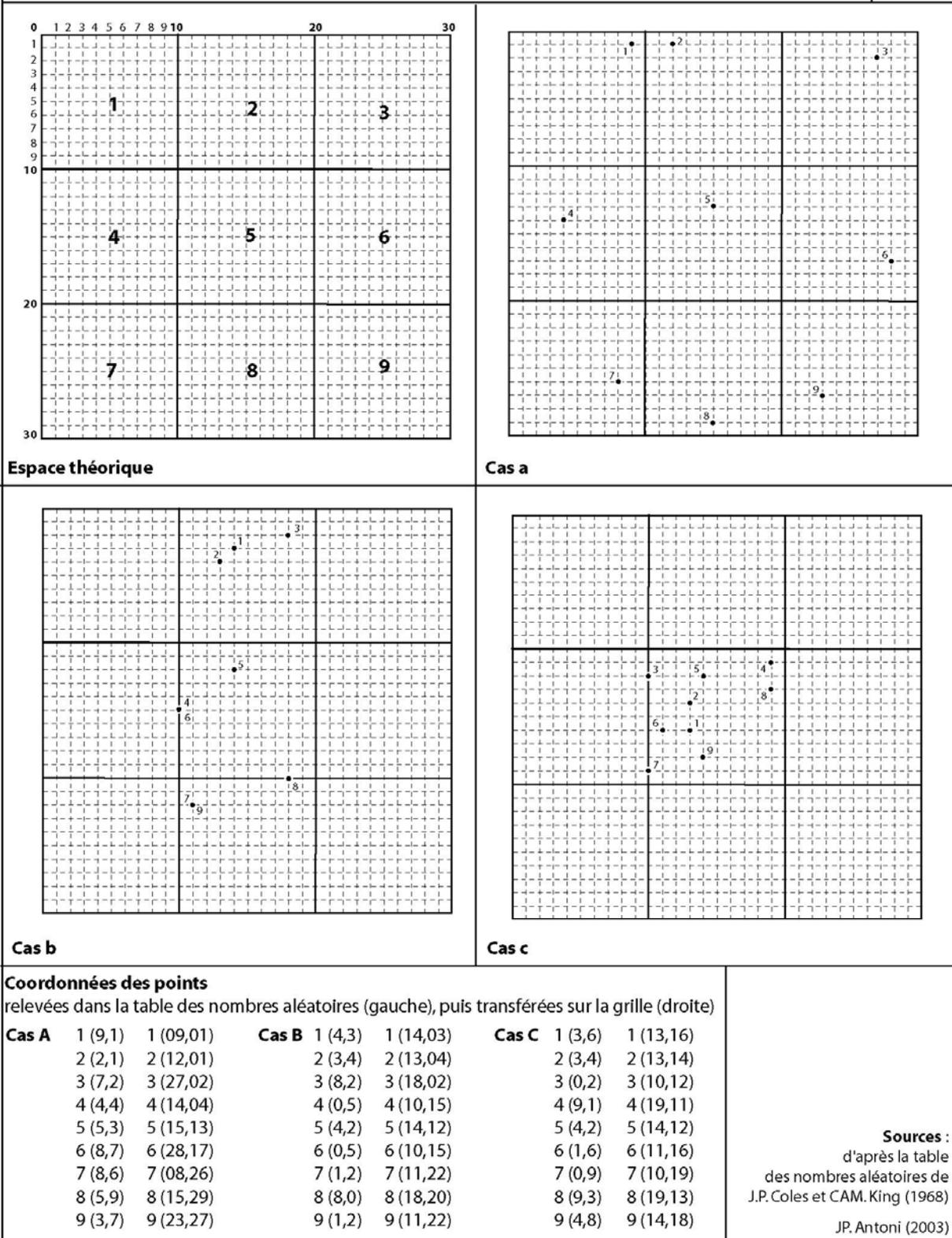
Comment définir ces indicateurs complémentaires ? Quelques tests, utilisant un exemple théorique pour mieux saisir l'évolution d'un rapport de densité si l'un de ses deux éléments (dénominateur ou numérateur) évolue, aident à saisir ce que cela implique. Considérons l'exemple d'un espace E donné décomposable en 9 sous-espaces e . A l'intérieur de cet espace E , positionnons neuf objets (correspondant à des hommes, des unités d'habitat, des activités ou n'importe quoi d'autre) de façon aléatoire. On se réfère alors à une table des nombres aléatoires pour déterminer leur coordonnées en x et en y ¹. Mais prenons la précaution de respecter les trois cas suivants : dans le cas A, on place un objet dans chaque case ; dans le cas B, on place trois objets dans chacune des cases centrales (cases 2, 5 et 8 de la Figure 1.3.02) ; dans le cas C, on place tous les objets dans la case centrale (case 5).

La Figure 1.3.02 montre bien que le fait de déplacer les objets à l'intérieur de l'espace E modifie considérablement la configuration générale obtenue, ce qui se traduit directement par une densification visible à l'échelle des sous-espaces e . Dans chacun des trois cas, la densité générale est toujours égale, mais elle ne l'est plus si l'on la considère à l'échelle des sous-espaces.

¹ Dans le cas considéré ici, nous utilisons la table de J.P. Coles et C.A.M. King (1968).

Densité et proximité : un exemple théorique
Espace théorique et résultats des tirages aléatoires

FIGURE
1.3.02



On voit donc bien que quand la densité augmente à un endroit, elle diminue à un autre : dans le cas b par exemple, la densité des sous espaces e_2 , e_5 et e_8 est multipliée par 3 par rapport au cas a, en même temps que celle des cases 1, 3, 4, 6, 7 et 9 est annulée, même si la densité générale est toujours constante (espace E). Ainsi, **à densité égale, de nombreuses configurations sont possibles suivant l'aménagement des éléments entre eux, c'est-à-dire leur répartition et leur concentration dans l'espace. Dans le cas c, on saisit également que les neufs objets sont plus proches les uns des autres. La densité semble donc aussi liée à la proximité.**

1.1.3. Densité et proximité

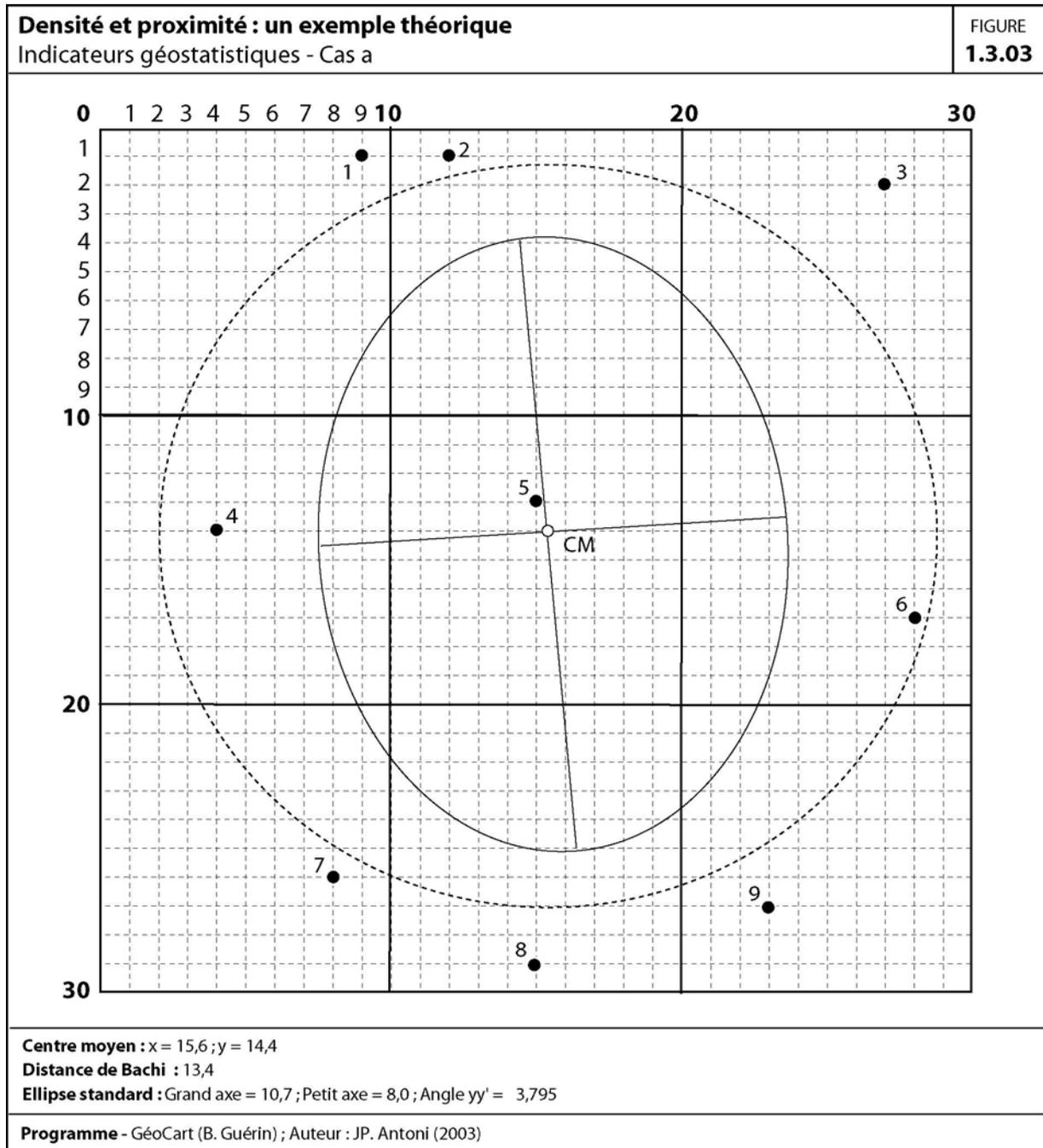
De façon générale, la notion de densité n'est pas systématiquement rapprochée de la notion de proximité : dans aucune définition, à notre connaissance, on ne trouve directement une telle association². Les deux sont pourtant liées, dans un rapport qui semble dépendre de l'échelle. Ainsi, à grande échelle, le fait que vu de New-York, Paris soit à proximité de Londres n'influence pas les densités de l'armature des villes européennes³. Mais, à petite échelle, la proximité induite par les concentrations urbaines implique forcément leur densité. **Etudier la proximité nécessite donc de considérer la densité.**

Ces différentes concentrations ont un lien assez direct avec la proximité des éléments entre eux, dans le sens où la distance qui les sépare est moins grande dans certains cas que dans d'autres. Retenir de cet exemple uniquement que la densité de l'espace E ne varie pas selon les cas a, b ou c, revient à accepter une définition chimique de la densité, postulant qu'à l'intérieur de la solution, la masse dissoute se répartit régulièrement. Mais si cette définition apparaît pertinente en chimie pour mesurer la densité d'éléments dissous les uns dans les autres, elle l'est beaucoup moins en géographie : on ne peut considérer que les éléments t dispersés dans l'espace E y soient dissous, mais au contraire, nous avons montré qu'il s'y positionnent d'une façon spécifique, qui entraîne une gradation de leur niveau de proximité. Ainsi, le fait que la densité générale de l'espace E ne varie pas apparaît peu intéressant, et conduit à considérer simultanément la concentration et la répartition de ces éléments t dans l'espace E par l'intermédiaire de sa décomposition en sous-espaces e . Ainsi, si les éléments se déplacent à l'intérieur d'un espace E de densité toujours identique, ils vont en fait chercher à se concentrer pour maximiser leurs proximités et contribuer à se répartir dans certains sous espaces plutôt que dans d'autres. Ceci entraîne *a fortiori* que la concentration au sein de l'espace E (cas b et c) implique à la fois une densification et une dédensification au niveau des sous espaces e , ceux-ci s'en trouvant soit plus denses soit moins denses que dans l'état

² On peut signaler, par contre, que dans le calcul du Plus Proche Voisin (PPV), la formule mathématique lie la densité et la proximité.

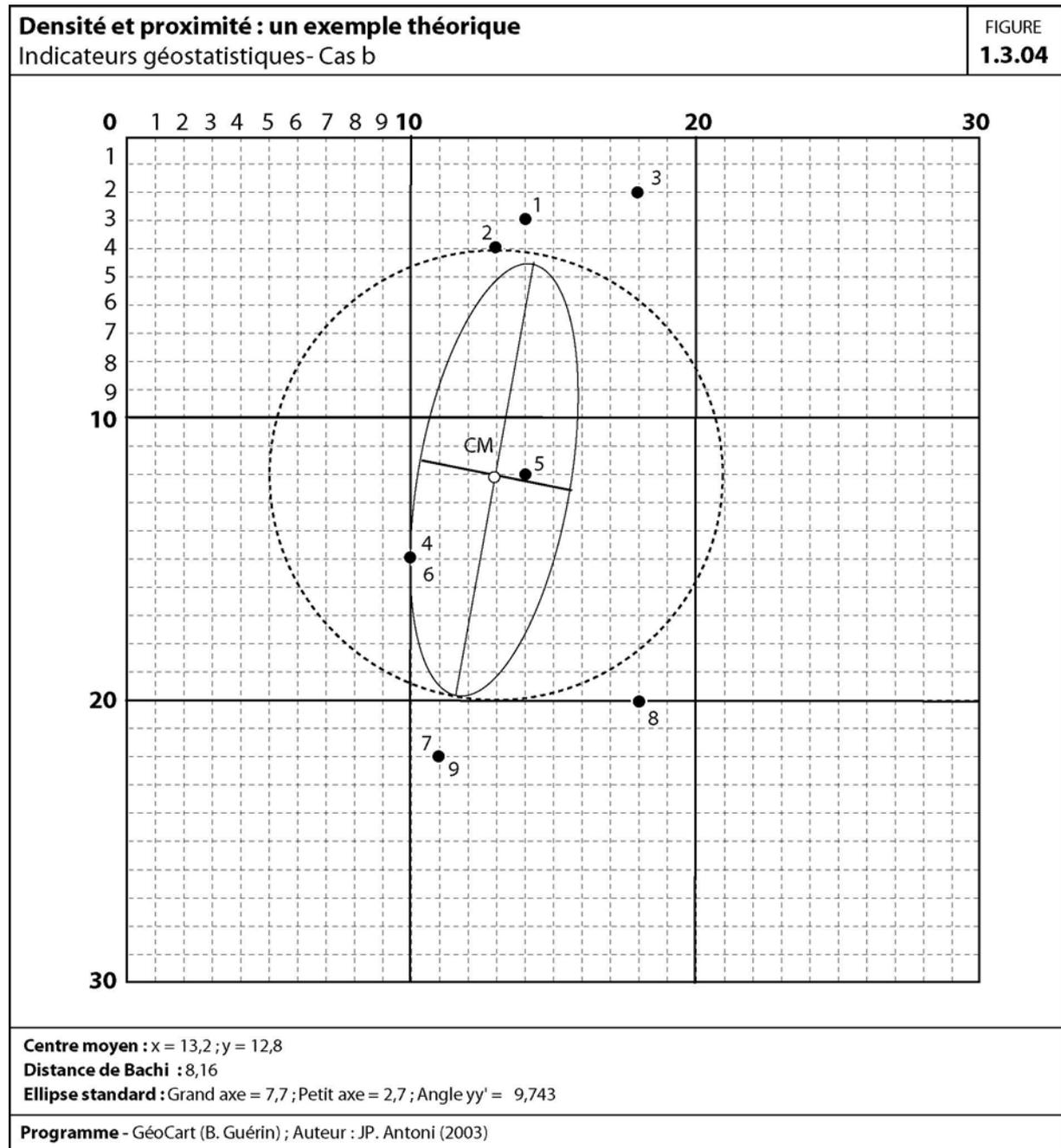
³ Nous reprenons l'exemple donné par R. Brunet *et al.* (1992) au chapitre de la proximité.

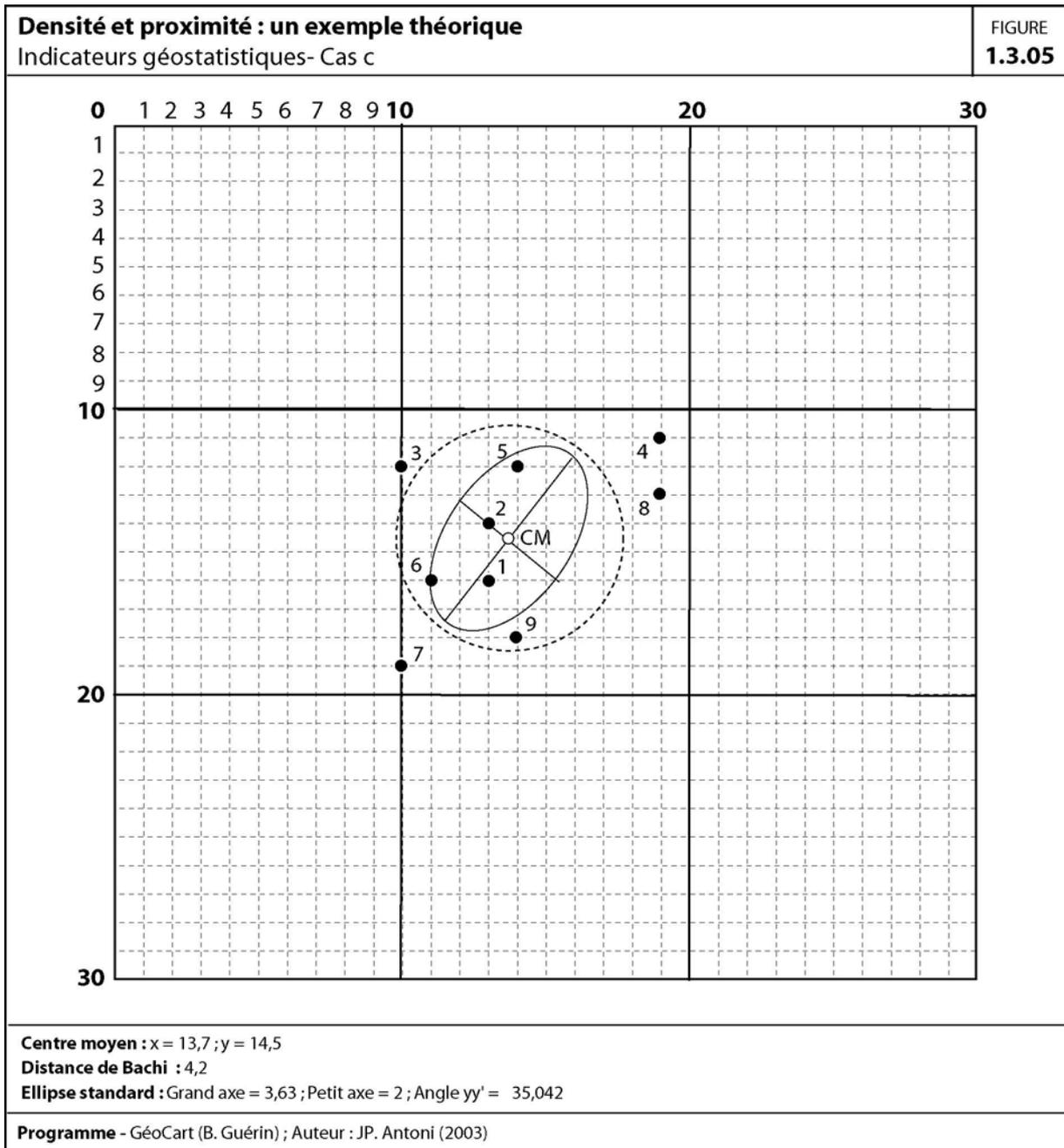
initial (cas a) : c'est le principe des vases communiquant. Pour illustrer ce propos, revenons sur l'exemple théorique étudié plus haut (Figures 1.3.02) et testons quelques indicateurs géostatistiques (Cauvin, 1987, 2003).



Dans un premier temps, il est possible de calculer le centre moyen sur chacun des trois cas. Le centre moyen se définit par le couple de coordonnées moyennes, c'est-à-dire les moyennes respectives des coordonnées x_i et y_i de tous les points :

Centre moyen $\begin{cases} \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \\ \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \end{cases}$ avec $\begin{matrix} X \text{ et } Y & \text{coordonnées du centre moyen cherché} \\ X_i \text{ et } Y_i & \text{coordonnées de chacun des points du semis} \\ n & \text{nombre total de points} \end{matrix}$





Le centre moyen ne permet pourtant pas réellement de caractériser une différence entre les trois semis : il évolue peu. Dans les trois cas, le centre de la répartition des points reste donc globalement au même endroit, ce qui est logique dans la mesure où les répartitions évoluent de manière symétrique dans chacune des cases. Le déplacement léger du centre moyen s'explique donc uniquement par le fait que la position des points soit issue d'un tirage aléatoire dans chacune des cases. A partir de cet indicateur, il est possible de calculer une distance standard, également appelée distance de Bachi, entre tous les points. Le principe de la distance de Bachi s'apparente à celui de la variance en statistiques descriptives : il s'agit de

calculer la moyenne des distances entre tous les points entre eux, ou entre les points et leur centre moyen. La distance ainsi obtenue peut se représenter par un cercle, dont le rayon (dit rayon standard) correspond à cette distance et se centre sur le centre moyen :

Distance standard : $D = \left[\frac{\sum_1^n d_{ic}^2}{n} \right]^{1/2}$ avec

D	distance standard de Bachi
n	nombre de points
d_{ic}	distance euclidienne d'un point i du semis au centre moyen C de ce semis, soit :

$$d_{ic} = \sqrt{(X_i - X_c)^2 + (Y_i - Y_c)^2}$$

où X_c et Y_c sont les coordonnées du centre moyen C calculées comme précédemment

La formule de la distance standard est donc la suivante :

$$D = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_i - \bar{X}_c)^2 + \sum_1^n (Y_i - \bar{Y}_c)^2}{n}}$$

La formule calculatoire plus simple est la suivante : $D = \sqrt{\left[\frac{\sum_1^n X_i^2}{n} - \bar{X}_c^2 \right] + \left[\frac{\sum_1^n Y_i^2}{n} - \bar{Y}_c^2 \right]}$

Sur notre exemple, le calcul des distances de Bachi montre que le lien entre proximité et densité est fort : à une densité de 1 correspond une distance de 13,4 ; à une densité de 3 correspond une distance de 8,16 ; et à une densité de 9 correspond une distance de 4,2. Ainsi, plus on est dense, plus on est proche. Mais ici encore, l'arrangement des lieux les uns par rapport aux autres joue un rôle important, que la distance standard ne peut montrer dans la mesure où elle fonctionne comme une variance. Pour visualiser le lien entre proximité, densité et arrangement des lieux, on peut alors calculer les ellipses standard correspondant à chacun des cas a, b et c. Cette méthode permet effectivement de mesurer et de résumer la dispersion d'un semis de point en tenant compte des deux directions principales qui apparaissent dans cette dispersion. Le principe consiste alors à calculer l'axe d'étirement maximum et l'axe d'étirement minimum (ces deux axes étant orthogonaux) en centrant leur origine sur le centre moyen. La première étape consiste alors à trouver l'angle de rotation θ à partir des coordonnées centrées :

$$\text{Tangente } \theta = \frac{\left(\sum_1^n X'^2 - \sum_1^n Y'^2 \right) + \sqrt{\left(\sum_1^n X'^2 - \sum_1^n Y'^2 \right)^2 + 4 \left(\sum_1^n X' Y' \right)^2}}{2 \sum_1^n X' Y'}$$

avec $\tan \theta$ tangente de l'angle de rotation θ
 X' et Y' coordonnées centrées, c'est-à-dire $X' = X - \bar{X}$ et $Y' = Y - \bar{Y}$

La deuxième étape consiste ensuite à calculer la dispersion selon l'axe des X' et des Y' , comme une distance pondérée qui tient compte de l'angle de rotation par rapport aux axes initiaux (Cauvin, 2003) :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_i (X' \cos \theta - Y' \sin \theta)^2}{N}} \quad \text{soit} \quad \sqrt{\frac{(\sum_i X'^2) \cos^2 \theta - 2 (\sum_i X' Y') \sin \theta \cos \theta + (\sum_i Y'^2) \sin^2 \theta}{N}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_i (X' \sin \theta + Y' \cos \theta)^2}{N}} \quad \text{soit} \quad \sqrt{\frac{(\sum_i X'^2) \sin^2 \theta + 2 (\sum_i X' Y') \sin \theta \cos \theta + (\sum_i Y'^2) \cos^2 \theta}{N}}$$

Les ellipses standard ainsi obtenues montrent alors comment les arrangements s'organisent (les ellipses sont représentées sur les Figures 1.3.03, 1.3.04 et 1.3.05). Globalement, les résultats sont les mêmes que précédemment : plus la densité est importante, moins les distances entre les axes sont grandes. Mais, dans cet exemple, les calculs se font sur des lieux dont la localisation est aléatoire. On ne peut donc interpréter la taille des axes qu'en comparant les résultats des cas a et c (dans lesquels les points se répartissent régulièrement dans toute la grille ou dans une case) aux résultats du cas b (dans lequel la répartition n'est pas régulière mais se concentre dans les cases centrales. Dans le cas b, l'augmentation de la densité sur un seul axe provoque alors une augmentation importante de la proximité, la distance étant divisée par presque 3 (7,7 contre 2,7).

De ce court exemple théorique, on retiendra essentiellement deux choses. Premièrement, la densité (c'est-à-dire le rapport d'un nombre d'objets sur une surface) est un indicateur à manier avec la plus grande précaution quand il s'agit de décrire une ville et son organisation. Suivant les données de départ que l'on utilise pour la calculer, on peut en effet presque lui faire dire une chose et son inverse, ce qui contribue à la rendre inefficace. Elle l'est d'autant plus quand il s'agit de comparer des densités dans le temps. Ceci veut bien dire que pour saisir l'évolution de la ville, notamment en ce qui concerne les modifications que l'étalement urbain a pu y apporter, il apparaît assez délicat de se fonder sur les densités. Dans le temps, en effet, les surfaces de base qui servent à leur calcul, et qui correspondent souvent à des unités administratives, ont pu évoluer et ont de ce fait rendu les choses non comparables. Parallèlement, si ces unités administratives n'ont pas évolué, on peut également se poser la question de la pertinence de l'indicateur « densité ». En effet, si à un temps t , une commune accueillait 1000 personnes sur 1000 hectares (soit une densité de 1), 1200 personnes sur 1000 hectares à $t+1$ (soit une densité de 1,2), et 1500 personnes sur 1000 hectares au temps $t+2$ (soit une densité de 1,5), on a bien souvent meilleur temps de considérer directement les chiffres de la population brute (c'est-à-dire 1000, 1200 et 1500), plutôt que de calculer une densité qui n'apportera rien de plus puisque les rapports qu'elle donne seront strictement identiques (1,0 puis 1,2 puis 1,5).

La première idée à retenir de ce court exemple théorique est donc bien la suivante : si la densité apparaît fondamentalement comme une variable que l'étalement urbain modifie, en profondeur, nous n'avons pas forcément les moyens de saisir mathématiquement cette

modification tant le calcul des indicateurs peut être rendu complexe par l'hétérogénéité des situations et la diversité des données à prendre en compte. Il est donc parfois préférable de privilégier d'autres indicateurs qui apportent plus d'enseignements sur le plan thématique dans la mesure où leur calcul ne demande pas tant de soins et de nuances. Et, c'est justement la deuxième idée à retirer de cet exemple : les outils qu'apportent les géostatistiques (le centre moyen, la distance de Bachi, les ellipses de variabilité, par exemple) sont parfois des outils bien plus puissants que la traditionnelle densité. Bien qu'ils fassent intervenir des notions thématiquement moins fortes (la surface, par exemple, n'est pas prise en compte dans les calculs donnés plus haut), ils se révèlent plus efficaces pour décrire certaines configurations spatiales. Dans le cas d'une étude portant sur l'évolution urbaine, mettant en jeu plusieurs configurations qui diffèrent dans le temps (c'est bien ce que produit le processus d'étalement urbain), il apparaît ainsi très intéressant de calculer des ellipses de variabilité pour chaque temps t , construites à partir de points représentatifs de la ville qui, pris ensemble, témoignent du fait que celle-ci s'étale, en indiquant la direction qu'elle privilégie pour le faire. **Mais, proximité et densité étant liées, par l'intermédiaire de ces indicateurs, c'est toujours la densité que l'on étudie : elle se révèle fondamentale pour le processus d'étalement urbain dans la mesure où elle est à l'origine d'une deuxième contradiction de la ville. Ici, il ne s'agit plus de contradiction spatiale (cf. Chapitre 1.2), mais d'une contradiction humaine ou sociale.**

1.2. La contradiction humaine de l'étalement urbain

Car le regroupement en proximité que procure la ville ne produit pas qu'un effet spatial : la ville et sa configuration agissent également sur les hommes qui l'habitent et leurs comportements sociaux (Figure 1.2.05, rétroaction 3). Ainsi, de la proximité spatiale (c'est-à-dire de la densité) découle également une sorte de reconnaissance communautaire qui apparaît comme un socle fondamental pour la construction d'une « âme urbaine ». Dans de nombreux cas, la ville apparaît comme la réification de cette âme collective. L'urbanité y apparaît alors comme ce comportement particulier et bien séant qu'ont entre eux ceux qui appartiennent au même groupe⁴. L'étalement urbain contribue pourtant à modifier ce rapport. Dans certains cas, il a même introduit un changement tel que ce rapport s'est inversé : **de la ville-groupe, on passe à la ville-individu. Plutôt que de construire ensemble, le processus d'étalement urbain propose une construction en « individualités juxtaposées ».** A l'origine de ce retournement, on retrouve l'idée de densité, mais celle-ci est prise dans un autre sens.

⁴ L'urbanité peut effectivement se définir comme un « ensemble de traits de comportement positifs, impliquant courtoisie, respect de l'autre, bonnes mœurs et usage, et que l'on assurait être le propre des citadins par opposition aux habitants de la campagne dits rustiques (du *rurs*, campagne, opposé à *urbs*, ville) » (Brunet *et al.*, 1992). En français, le mot espagnol *urbanidad* signifie d'ailleurs courtoisie.

1.2.1. Densité : la peur de la ville

La densité est en effet une notion à double tranchant. D'un côté, elle possède l'avantage incontestable de rapprocher les choses ; elle permet alors de renouer avec une certaine proximité qui, nous l'avons vu (Chapitre 1.1) est à l'origine de l'effet que produit la ville face au besoin de contacts et d'échanges des hommes. Mais souvent, en même temps qu'elle rapproche, la densité est perçue comme un pis aller, ou au moins, elle peut entraîner un sentiment de répulsion, associé à l'idée d'entassement et de promiscuité : il convient donc de distinguer, à la suite de A. Moch et F. Bordas-Astudillo (1999), la densité du *crowding* (que l'on peut traduire par « sentiment d'entassement »).

Dans le cas de la densité, il semble en effet qu'un écart important existe entre les potentialités qu'elle offre théoriquement et l'acceptation qui en est faite pratiquement : la forte densité a mauvaise presse et si elle introduit une forte concentration, elle est souvent considérée comme un élément à éviter dans les constructions urbaines. Dans de nombreux cas, l'idée de densité urbaine peut être rapprochée des exemples d'urbanisme les moins réussis, reflétant l'image de conditions de vie à la fois stressantes et insalubres. Devenu courant, ce sentiment probablement hérité de la ville industrielle et du traumatisme manchesterien, condamne les opérations de densification et, *a fortiori*, de concentration. Il ne trouve pourtant que peu de validations scientifiques. C'est en tout cas ce qu'essaie de montrer V. Fouchier (1994), en citant de nombreuses études de sociologie et de psychologie, pour la plupart américaines. Ces expériences visent à tester les comportements et leurs modifications à mesure que la densité augmente. En fait, si certaines études (l'expérience des rats de J.B. Calhoun (1962)⁵, par exemple) ont conclu à des modifications comportementales (augmentations du stress, de l'agressivité, des déviances sexuelles, etc., globalement qualifiés de « cloaque comportementale »⁶ par E.T. Hall (1978)) mesurées sur plusieurs populations animales, il ne semble pas qu'elles affectent les populations humaines de la même façon. Au plus, il semblerait qu'une association négative existe entre densité et comportement, mais il n'est pas démontré qu'il s'agisse d'une relation causale (Fouchier, 1994 ; Le Bras, 1995). En 1959, P. Chombart de Lauwe (1959) montre en effet qu'au dessus de 2,5 personnes par pièce et en dessous de 8 à 10 m², la fréquence des troubles comportementaux augmente. Par exemple, les femmes habitant des logements surpeuplés ou exigus se sentent plus nerveuses, plus tendues ; les enfants sont plus facilement agressifs. En 1972, R.O. Gall *et al.* (1972) montrent

⁵ Cette expérience a montré que l'augmentation de la densité (de 48 à 80 individus) provoquait des dérèglements divers dans une population de rats : perturbation dans la construction de nids, déviance dans l'accouplement et le comportement social, agressivité croissante chez le mâle et manque d'intérêt pour l'élevage des petits chez les femelles, entraînant la mort de 75% des jeunes rats.

⁶ Cette notion est aussi présentée sous la forme de *carrying capacities*, correspondant à un sorte de seuil de charge ou de portage supportable par un écosystème, voire pour l'ensemble de la biosphère, au-delà duquel la survie ultérieure du groupe est compromise.

qu'il existe une relation entre le nombre de personnes par pièce, les taux de mortalité, de fécondité et la fréquence des comportements délinquants. En 1982, S. Saegert montre les liens entre le taux d'occupation des logements et l'inattention ou l'hyperactivité des enfants, leur performances moins bonnes en lecture et leur vocabulaire moins riche. Peut-on néanmoins conclure de ces trois exemples que la densité est la cause des modifications comportementales ? En est-elle une cause directe ou une cause indirecte ? Elle est en tous cas difficile à détacher des appartenances socio-culturelles liées à la forte densité⁷, parmi lesquelles les rythmes et les modes de vie étudiés par A. Moch *et al.* (1995), la qualité des contacts sociaux (cf. Stokols, 1972), le contrôle de l'environnement⁸, les caractéristiques physiques de l'habitat, l'accès visuel, etc.

Dans certains cas, la densité peut donc mener au *crowding*, et celui-ci peut vraisemblablement entraîner l'inconfort physique et psychologique ou le stress des individus, ce que se traduit de façon négative sur leur comportement : évitement des espaces communs, peu d'engagement de conversation, attitude passive, repli, apathie et finalement affaiblissement des liens sociaux. Dans certains cas, la surstimulation liée à la densité amène donc un comportement « distant, froid, inamical, [une] indifférence vis-à-vis d'autrui » (Moch *et al.*, 1995). Mais, l'écart entre perception et besoin est strictement personnel et peut engendrer l'effet inverse. C'est ce qui se produisait dans l'Antiquité pour Périclès, qui se réjouissait de rencontrer entre cent et cent-cinquante personnes en parcourant chaque matin la route qui le menait de chez lui à l'assemblée. De même cette citation de R. Koolhaas (1994), qui fait l'éloge de la densité extrême : « Face au plaisir de la nature, le plaisir métropolitain est une espèce de perte de l'individu dans une expérience partagée très dense et très compacte. Il y a aussi l'expérience de savoir qu'un million de plaisirs sont accessibles : c'est le potentiel de plaisirs qui représente pour moi le plaisir de la ville exacerbée au maximum ». Il est donc difficile de prendre position quant aux implications que peut engendrer la densification, celle-ci apparaissant éminemment relative et très personnelle. Mais, nous l'avons dit plus haut (Chapitre 1.4), en cas de doute, le principe de précaution s'impose : il est préférable d'éviter toute nouvelle concentration. **La densité pose donc ici le même problème que précédemment lorsqu'on essayait de voir dans quelle mesure elle pouvait apparaître comme un indicateur efficace pour mesurer l'étalement urbain. D'une part, on a vu que la densité était extrêmement difficile à calculer. D'autre part, une fois calculée, ses conséquences sur le plan humain sont difficiles à évaluer dans la mesure où elles peuvent prendre la forme d'un rapprochement, ou au contraire d'une contrainte de type *crowding*.**

⁷ Cette volonté de détachement est néanmoins fortement présente, et mise en œuvre dans l'étude de Gall *et al.* (1972).

⁸ Trois types de contrôles de l'environnement existent : le contrôle comportemental (possibilité de fuir ou d'agir directement face à une situation désagréable), le contrôle cognitif (recherche d'information et interprétation des événements), contrôle décisionnel (liberté de choix, du logement par exemple).

Quoi qu'il en soit, la tendance actuelle de l'urbanisation est aux faibles densités et ceci n'est pas sans lien avec le mythe du *crowding*. L'une des raisons de l'étalement urbain repose effectivement dans le fait que l'on croit à certaines vertus des faibles densités. Dans la plupart des projets de développement urbain, on a longtemps constaté à ce sujet un appel à une réduction des Coefficients d'Occupation du Sol (COS). En France, dans le contexte de crise des années 1970 (crise économique, désordres sociaux, etc.), l'Etat a engagé une politique favorable à la maison individuelle. Plusieurs concours ont alors stimulé ce type de logements, une série de circulaires a freiné la construction de logements verticaux, et un certain nombre de mesures ont parachevé la nouvelle politique du logement et de l'urbanisme, avec notamment, la création d'un plafond légal de densité. Si l'on ajoute à cela la réforme du système de financement du logement (la loi du 3 janvier 1977 substitue à l'aide à la pierre une aide à la personne qui accélère le processus, déjà engagé, d'accession à la propriété), force est de constater que l'émergence de la maison individuelle et de la faible densité ne résulte pas d'un phénomène spontané ou de mode, mais bien d'une politique organisée et structurée. Elle a bien entendu été rendue possible par l'existence d'une demande sociale réelle, celle des « aventuriers du quotidien » (Bidou, 1984) qui, attirés par des valeurs mythiques du milieu rural, similaires à celles que C. Ghorra-Gobin (1986, 1997a et b) a identifiées pour le cas américain, ont cherché à créer un patrimoine sûr dans l'espace périurbain tout en rejetant l'urbanisme concentrationnaire des années 1950-1970. On remarque aujourd'hui seulement que ce plaidoyer a engendré l'étalement actuel par effet cumulatif (Thompson, 1993) : « la densité n'est pas l'ennemi de la qualité de vie, mais l'étalement l'est »⁹.

1.2.2. Densité et déplacements

De surcroît, il est évident (et les quelques exemples théoriques utilisés plus haut auraient pu insister sur ce fait) que plus les densités sont faibles, plus les déplacements sont nécessaires, longs et nombreux ce qui, nous l'avons vu dans le Chapitre 1.2, correspond aux observations aujourd'hui faites par l'INRETS. On a vu également, dans le Chapitre 1.1, que la voiture individuelle a permis les faibles densités, et qu'elle est aujourd'hui une condition nécessaire au fonctionnement de ces faibles densités. Les faibles densités impliquent donc des déplacements, et l'on peut se demander quelles sont les conséquences humaines de ces déplacements quotidiens et réguliers, désormais partie intégrante de la vie des urbains. Pour F. Beaucire (Ascher, 2000), il est en effet clair que « dans une ville où l'on a remplacé la densité par la distance à parcourir, on consomme de l'énergie fossile ». Et, on a vu dans le Chapitre 1.1 que les indicateurs actuels de l'INSEE (les aires urbaines), utilisés pour appréhender les territoires urbains, reposaient fondamentalement sur le comptage des Migrations Domicile-Travail (MDT), c'est-à-dire des migrations domicile-travail qui permettent de relier la ville centre et ses périphéries. Ces migrations domicile-travail ne sont

⁹ Version originale : « *Density is not the enemy of liveability, sprawl is* » (Thompson, 1993)

en fait rien d'autre que les flux circulant sur les réseaux qui espacent les différents lieux que la ville utilise : ils sont la condition *sine qua non* de l'obligation qu'est l'espacement. On a vu également, dans le Chapitre 1.2, que le développement de ces réseaux – la réticulation – apparaissaient comme la conséquence d'une nouvelle considération des distances (les distances-temps et l'accessibilité qu'elles permettent) et la cause de perturbations notables sur le plan écologique dans les périphéries et à l'intérieur des villes. Il convient ici de voir que, **outre le fait que ces migrations sont en fait des déplacements nécessaires pour pallier le fait que deux choses ne peuvent occuper la même place, elles sont aussi une nécessité dans le cadre d'une volonté de dédensification. La faible densité demande en effet à ce que les espacements soient importants entre les lieux de la ville. Et, plus ces espacements sont importants, plus il est nécessaire de se déplacer pour les relier.**

Quitter sa commune pour travailler un comportement qui s'amplifie								TABLEAU 1.3.01	
	1999			1990			1982		
	Effectif *	Actifs (%)	Dist. Moy.** (km)	Effectif *	Actifs (%)	Dist. Moy.** (km)	Effectif *	Actifs (%)	Dist. Moy.** (km)
Pop. active occupée totale	23055202	100	n.d.	22379563	100	n.d.	21613148	100	n.d.
Actifs ayant un emploi									
Dans leur commune de résidence	9012614	39,1	n.d.	10677907	47,7	n.d.	11659149	53,9	n.d.
Hors de leur commune de résidence	14042588	60,9	15,1	11701656	52,3	14,1	9953999	46,1	13,1
Dont en France métropolitaine									
Hors du département de résidence	3550650	15,4	26,7	3068104	13,7	25,9	2654390	12,3	23,6
Hors de la région de résidence	719847	3,1	56,9	594561	2,7	61,5	448175	2,1	61,7
Dont à l'étranger	280896	1,2	n.d.	187622	0,9	n.d.	103760	0,5	n.d.
* Effectif : actifs occupés résidant en France métropolitaine ; ** Distance moyenne : actifs occupés résidant en France métropolitaine, hors frontaliers et hors distances domicile-travail supérieures à 200 km.									
Sources : Recensement Général de la Population, INSEE ; Talbot (2001)									

L'étude des MDT apparaît alors comme un excellent indicateur pour évaluer les configurations urbaines issues du processus d'étalement urbain et les espacements qui en résultent, en lien avec la recherche d'une densité faible. On constate en effet, à la lecture des fichiers Mirabelle de l'INSEE, que ces migrations ne cessent d'augmenter : d'une part, elles sont de plus en plus nombreuses, et d'autre part, elles sont de plus en plus longues, c'est-à-dire qu'elles relient des lieux de plus en plus éloignés. J. Talbot (2001) remarque à ce sujet qu'en 1999, trois actifs sur cinq travaillent hors de leur commune de résidence : le nombre de navetteurs (actifs) atteint ainsi plus de 14 millions de personnes. Parmi eux, 3,5 millions se rendent dans un autre département, et 720 000 dans une autre région (Tableau 1.3.01).

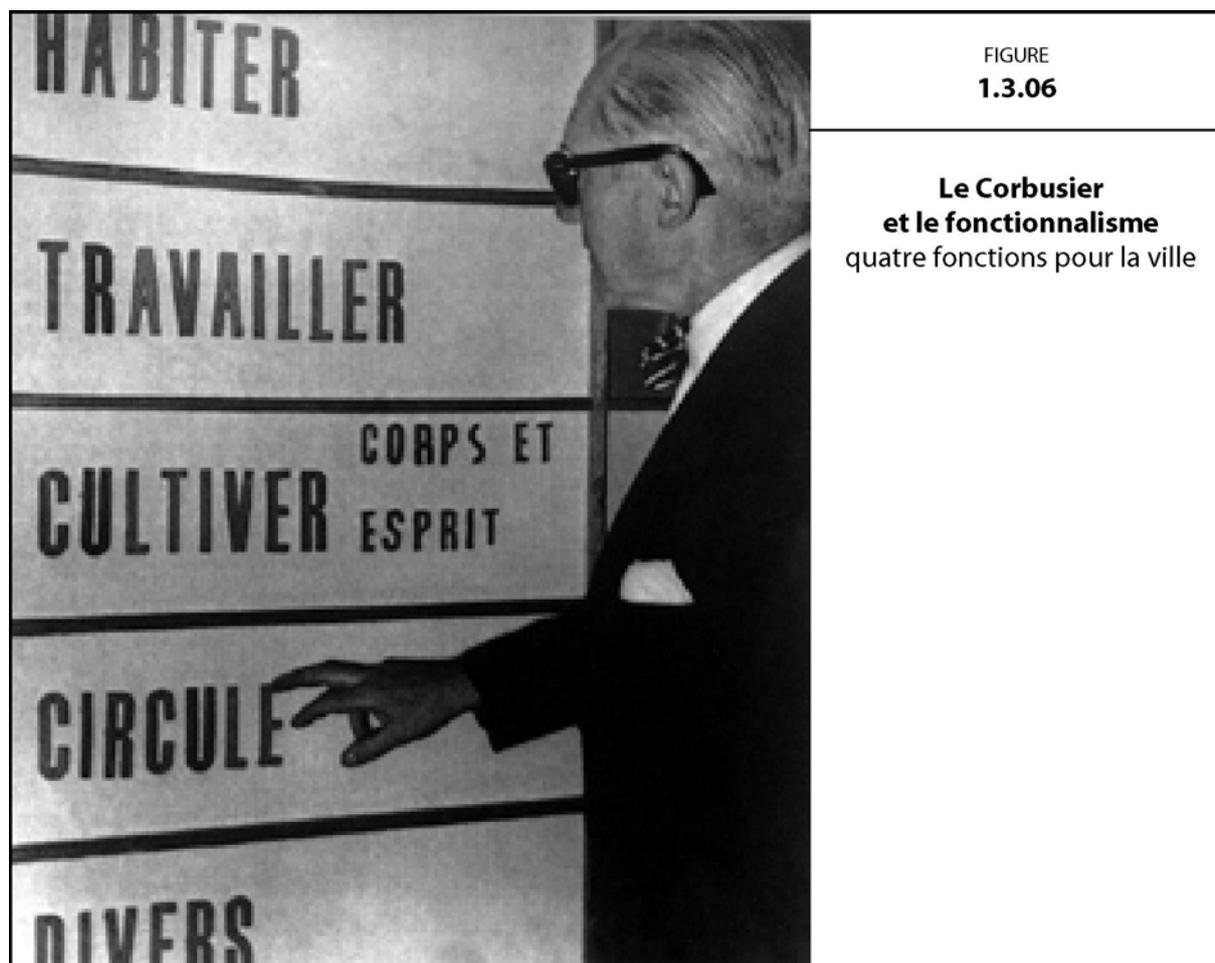


FIGURE
1.3.06

**Le Corbusier
et le fonctionnalisme**
quatre fonctions pour la ville

Au delà de ces simples considérations chiffrées, que l'on a par ailleurs déjà évoquées, on peut aussi s'intéresser aux dessins que forment ces migrations quotidiennes dans la ville. On s'aperçoit alors que de façon très majoritaire, les migrations sont centrifuges le matin et centripètes le soir, ce qui semble bien signifier que les migrants vont tous dans le même sens au même moment. On part en général de son domicile situé en périphérie le matin pour se rendre à son travail qui est au centre, et on quitte son travail qui est au centre le soir pour rentrer à son domicile en périphérie (pour savoir à quelle heure exactement du soir et du matin, on se réfèrera aux pics de congestion – celui du matin et celui du soir – relevés par l'INRETS). *A priori*, il existe donc une assez grande spécialisation de la ville qui distingue des périphéries liées aux domiciles et un centre lié au travail. De façon « automatique » l'un des objectifs prévu par la Charte d'Athènes (Le Corbusier, 1941) s'est donc réalisé : il existe bien deux villes emboîtées dans des cercles radioconcentriques, une pour travailler au centre, une pour habiter en périphérie, les deux étant reliées par une troisième ville, faite pour circuler. Si l'on y ajoute un secteur lié à la culture (du corps et de l'esprit), on retrouve alors les quatre fonctions que Le Corbusier prévoyait pour les villes, mais sans que celles-ci n'est réellement été planifiées (Figure 1.3.06).

Mais, alors même que la ville se différencie en plusieurs fonctions spécifiques, la notion de choix, et particulièrement de choix de localisation se fait de plus en plus prégnante. Il s'agit là d'une nouveauté dans l'histoire de la ville. En effet, **jusqu'à la révolution apportée par la généralisation de l'automobile individuelle, il était nécessaire, pour qui voulait habiter en ville (et quelle que soit la raison pour laquelle il voulait le faire) de s'accommoder de la densité propre à cette ville. Aujourd'hui, les choses ont changé ; l'étalement urbain illustre de nouvelles possibilités et de nouvelles configurations. En effet, en même temps que la dé-convergence espace-temps, on assiste à la dé-convergence proximité-densité : par l'intermédiaire de la réticulation et des vitesses de communication que permet la voiture, il n'est plus nécessaire de se situer en zone dense pour se situer proche de tout.** Ceci veut dire également qu'à niveau de proximité identique (celui pour lequel on a choisi d'habiter dans l'Urbain), il devient possible de choisir son niveau de densité. Et ceci introduit une réelle possibilité de zonage de la ville, qui en induit une nouvelle définition sociale, caractérisée par une dichotomie de plus en plus marquée entre le centre et les périphéries, et par une nouvelle volonté, anti-urbaine et assez inédite dans l'histoire de la ville : la volonté de sécession, de se séparer socialement du groupe tout en continuant à fonctionner avec et à l'utiliser.

2. Un changement en qualité

Ainsi, par l'intermédiaire d'un changement des quantités – la nouvelle répartition entre le centre et les périphéries permis par les déplacements quotidiens – on saisit bien que c'est en fait un changement de la ville en qualité qui se profile. Par définition, et contrairement au premier, celui-ci est difficile à quantifier, donc à évaluer. Il se traduit cependant par plusieurs facteurs faciles à lire sur les cartes urbaines de France. C'est d'abord le caractère mono-fonctionnel des périphéries urbaines, qui s'oppose à l'idée de diversité et de mixité que la ville a pourtant pu offrir. Ce sont ensuite de nouveaux comportements et de nouvelles pratiques, issus de ces nouveaux rapports, qui correspondent à de nouveaux stéréotypes dont les « navetteurs » sont la figure de proue : « Dis moi comment tu habites, je te dirais comment tu te déplaces » ironisent C. Gallez *et al.* (1998).

2.1. Un étalement mono-fonctionnel

Cette fluidité des déplacements, qui oppose ce que Z. Baumann (2000) appelle la *liquid modernity* à la *solid modernity*, s'accompagne évidemment de modifications sensibles sur la question des ségrégations urbaines, de la vie de quartier et finalement du lien social entre des territoires réticulés, c'est-à-dire sur l'ensemble des champs d'intervention de la sociologie

urbaine. **L'étalement urbain s'accompagne en effet d'une mutation démo-sociologique qui modifie très sensiblement la notion de cohésion urbaine et qui, dans certains cas, remet en cause l'unité et le sentiment d'appartenance des urbains qui partagent la même ville.**

2.1.1. Un autre zonage

En effet, si l'étalement a divisé l'espace urbain en trois couronnes (suburbaine, périurbaine et rurbaïne), il y a ajouté des caractéristiques typo-morphologiques propres, qui contribuent à disposer des formes d'habitats particuliers à des endroits eux aussi particuliers, et conduisent à l'existence de nouvelles formes de division sociale de l'espace (Berger, 1989). Ceci est une conséquence très directe de la faible densité des zones périphériques, mais on ne peut la saisir pleinement que si l'on observe, parallèlement aux types d'habitats, la composition socioprofessionnelle des populations vivant en périphérie. Habiter à faible densité en périphérie, c'est-à-dire très souvent en maison individuelle, demande généralement deux choses : 1. Avoir les moyens de louer ou dans la majorité des cas d'acheter un terrain et d'y construire une maison individuelle ; 2. Avoir les moyens d'assurer les déplacements nécessaires entre la périphérie et le centre, surtout si ce service n'est pas ou peu assuré par les transports publics, c'est-à-dire disposer d'au moins une automobile individuelle. De ceci découle qu'en partie, les périphéries de maisons individuelles sont réservées aux populations de catégories moyennes ou aisées. Une étude expérimentale réalisée par le CERTU et les agences d'urbanisme des agglomérations de Bordeaux et de Toulouse (CERTU, 2001) tente de visualiser ce phénomène par la mise au point d'indicateurs permettant de croiser, pour un logement donné, la description de ses caractéristiques avec celles de ses occupants. Un premier indicateur permet de mesurer le niveau de diversité du parc de logements en fonction de leurs statuts d'occupation et des revenus des ménages. Les suivants servent à apprécier la qualité des logements, du « grand luxe » au « très dégradé », et se complètent d'un ensemble d'indicateurs autres, tels que la taille des logements, leur coût foncier et immobilier, la part de logements collectifs, etc. A l'échelle des agglomérations de Toulouse et de Bordeaux, ces indicateurs mettent en évidence un contraste important entre des communes (dont la ville-centre caractérisées par un parc de logements locatifs occupés par des ménages à bas revenus¹⁰ d'une part, et une grande majorité de communes de banlieue et périurbaines qui présentent un parc « mono-typé » de propriétaires occupants à revenus moyens ou élevés d'autre part. Mais ces indicateurs permettent également de visualiser certains phénomènes de spécialisation entre les communes qui accueillent majoritairement des populations à faible revenus ou à revenus moyens ou élevés¹¹. On

¹⁰ Les ménages dits à bas revenus sont les ménages dont les revenus corrigés de la composition du ménage sont inférieurs à 60% du plafond d'accès aux HLM. Les ménages à revenus moyens ou élevés sont constitués des autres ménages.

¹¹ Quatre catégories sont alors utilisées (CERTU, 2001): la forte spécialisation (la catégorie dominante a un poids de 72% ou plus), la spécialisation affirmée (la catégorie dominante représente 44 à 72% des

constate ainsi une ségrégation socio-spatiale marquée puisque plus de 70% des logements de l'aire urbaine de Bordeaux sont insérés dans des communes en situation de spécialisation avérée ou forte. A Toulouse, ce chiffre dépasse 80%. Les communes fortement spécialisées sont généralement occupées par des populations à revenus moyens et élevés et se situent dans l'espace périurbain.

Ce phénomène de spécialisation est d'ailleurs très fortement appuyé par la réglementation et l'inscription des terrains sur les Plan d'Occupation des Sols (POS) : on sait que les aides gouvernementales à l'accession à la propriété privée ont largement favorisé l'émergence des lotissements pavillonnaires. Mais ce sont aussi les POS, appuyés sur les COS, et donc sur le problème des densités, qui ont également contraint le développement des périphéries urbaines à une forme particulière d'urbanisation, que certains rapprochent de la ségrégation : « La fragmentation du territoire urbain en zones exclusivement vouées à une fonction et fortement séparées les unes des autres, est un effet direct du système de *cosification* auquel se superpose un ensemble de pratiques sectorielles [...]. La sérialisation programmatique et spatiale dont sont issus les grands ensembles, centres commerciaux, mais aussi lotissements pavillonnaires, est source d'enclavement et d'exclusion, autant de problème exacerbés en situation de faible densité, qui voit se renforcer l'éloignement et l'isolement de certain quartiers. En plus d'être une manifestation du *zoning* fonctionnel même souple en vigueur, ce compartimentage de la ville est lié aux mécanismes de nivellement et d'homogénéisation par l'utilisation maximale des possibilités de COS [...] » (Clément, 1995). Pour P. Clément (1995), comme précédemment pour D. Mangin et P. Pamerai (1988), la ville est bien face à un processus d'organisation ségrégrative lié aux procédures réglementaires qui ont pour effet de « figer le tissu dans son état actuel, ou dans un état supposé idéal, d'empêcher son évolution normale et d'interdire l'exploitation des potentialités différentielles qui s'y sont peu à peu inscrites ». Cette forme de ségrégation spatiale est reconnue, partiellement comprise ou du moins prise en charge par les pouvoirs publics quand elle discrimine l'espace suburbain, particulièrement les grands ensembles collectifs, autrement dit les « cités ». Aux feux de l'actualité des villes, ces espaces désintégrés et exclus (parfois volontairement) de toute possibilité de communauté urbaine, ont fait couler suffisamment d'encre pour que l'on se passe ici d'évoquer les polémiques qu'ils soulèvent. De surcroît, ils ne présentent pas le phénomène le plus récent de la ségrégation engendrée par le processus d'étalement urbain.

Car la ségrégation spatiale se présente aujourd'hui sous une nouvelle forme, moins visible, plus nuancée, et en tous cas moins médiatisée : celle des lotissements périurbains. Ces lotissements, « de qualité architecturale et urbanistique souvent médiocre » (Ascher, 2001), témoignent eux aussi de l'opportunité des promoteurs immobiliers à utiliser la ville pour la

ménages), la dominante notable (la catégorie dominante représente 37 à 44% des ménages), et la diversité (aucune catégorie ne représente plus de 37% des ménages).

seule rente foncière qu'elle permet, en correspondance avec une économie suffisamment marchande pour que certains la vende, et suffisamment libérale pour que d'autres aient les moyens de l'acheter. Les lotissements sont nés aux États-Unis, d'une volonté de *zoning* séparant les zones d'activités des zones résidentielles, dont la maison individuelle proche de la nature incarne la morale, comme l'a décrit C. Ghorra-Gobbin (1986). À l'inverse, les logiques de localisation différentes de l'habitat et des activités engendrent aujourd'hui une « ségrégation fonctionnelle de l'espace urbain » (Tabourin, 1995). Cependant, ces espaces ségrégués se doublent de caractéristiques sociologiques qui dépassent les aspects fonciers et caractérisent un nouveau mode de vie, individualiste et opposé à la société traditionnelle et rurale, annoncé par l'École de Chicago dès les années 1920 (Grafmeyer, 1979). Réifié et symbolisé par la maison individuelle, dont la construction a été largement encouragée par les pouvoirs publics, ce mode de vie correspond lui aussi à une forme de ségrégation socio-spatiale, qui marque le « temps des camps » assez proche de l'état d'apartheid (Bindé, 2000). Les lotissements pavillonnaires semblent effectivement avoir fait sécession et fonctionner selon un schéma qui les portent aux antipodes de la ville traditionnelle : « Ce beau rêve de calme et de nature façonne souvent, dans la réalité, un mode de vie décevant pour ses habitants, coûteux pour la collectivité, laissant en legs un urbanisme médiocre et des germes de problèmes sociaux potentiels. Les habitants de ces quartiers rencontrent souvent des difficultés qu'ils n'avaient pas prévues : le manque d'équipement et l'éloignement des centres-villes compliquent la vie quotidienne. Le mode de vie assujéti à la voiture pénalise les ménages à faibles revenus ainsi que les jeunes et les personnes âgées. Dans le même temps, la construction des lotissements a contribué à dévitaliser les centres-villes en les vidant de leur population jeune, de leurs commerces et de leurs principaux services. Ni tout à fait urbain, ni tout à fait rural, le lotissement est une façon d'habiter spécifique qui réclame donc un urbanisme spécifique » (Le Moniteur).

Ce court descriptif tiré du Moniteur suffit presque à définir les lotissements pavillonnaires. Sur le plan de l'urbanisme, ils apparaissent effectivement assez spécifiques, comme en témoigne l'idée d'« urbanisme rural » (idée contradictoire en elle-même) de J.P. Pernot (1997), maire de Méry-sur-Oise : « Aujourd'hui, la réaction de ces nouveaux Mérysiens est la suivante : ce sont des gens qui sont venus à la campagne pour le côté rural de la commune, l'ensemble des plaisirs de la campagne, y compris et surtout la tranquillité et la verdure, mais qui veulent aussi tous les services de la ville dont ils bénéficiaient auparavant. Donc une clientèle difficile à satisfaire. Le message qui émane de ces nouveaux Mérysiens et des anciens compte tenu de la topologie et de la structure de la commune, c'est 'Monsieur le Maire, ne changez surtout rien sur la commune, mais améliorez tout'. Le problème qui se pose à Méry n'est plus un problème traditionnel ou classique d'urbanisation ».

On se retrouve donc, avec l'émergence de l'habitat périphérique en milieu rural issu du processus d'étalement urbain, face à une contradiction intéressante : il s'agit d'un espace qui cherche à se dégager des nuisances des villes denses, mais qui désire en avoir tous les

avantages. L'espace de l'étalement urbain est donc un espace urbain à la campagne, mais urbain seulement pour les aspects jugés positifs de la ville (services et équipements), non pour les nuisances que ces services et équipements apportent. Le processus d'étalement urbain repose donc ici sur une gageure qui apparaît comme un casse-tête pour les pouvoirs publics et semble particulièrement difficile à satisfaire sur le long terme. Il pousse donc à une certaine forme de retranchement visant à la conservation des acquis de ceux qui y ont trouvé un juste milieu, et qui se traduit concrètement par une nouvelle ségrégation empêchant la mise en place d'éléments ne correspondant pas à ces acquis. La situation apparaît donc en quelque sorte gelée, dans un contexte qui ne favorise pas la mixité en milieu périurbain, mais qui tend au contraire à l'interdire.

2.1.2. Contre la mixité

Par mixité, on entend généralement le fait de trouver un peu de tout. On parle le plus souvent de mixité sociale, pour qualifier un certain type de mélange entre des populations aux catégories socioprofessionnelles différentes, mais il est tout à fait possible aussi de parler de mixité tout court, c'est-à-dire au sens large, pour désigner des espaces sur lesquels de nombreux types d'habitats, de services, d'équipements et de personnes sont réunis. **En posant la trame d'un développement mono-fonctionnel presque exclusivement lié à l'habitat, dans un cadre peu dense, et donc réservé à certaines catégories de personnes, le processus d'étalement urbain ne permet pas la réalisation d'une mixité urbaine. Il contribue au contraire à renforcer la ségrégation, en limitant l'accès à la périphérie à un petit nombre de catégories de personnes regroupées dans des types de bâtis particuliers, auxquels correspond une mentalité, voire une philosophie elle aussi particulière et parfois ségrégative.**

L'espace des lotissements périurbains apparaît en effet strictement individualisé, souvent acquis par leurs propriétaires sur un parcellaire qui fait correspondre une unité foncière à un foyer, parfaitement limité par une série d'artifices organiques (haies) ou minéraux (murets, barrières). L'individualisme s'entend ici comme le synonyme d'un aboutissement personnel : il s'agit d'acquérir un terrain, d'y construire une maison selon ses goûts et ses envies (mais aussi en fonction des modes) pour en faire une démonstration de réussite sociale, mais en même temps une barrière à toute possibilité communautaire. Dès lors, et même s'il prend pied sur le même principe de construction, le lotissement pavillonnaire diffère de l'espace maîtrisé qu'est la cité-jardin. Au même titre que les cités, les lotissements pavillonnaires constituent donc des zones déconnectés de la ville, ou comme des sous-ensembles différenciés, qui peuvent apparaître comme une anomalie si l'on considère la ville comme un tout, unique et indissociable. Issue de l'étalement urbain et dans l'hypothèse que celui-ci se poursuive, on peut craindre, comme F. Ascher (2000) que « la dilatation des territoires

urbains risque d'augmenter les phénomènes de ségrégation par la formation de lotissements, voire de communes de plus en plus homogènes socialement » (Ascher, 2001) et contribuer de ce fait à favoriser le morcellement du territoire urbain.

Ce mode d'urbanisation, et le mode de vie qui va avec, sont en fait des imports qui traduisent l'américanisation des sociétés européennes actuelles. L'exemple outre-atlantique peut ici apparaître comme une bonne anticipation. Aux Etats-Unis, les *gated communities* apparaissent en effet comme l'asymptote des lotissements et certaines fictions télévisées ou cinématographiques n'ont pas manqué de souligner leur caractère proprement sectaire. Le terme « *gated community* » désigne en fait « des quartiers résidentiels dont l'accès est contrôlé, et dans lesquels l'espace public est privatisé. Leurs infrastructures de sécurité, généralement des murs ou grilles et une entrée gardée, protègent contre l'accès des non-résidents. Il peut s'agir de nouveaux quartiers ou de zones plus anciennes, qui se sont clôturés, et qui se sont localisés dans les zones urbaines ou périurbaines, dans les zones les plus riches comme les plus pauvres » (Blakely *et al.* 1997). Leur spécificité tient aussi au fait qu'elles concernent la périurbanisation, puisqu'elles se situent essentiellement dans les périphéries des agglomérations, et qu'elles sont généralement de construction récente. Dans ce sens, elles sont tout à fait comparables aux lotissements périurbains, mais avec ceci en plus qu'un mode de vie particulier les accompagne (Le Goix, 2001). La localisation périurbaine y apparaît en effet comme l'aboutissement, ici aussi, des valeurs philosophiques (le transcendantalisme) et religieuses protestantes propres à la société américaine (Jackson, 1985 ; Ghorra-Gobbin, 1997a et b). Mais on la retrouve ici teintée des ghettos dorés et des parcs lotis à l'européenne (le parc de Montretout à Saint-Cloud, datant de 1834, par exemple). Cette localisation permet généralement de mettre à profit simultanément un site plus ou moins prestigieux et naturel (vallée, colline, plage) et une bonne accessibilité aux principaux centres d'activités de l'agglomération. On est donc bien dans l'entre-deux, mi-ville mi-campagne ; jusqu'ici, rien de neuf. Sur le plan des modes de vie par contre, les *gated communities* apportent une nouvelle façon d'envisager l'habitat périurbain, qui prend pied sur l'idée de ségrégation et sur une volonté de sécession par rapport au reste de l'aire urbaine. R. Le Goix (2001) indique en effet que le terme *community* recouvre à la fois une signification identitaire (couleur, religion, niveau social, etc.) et une signification politique, en précisant que les liens entre les deux sont parfois indécis. Sur le plan identitaire, ce type de structure est généralement réservé aux classes moyennes et aux classes aisées, et peut parfois se fonder sur des critères d'appartenance beaucoup plus rigoureux. Au sud de Los Angeles, *Leisure World*, par exemple, est une *gated community* réservée aux plus de 55 ans ; et il est fort probable que sans les lois « anti-ségrégation » votées dans les années 1960, certaines pourraient encore exiger une appartenance raciale particulière. Cette homogénéité forte interne à la communauté close prend dans certains cas son autonomie, financière souvent (l'intégralité des frais de gestion de la clôture et des équipements intérieurs est gérée par un syndic sur un mode privé), plus rarement politique (par l'octroi de chartes municipales qui rappellent les villes libres du Moyen-Age européen, *Canyon Lake* en Californie par exemple).

Mais ce phénomène propre aux périphéries des villes américaines touche aujourd'hui le monde périurbain français. Les *gated communities* se sont exportées, autour de Toulouse, par exemple. Un article du Monde Diplomatique de novembre 2002 présente la résidence Belle Fontaine de Saint Simon, l'une des vingt résidences sécurisées de ce type que compte l'agglomération toulousaine. On reconnaît cette résidence en essayant d'y entrer : clôture, portail télécommandé, vigiles, caméras de surveillance, badges personnalisés. Ici, c'est bien la volonté de sécession avec le reste de la ville qui commande, notamment dans les quartiers défavorisés situés à proximité : « isolés à double tour du monde extérieur, les habitants de la résidence évitent les contacts directs avec ceux du Mirail. Il font ainsi leurs courses dans le supermarché Carrefour, car le magasin Géant, situé à une distance égale de leur domicile, est fréquenté par les 'misérables' du grand ensemble. *Il y a eux et nous*, confie un cadre. C'est une sorte de huis clos où personne ne se parle » (Belmessous, 2002). Cette citation d'un couple de cadres moyens (la quarantaine) est encore tirée du même article : « même si on continue à voter communiste et qu'on défend l'idée de mixité sociale, on avait besoin de s'installer dans un endroit tranquille » (Belmessous, 2002). Car, c'est bien l'idée de mixité de sociale, et plus généralement l'idée de mixité urbaine qui est en jeu par l'intermédiaire de la volonté sécessionniste.

Cependant, un certain nombre d'auteurs ont très tôt remarqué que la prolifération de ce type d'urbanisation, et les lotissements de maisons individuelles à plus forte raison que les *gated communities* (car la valeur ajoutée y est moindre), comportent à terme quelques dangers qui peuvent susciter la crainte que ceux-ci ne soient en fait des bombes à retardement. J. Landriau (1990) estime que les lotissements concentrent de nombreux handicaps qui pourraient bien entraîner des spirales de déclin irréversibles : difficultés financières des habitants, inadaptation des services à leurs nouveaux besoins, isolement, dégradation du bâti, effondrement du marché immobilier freinant la mobilité résidentielle des populations et condamnant ces espaces au vieillissement, etc. C'est donc le deuxième point commun entre les lotissements de maisons individuelles et les Zones à Urbaniser en Priorité (ZUP) qui constituent les grands ensembles collectifs et les cités : ils comportent le risque de devenir demain les nouveaux îlots de pauvreté. Des situations à haut risque sont dorénavant et déjà présentes et semblent se concentrer dans ces espaces issus de la périurbanisation et de l'étalement urbain.

2.2. La ville des navetteurs

Dans le contexte énoncé plus haut, la fin des villes, thème récurrent, semble aujourd'hui possible pour plusieurs raisons. D'abord, la ville contemporaine contient les paradoxes qui la mettent, à terme, dans une impasse de fonctionnement. Mais surtout, les moyens techniques

actuels permettent de s'en affranchir et de ne plus les utiliser que virtuellement, voire de retrouver ailleurs une nouvelle proximité qui la dépasse en efficacité. Cette considération amène rapidement à une réflexion sur la caractère peut-être nomade des villes à venir.

2.2.1. Nouvelles temporalités urbaines

La nomadisation possible des villes, c'est-à-dire par définition leur fin, s'argumente en deux axes complémentaires : les innovations techniques et les volontés de fuite. Les innovations techniques dont le rôle a été parfaitement mis en évidence par C. Marchetti (1991), ont toujours influencé la forme des villes, dispersant leur morphologie au gré des temps de déplacements (Chapitre 1.1). Avec la démocratisation « des télécommunications, du congélateur, de la vente par correspondance, en fait de toutes les commodités techniques qui, en peu de temps, ont rendu la concentration urbaine inutile » (Bauer, 1993) l'automobile en est le témoin le plus flagrant. A l'heure actuelle, il est techniquement possible que les NTIC¹² (bien que leur influence sur l'étalement soit encore controversée, certains pensant qu'il ne peut que le réduire en affranchissant l'homme de toute contraintes spatiales, d'autres au contraire, qu'il contribuera à l'augmenter) contribuent à leur offrir leur anomie. En effet, **la réticulation numérique de la majorité des informations nécessaires à l'économie et au commerce moderne instaure désormais une nouvelle donne et un nouveau fonctionnement des activités productives, qui, presque intégralement, pourraient demain s'affranchir de la proximité. Ainsi, nous disposons aujourd'hui des moyens techniques suffisant à anéantir l'idée même de la distance, et, avec elle, celle de la proximité à partir de laquelle nous avons commencé à définir la ville. En d'autres termes, les sociétés n'ont plus besoin des villes : l'outil est peut-être définitivement obsolète.**

Certes, cette perspective est caricaturale. Mais, confrontée à la réalité des migrations résidentielles, elle peut s'envisager à moyen terme. En effet, les stratégies résidentielles urbaines révèlent aujourd'hui un attrait puissant des périphéries des villes, à mettre en parallèle avec la promotion immobilière publicisée qui a permis de les construire. Inspiré de l'héliotropisme, nous proposons d'utiliser le « péricotropisme » - c'est-à-dire l'idée qu'il existe au sein des villes « une réaction d'orientation ou de locomotion » orientée vers la périphérie - comme néologisme pour qualifier ces mouvements. Cette attraction supérieure de la périphérie sur le centre, comparable à un phénomène de mode, est souvent liée à l'image lugubre et étouffée que renvoient ces derniers, et à celle, propre, verdoyante et vaste des lointaines banlieues. L'origine de la dichotomie remonte probablement à la révolution industrielle du 19^{ème} : « le nouveau modèle résidentiel de l'habitat individuel périurbain s'analyse [...] comme un résultat de la transformation des aspirations des ménages, de l'apparition de nouvelles ségrégations sociospatiales, et de la diversification des gestions locales ; l'accès à la propriété d'une maison en périphérie urbaine s'explique par le rejet d'un

¹² NTIC : Nouvelles Techniques d'Information et de Communication.

mode d'habitat antérieur : celui de l'habitat collectif de masse ». Ce mouvement parfaitement américanomorpe a d'ailleurs été théorisé par l'architecte F.L. Wright (*suburban neighborhood*) comme une répulsion de la ville dense de type européen. Dans *The Disappearing City*, F.L. Wright développe à l'extrême la logique de très faible densité propre aux villes américaines, offrant à certain endroit un acre (2,47 hectares) à chaque famille, au milieu de la nature. Ainsi, Pour G. Bauer, il n'est pas impossible que l'urbanisation des villes françaises prenne un jour la forme des *suburbias* américaines, dans lesquelles 5 américains sur 10 habitent et 7 sur 10 souhaiteraient habiter (Bauer, 1993). Il admet alors qu'outre la technique, elles résultent aussi de l'individualisme propre à ce type de société. Témoin du périurbanisme, l'enquête du Moniteur du 3 mars 2000 titre faussement « Les Français bien dans leur ville » : si trois personnes sur quatre affirment avoir choisi leur lieu de vie, 34% habitent près de la ville principale de l'agglomération et 33% dans un village périphérique. Plus des deux tiers préfèrent donc (par choix) la périphérie au centre et confortent l'existence d'une forme latente et volontaire de fuite vers les franges urbaines. Les Français sont donc mal « dans leur ville », mais bien « en périphérie » de leur ville.

2.2.2. Congestion environnementale

Mais ce qui résulte aujourd'hui également de la situation engendrée par le processus d'étalement urbain (et c'est ici encore une contradiction), **c'est que l'on est aujourd'hui plus proche de la ville quand on en reste écarté de quelques dizaines de kilomètres, car la trop forte densité des zones périphériques entraîne une congestion de l'espace et des réseaux qui annule toute proximité réelle. L'étalement est donc fortement contradictoire. Il implique un paradoxe, une crise de la proximité, une sorte de marasme proximal.** Paradoxe encore la contradiction que souligne M. Wiel (1999) entre la préférence des ménages pour la maison individuelle en périphérie et la localisation des emplois de ces mêmes actifs là où les terrains sont trop chers et trop rares pour y construire de l'habitat individuel. Au-delà d'une crise de la proximité, c'est une véritable crise de la ville qui se profile : la ville se scinde entre espaces à habiter et espaces pour travailler, mais aimerait rester toujours un seul et même objet géographique, ce qu'elle n'est même plus dans sa morphologie.

Néanmoins, ce caractère nomade de la ville de demain, aussi extrême qu'il puisse paraître, véhiculé par les NTIC (et particulièrement par la réticulation numérique) apparaît une fois de plus comme une contradiction. Car dans le même temps, il permet aussi la sédentarisation extrême. Cette idée prend alors la forme d'une annulation des déplacements, qui devient possible si l'intégralité des objets utiles à la vie et au fonctionnement professionnel peuvent transiter via les réseaux. Sans extrapoler le phénomène, on peut considérer qu'il est aujourd'hui déjà possible de minimiser ses déplacements à tous les

niveaux, en utilisant autant de services qui, dans l'optique originelle des services postaux, livrent à domicile une bonne part des informations et des fournitures nécessaires. L'ensemble de ces services peuvent en fait s'assimiler à une urbanité *software*. On retrouve ici l'un des principes fondateurs des villes, à savoir qu'il est préférable de faire venir à soi les informations et les objets nécessaires à la vie plutôt que de se déplacer pour les collecter. Mais (et ceci est probablement peu marquant pour l'utilisateur) la réticulation numérique suppose le fonctionnement de structures *hardware* qui ne peuvent se soustraire à l'idée de proximité : la machinerie indispensable à leur fonctionnement est elle aussi stratégiquement localisée en vue d'une minimisation des distances liée à la recherche d'efficacité et de gains. De ce fait, la réticulation des services n'est souvent proposée que dans les grandes agglomérations urbaines, seules à disposer au départ d'une structure *hardware* suffisamment éprouvée pour en permettre l'émergence. Le caractère nomade des unités urbaines n'est donc possible que si leur niveau de sédentarisation et de proximité est élevé, ce qui revient à dire que l'on ne peut se passer des services offerts par la ville que si il existe une ville pour que l'on puisse disposer autrement de ces services : contradiction, ici encore.

D'autre part, au-delà de l'aspect technique d'une forme urbaine possiblement nomade, un processus de re-sédentarisation des centres apparaît depuis quelques années, et témoigne d'une nouvelle recherche de proximité, qui, prenant le contre-pied de l'étalement, confirme le fond forcément sédentaire des villes. Il s'agit du processus de gentrification, défini par P. Gerber (1999) comme une « recentralisation spatiale » et une « revitalisation éco-sociologique des centres anciens des villes », concrétisé par une « infiltration de classes moyennes et/ou aisées remplaçant progressivement des catégories sociales défavorisées ». Il témoigne effectivement d'une nouvelle citadinité dans laquelle les caractéristiques résidentielles traditionnelles des quartiers s'effacent devant le symbole et l'activité particulière des centres. L'idée des localisations se fonde alors à nouveau sur la recherche d'une cohésion sociale forte, réifiée par les activités centrales, qu'elles soient culturelles ou commerciales, participant soit d'une recherche de festivité urbaine, soit d'un certain « confort d'appareillage » (Gerber, 1999). Il semble alors que le processus s'oppose à l'idée fonctionnaliste des répartitions urbaines et favorise la mixité et les possibilités de développement qui ont forgé l'âme des villes médiévales.



Sur le plan physique, on a montré dans le Chapitre 1.2 que le processus d'étalement urbain avait contribué à rassembler dans un même fonctionnement deux modes *a priori* différents, fonctionnant dans des espaces différents par nature, selon des rythmes et des temporalités décalées, avec des fonctions elles aussi différentes. En effet, l'aire urbaine apparaît faite autant de ville que de campagne, et la succession de ces couronnes liées par les mêmes réseaux montre bien que l'ensemble fonctionne comme un tout. Mais sur le plan humain, l'étude de l'étalement urbain et de ses conséquences montre justement l'inverse : alors que l'on pourrait considérer que la ville étalée correspond à un tout, on remarque qu'elle se décompose en fait en plusieurs groupes, qui correspondent à autant de communautés, qui vivent également dans leur propres espaces, selon des rythmes différents, avec des fonctions, des appartenances et des caractéristiques socioprofessionnelles particulières. On a vu que cette décomposition était pleinement permise par la réticulation et la mobilité, puisque celle-ci autorise aujourd'hui le choix d'un niveau de densité et d'un degré de proximité à la ville (et donc à la nature) dans lequel chacun désire habiter. De ceci découle une possibilité de spécialisation des différentes parties de la ville, dont le caractère mono-fonctionnelle des périphéries résultant du processus d'étalement urbain suffit à témoigner. A l'extrême, l'étalement offre alors un vecteur de ségrégation, parfaitement exploitable pour faire sécession d'avec le reste de la ville. Les *gated communities* résultent de ce processus ; elles sont de plus en plus nombreuses dans les périphéries des villes françaises. Ce constat nous permet alors d'enrichir la définition construite jusqu'ici, en ajoutant que **si l'étalement urbain apparaît comme un processus d'urbanisation particulier aux conséquences dommageables pour l'environnement, il caractérise aussi une possibilité d'éloignement spatial et social qui contribue à l'homogénéisation de certains secteurs et aux phénomènes de ségrégation qui l'accompagnent, qui vont à l'encontre de l'idée de mixité urbaine.** Les perturbations environnementale provoquées par l'étalement se doublent ainsi de perturbations sociales, et permettent de considérer les lotissements périphériques de maisons individuelles comme une forme de ségrégation volontaire (ou positive), qui peut conduire à terme à des problèmes identiques à ceux que constituent aujourd'hui les grands ensembles, dans la mesure où leur caractère monofonctionnel empêche la mise en place d'une mixité suffisante à assurer leur renouvellement. **Ainsi, alors que le précédent chapitre avait insisté sur la crise de la coalescence, celui-ci peut finalement insister sur la crise de la cohérence, puisque le processus d'étalement urbain place cette dernière dans une situation de rupture.** Il contribue à l'érosion de l'identité urbaine, c'est-à-dire à la disparition de l'idée que les habitants d'une même ville font partie du même groupe. Cette double crise - coalescence et cohérence - demande alors que de nouvelles solutions soient apportées, parmi lesquelles la nouvelle donne législative imposée par la loi SRU apparaît comme une première réponse.

Références bibliographiques

- Ascher F. Beaucire F., 2000, Tous en ville ou la ville partout ?, *Le monde des débats*, juin 2000, pp. 22-24.
- Ascher F., 2001, *Les nouveaux principes de l'urbanisme. La fin des villes n'est pas à l'ordre du jour*, Ed. de l'Aube, Tour d'Aigues, 103 pages.
- Baumann Z., 2000, *Liquid modernity*, Polity Press, 228 pages.
- Belmessous H., 2002, Des « villes privées » à la française : voyage à travers les forteresses des riches », *Le Monde Diplomatique*, novembre 2002, page 5.
- Berger M., 1989, Vers de nouveaux types de rapports villes-campagnes : la production des espaces périurbains en France et dans les pays développés d'économie libérale, *Strates*, n°4, 1989, pp. 89-106.
- Bidou C., 1984, *Les aventuriers du quotidiens. Essai sur les nouvelles classes moyennes*, Presses universitaires de France.
- Bindé J., 2000, Vers l'apartheid urbain ?, *Futuribles*, n° 253, mai 2000, pp. 61-68.
- Blakely E.J., Snyder M.G., 1997, *Fortress America, Gated Communities in the United States*, Brookings Institution Press, 209 pages.
- Bordas-Astudillo F., 1999, *Aspects cognitifs et affectifs de la densité humaine*, Thèse de doctorat, (ss. Dir. Moch A.), Laboratoire des organisation urbaines : espace, sociétés, temporalités, UMR 220, Université de Paris X-Nanterre, 271 pages.
- Calhoun J.B., 1962, Population Density and Social Pathology, *Scientific American*, 206, pp. 139-146.
- Cauvin C., 1997, Le concept de densité urbaine et son expression, In : Cauvin C., 1997, *Densités urbaines. Bâti et populations. Modèles spatiaux, images satellites et représentation*, rapport de recherche partiel, programme Densités PIR-Ville, pp. 17-26.
- Cauvin C., 2003, *Géostatistiques*, Cours de DEA, Université Louis Pasteur, Faculté de géographie et d'aménagement, 33 pages (+ figures).
- Cauvin C., Raymond H., Serradj A., 1987, *Discrétisation et représentation cartographique*, Ed. Reclus, Coll. Reclus Mode d'emploi, 116 pages.

- CERTU, 2001, *Diversité et ségrégation : des indicateurs pour la qualification de l'habitat. Application aux agglomérations de Bordeaux et Toulouse*, décembre 2001, 6 pages.
- Chombart de Lauwe P., 1959, *Famille et habitation*, Tome 1, Sciences humaines et conceptions de l'habitat, CNRS.
- DREIF, 1995, *Les déplacements des Franciliens en 1991-1992*, Enquête globale de transports, 70 pages.
- DREIF, 1996, *Les transports de voyageurs en Ile-de-France en 1994*, 110 pages.
- Fouchier V., 1998, *La densité humaine nette : un indicateur d'intensité urbaine*. In : Pumain D., Mattei M.F. (coord.), 1998, *Données urbaines 2*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 181-189.
- Gall R.O., Gove W.R., McPherson J.M., 1972, Population density and pathology : what are the relations for man ?, *Science*, 176, pp. 23-30.
- Gallez C., Orfeuill, J.P., 1998, *Dis moi où tu habites je te dirai comment tu te déplaces*, 8 pages. In : Pumain D., Mattei M.F. (coord.), 1998, *Données urbaines 2*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 157-164.
- Gerber P., 1999, Processus de gentrification et demande sociale citadine, *Revue géographique de l'Est*, n° 2-2, pp. 107-117.
- Ghorra-Gobin C., 1986, *Mythes fondateurs des villes américaines*. In : Etude Foncières, n° 31, juin 1986.
- Ghorra-Gobin C., 1997a, L'urban field américain, *Urbanisme*, n°296, sept-oct 1997.
- Ghorra-Gobin C., 1997b, *Trois hypothèses à partir de l'histoire urbaine de Los-Angeles*. In : Dubois-Taine G., Chalas Y., 1997, *La ville émergente*, Ed. de l'Aube, pp. 131-136.
- Grafmeyer Y., Joseph I., 1979, *L'école de Chicago. Naissance de l'écologie urbaine*, Ed. du Champ urbain, 335 pages.
- Hall E.T., 1978, *La dimension cachée*, Ed. du Seuil, Coll. Points, 254 pages.
- Landrieu J., 1990, Le périurbain en sursis, *Nouvelles de l'observatoire*, n°25, juin 1990, Supplément à Diagonal, n°81, pp. 2-4.
- Le Bras H., 1995, La densité a-t-elle une influence sur les comportements sociaux ? *Les annales de la recherche urbaine*, n° 67, pp. 15-22.

- Le Corbusier, 1941, 1957, *La charte d'Athènes suivi de Entretien avec les étudiants des écoles d'architecture*, Editions de Miniut, 189 pages.
- Le Goix R., 2001, Les communautés fermées dans les villes des Etats-unis. Aspects géographiques d'une sécession urbaine, *L'Espace géographique*, 2001, vol. 30, n°1, pp. 81-93.
- Le Goix R., 2002, Les gated communities à Los Angeles : morceaux de ville ou territoires à part entière, *Festival International de la Géographie*, Saint-Dié, 5 octobre 2002, n°4, pp. 328-344.
- Mangin D., Panerai P., 1988, *Le temps de la ville. L'économie raisonnée des tracés urbains*, Rapport de Recherche LADRHAUS, Ecole d'Architecture de versailles.
- Marchetti C., 1991, Voyager dans le temps. Considérations pour une meilleure exploitation de la liaison fixe, *Futuribles*, n° 156, juillet-août 1991, pp. 19-29
- Meyer A.M., 1999, *Densités urbaines : modélisation, représentations cartographiques et dynamiques temporelles*, Mémoire de DEA, Université Louis Pasteur de Strasbourg, UFR de géographie, 183 pages.
- Moch A., Bordas F., Hermand D., 1995, Approche psychosociale de la densité, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 67, juin 1995, pp. 119-127.
- Pernot J.P., 1997, Pour un "urbanisme rural". In : Dubois-Taine G., Chalas Y., 1997, *La ville émergente*, Ed. de l'Aube, pp. 113-114.
- Raux C., 1993, *Centralité, polynucléarité et étalement urbain : application au cas de l'agglomération lyonnaise*. In : Bussière Y., Bonnafous A. (ss. dir.), 1993, *Transport et Etalement Urbain : les Enjeux*, éditions du PPSH, Lyon, 1993, pp. 75-98.
- Raux C., Lhomet E., Masson S., 1996, Un modèle stratégique de simulation des déplacements urbains, 13 pages. In : *Recherche Transport Sécurité*, n° 52, pp. 31-43.
- Szegö J., 1994, *Mapping hidden dimensions of the urban scene*, Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden, 266 pages.
- Tabourin E., 1995, Les formes de l'étalement urbain. La logique du modèle de Bussière appliquée à l'agglomération lyonnaise, *Les annales de la Recherche urbaine*, Densités et espacements, n°67, juin, 1995, pp. 32-42.
- Talbot J., 2001, Les déplacements domicile-travail. De plus en plus d'actifs travaillent loin de chez eux, *INSEE Première*, n°767, avril, 2001, 4 pages.

Chapitre 1.4

Modéliser pour anticiper les nouvelles contraintes urbaines

SRU, SCoT, PLU : trois acronymes qui ont soudainement envahi le monde de l'aménagement et qui ont obligé la plupart des acteurs en charge d'urbanisme réglementaire à suivre des formations pour assimiler ce que pouvaient signifier ces quelques lettres destinées à révolutionner le monde de l'urbanisme. La loi relative à la Solidarité et au Renouvellement Urbain (loi SRU) a en effet substitué les Schémas de Cohérence Territoriaux (SCoT, que dans un premier temps on a souvent appelé SCT) aux anciens Schémas Directeurs à l'Aménagement et à l'Urbanisme (SDAU), et les Plan Locaux d'Urbanisme (PLU) aux anciens Plan d'Occupation du Sol (POS). La réforme n'est pas qu'une réforme de nom ; elle vise à modifier en substance l'ensemble des documents sur lesquels l'intervention et la réflexion d'aménagement et d'urbanisme peuvent se fonder. La première question que l'on peut se poser à la lecture de cette nouvelle loi peut être de se demander « pourquoi ? ». Pourquoi avoir changé ces documents qui existaient déjà ? Depuis longtemps, en effet, la France était équipée d'une série de documents réglementaires aux objectifs très précis dont presque toutes les communes (au moins les plus importantes) étaient contraintes de se doter. La deuxième question que pose la modification de la loi et l'apparition des SCoT et des PLU consiste à se demander « comment ? ». Comment a-t-on modifié ces documents d'urbanisme ? Quel sens nouveau leur a-t-on donné ? Parallèlement, on peut se demander si ils sont réellement nouveaux, ou si, sous le vernis du nom et de l'acronyme, ce n'est pas substantiellement la même chose qui ressort avec un nom différent. « Solidarité et Renouvellement Urbain » sont en fait trois mots qui prennent leur sens dans un contexte particulier ; ils visent non seulement à dépoussiérer des documents dont la mise en forme ne

correspondait plus à la manière dont l'urbanisme était pratiqué, mais également à inspirer une dynamique nouvelle dans la constitution de ces documents. C'est surtout sur cette dynamique nouvelle qu'il faut mettre l'accent, car elle correspond à un nouvel état d'esprit qui précède la mise en place de la documentation réglementaire. **La loi SRU est née du constat que la prégnance de l'étalement urbain et ses conséquences sur la coalescence et la cohérence urbaine nécessitent qu'une réforme se fasse.** Centrée sur l'idée de projet, elle offre aujourd'hui des outils pour lutter contre l'étalement urbain. Implicitement, elle vise en effet à reconstruire la ville sur elle-même (sans l'étaler davantage) et à favoriser la mixité urbaine (en imposant aux communes un parc important de logements locatifs). Ainsi, la loi SRU apparaît comme la réponse législative aux problèmes que pose l'étalement urbain. Elle témoigne à la fois d'une prise de conscience et d'une volonté de lutte, qui prennent leur source au niveau international et s'inspirent des préconisations qu'ont su insuffler la notion de développement durable et, plus spécifiquement, celle de gouvernance.

1. De la ville-outil à la ville-machine

Le processus d'étalement urbain n'est pas sans conséquences sur le fonctionnement des villes. Il affecte directement ses possibilités de continuation et de développement sur le plan de la coalescence (cf. Chapitre 1.2) et interroge sur la question de la cohérence urbaine (cf. Chapitre 1.3). L'étalement urbain introduit également des mutations profondes dans la structure fonctionnelle des aires urbaines. De l'outil qu'elle était, la ville devient en quelque sorte une machine, plus complexe, avec de nouveaux rapports aux hommes qui l'utilisent, et dans lesquels les anciennes recettes de l'urbanisme deviennent obsolètes, comme dépassées par les événements, dont on est de plus en plus conscients qu'ils sont eux-mêmes de moins en moins prévisibles et certains.

1.1. L'obsolescence des outils d'urbanisme

Pour faire face à cette obsolescence, la réglementation, la gestion technique, ou l'approche statistique de la ville ont évolué. Les lois Chevènement et Voynet, l'émergence des agences d'urbanisme, le zonage en aires urbaines de l'INSEE, sont autant d'éléments qui permettent une nouvelle appréhension de la ville et de son fonctionnement (Cf. Chapitre 1.1). A un autre niveau, ils sont aujourd'hui relayés par **une nouvelle façon de concevoir les villes, à la fois plus souple et plus complexe. Elle prend pied sur deux notions, relativement importantes et nouvelles : le développement durable et la gouvernance. En France, elles trouvent leur adaptation juridique dans une nouvelle loi, la loi relative à la Solidarité et au**

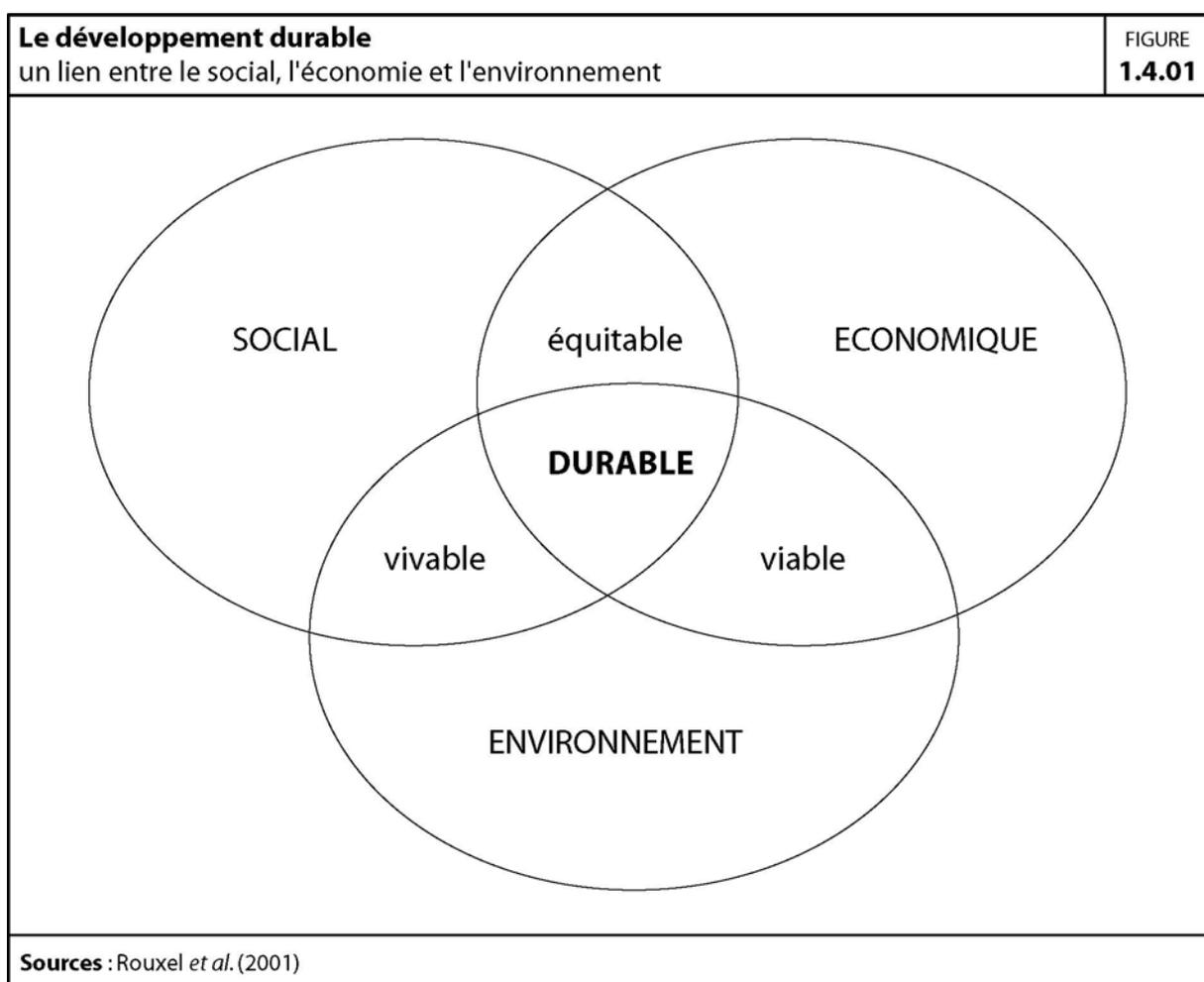
Renouvellement Urbain (loi SRU), dont l'entrée en application au 1^{er} janvier 2000, contribue à poser la question de la complexité urbaine aux professionnels de l'urbanisme.

1.1.1. La notion de développement durable

L'idée de développement durable part du principe que la conquête humaine du monde, et l'urbanisation en particulier, peut devenir une menace pour la nature et pour l'homme lui-même. Cette menace peut résulter de l'action consciente de l'homme, mais parfois également de l'ignorance qu'il a des conséquences de son action. Le développement durable pose donc la question de l'ignorance et tente de mettre en garde contre ce que nous ne savons pas. Mais en réalité, l'expression « développement durable » apparaît comme la « mauvaise » traduction de l'anglais *sustainable development*. *Sustainable* ne signifie pas exactement durable, mais plutôt durable *et* soutenable, pour qualifier quelque chose qui peut durer sans que sa durée, justement, ne porte préjudice à lui-même ou à autrui. **Le développement durable repose alors sur trois grands principes, afin d'éviter une situation qui, à terme, pourrait se révéler insoutenable : 1. Le développement économique d'abord, qui organise la production des richesses et crée les conditions de la prospérité ; 2. La cohésion sociale, ensuite, qui passe par la solidarité et qui permet une répartition équitable des richesses produites ; 3. La protection de l'environnement, enfin, qui permet de ménager les ressources dont nous disposons et d'assurer la pérennité du monde dans lequel nous vivons** (FNAU, 2001). L'échelle du développement durable se compose donc de deux axes, un spatial et un temporel : il s'agit à la fois d'articuler le local et le global, le court terme et le long terme. Partant de là, le développement durable propose d'opérer un changement structurel pour anticiper et innover avec pragmatisme dans des domaines très différents et interconnectés : la cohésion sociale, les effets de l'urbanisation, la production énergétique, les ressources, etc. La FNAU (Rouxel *et al.*, 2001) propose un schéma intéressant qui résume l'idée de développement durable en une série d'ensembles interconnectés : ces ensembles ont une signification deux à deux (équitable, vivable, viable) ; pris en totalité, ils définissent le développement durable (Figure 1.4.01). Mais, si ces grandes lignes ont été débattues et acceptées de façon assez volontaire au niveau international durant les conférences de Rio en 1992 et d'Aalborg en 1994¹, elles posent aujourd'hui plus de questions qu'elles n'apportent

¹ En 1992, le Sommet de la Terre (Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement, CNUED) s'est intéressé au thème du développement durable pour montrer son ambition de lutte contre la dégradation de l'environnement. En 1994, à Aalborg (Danemark), la première conférence européenne des villes durables a invité les collectivités locales à signer une charte engageant à œuvrer en faveur d'un développement durable sur leur territoire. Ces deux conférences marquent un tournant important pour la considération du développement durable, particulièrement au niveau urbain. Mais elles ne sont pas les seules à en faire un mot d'ordre général au niveau mondial. On pourrait citer encore la conférence de Stockholm en 1972 (1^{ère} rencontre internationale sur l'environnement naturel de l'homme) durant laquelle la notion d'écodéveloppement apparaît pour la première fois, puis, en 1987, le rapport Brundtland (intitulé *Notre avenir à tous*) issu des travaux de la CNUED, qui officialise le terme de développement durable. L'idée est ensuite reprise de façon

de réponse. Car, le développement durable n'est qu'une consigne, une idée, qui ne se traduit pas directement dans la pratique : « si les enjeux du développement durable sont à peu près aujourd'hui reconnus par tous, il reste encore mal aisé, pour nombre d'élus et de professionnels, d'en saisir toutes les implications et d'en identifier les moyens de mise en œuvre » (FNAU, 2001). Ceci contribue à complexifier la problématique de l'urbanisme et rend son exercice très délicat. Face aux nouveaux enjeux de l'urbanisme et aux problèmes de l'étalement urbain, les outils classiques apparaissent ici aussi obsolètes.



Dans le rapport Brundtland (en 1987), on lit que « le développement durable est le développement qui satisfait les besoins de la génération actuelle sans priver les générations futures de satisfaire leurs propres besoins ». L'ICLEI (*International Council for Local*

systematique : en 1990 (déclaration de Toronto sur les villes mondiales au cours desquelles 130 villes s'engagent à mettre au point des plans d'écodéveloppement), en 1992 (Traité de Maastricht), en 1993 (5^{ème} programme communautaire en matière d'environnement, qui titre *Vers un développement soutenable*), en 1996 (2^{ème} conférence européenne des villes durables à Lisbonne et Sommet Habitat II à Istanbul), en 1997 (Earth Summit review à New-York), en 1998 (Forum urbain de la commission européenne à Viennes), en 2000 (3^{ème} conférence européenne des villes durables à Hanovre).

Environmental Initiatives) propose rapidement une définition plus pratique et applicable dans les régions urbaines d'Europe : « le développement durable est le développement qui procure des services économiques, sociaux et environnementaux fondamentaux à tous les habitants d'une commune sans compromettre la viabilité des systèmes naturels, immobiliers et sociaux dont dépend la fourniture des services ».

Le développement durable un lien entre le social, l'économie et l'environnement				FIGURE 1.4.02a
Objectifs	Thématiques	Questions principales	Paramètres	Indicateurs
Économiser et valoriser ses ressources	Organisation de la gestion des ressources	<ul style="list-style-type: none"> • Existe-t-il une organisation de la gestion des ressources ? 	Structures permanentes de gestion et de surveillance	<ul style="list-style-type: none"> • Observatoires
	Économie d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Cherche-t-on à promouvoir les énergies douces ? 	Utilisation d'énergies alternatives pour les transports Valorisation énergétique	<ul style="list-style-type: none"> • Parc de véhicules électriques ou roulant aux biocarburants • Réseau de distribution de chaleur
	Développement des transports collectifs	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle est la politique de la collectivité locale en matière de transports publics ? 	Réseau de transports en commun Gestion du stationnement des véhicules	<ul style="list-style-type: none"> • Linéaire et fréquence des bus • Transports en site propre • Parkings-relais
	Économie des gisements de granulats	<ul style="list-style-type: none"> • Les matériaux recyclables sont-ils utilisés ? 	Gestion des déchets de chantier Exploitation des ressources	<ul style="list-style-type: none"> • Recours aux matériaux de substitution • Durée de concession • Remise en état du milieu
	Gestion de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Le cycle de l'eau est-il pris en compte dans l'aménagement ? 	Conception et gestion du réseau d'assainissement Érosion des sols	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation municipale • Couloirs de ruissellement

Sources : Rouxel *et al.* (2001)

On saisit alors la communication que M.J. Breheny présente à l'*International Symposium on Urban Planning* à Seattle (en 1994) et qui insiste sur le lien nécessaire entre ces nouveaux impératifs environnementaux et l'action planificatrice de l'urbanisme : la planification de la capacité de l'environnement exige que l'on détermine le niveau maximal de développement qu'un milieu local (ville ou région) peut supporter indéfiniment, tout en sauvegardant un capital naturel déterminant et constant et un capital culturel précieux dans l'environnement ». Au niveau français, la commission de développement durable, qui fait le lien entre les orientations correspondant aux objectifs pris dans les conférences internationales et les acteurs territoriaux locaux, définit la ville durable comme une ville : « dont les habitants disposent des moyens d'agir pour qu'elle soit organisée et fonctionne

dans des conditions politiques, institutionnelles, sociales et culturelles satisfaisantes pour eux et équitables pour tous ; - dont le fonctionnement et la dynamique satisfont à des objectifs de sécurité des conditions biologiques de vie, de qualité des milieux et de limitation des conditions de ressources ; - qui ne compromet ni le renouvellement des ressources naturelles alentours, ni le fonctionnement, les relations et la dynamique des écosystèmes microrégionaux englobant, ni enfin les grands équilibres régionaux et planétaires indispensables au développement durable des autres communautés ; - et qui s'attache à préserver les capacités de vie et les potentialités de choix des générations futures ».

Le développement durable un lien entre le social, l'économie et l'environnement (suite)				FIGURE 1.4.02b
Objectifs	Thématiques	Questions principales	Paramètres	Indicateurs
Économiser et valoriser les ressources (suite)	Valorisation des déchets	<ul style="list-style-type: none"> • Le cycle des déchets permet-il une valorisation de la ressource ? 	Valorisation économique Valorisation énergétique	<ul style="list-style-type: none"> • Unités de compostage • Réseau de déchetteries
	Maîtrise de la consommation de l'espace	<ul style="list-style-type: none"> • Y a-t-il une politique foncière visant à limiter l'étalement urbain ? 	Marché foncier et de l'immobilier Politiques publiques de gestion foncière Densité de l'espace urbain	<ul style="list-style-type: none"> • Valeurs foncières • Vacance, stock de bureaux • Surface et localisation des zones NA • Répartition de la propriété foncière • ZAC • Réserves foncières • Friches, « dents creuses » • COS en zone U, logements/ha en zone NA
	Protection des milieux naturels	<ul style="list-style-type: none"> • A-t-on préservé des espaces naturels dans le tissu urbanisé ? • Se pose-t-il des problèmes d'érosion des sols ? 	Capacité d'accueil du site Biodiversité de la faune et de la flore Corridors écologiques Risques géologiques Activités de creusement	<ul style="list-style-type: none"> • Déchets induits • Pollutions émises • Espèces indigènes • Aménagement de berges • Géomorphologie • Carrières et gravières
Sources : Rouxel <i>et al.</i> (2001)				

Les objectifs du développement durable se déclinent ainsi à la fois sur le plan de la coalescence et de la cohérence urbaines, comme en témoignent les propositions de la FNAU, faites respectivement pour « veiller à l'utilisation économique et valorisante des ressources », pour « faciliter l'intégrations urbaine des populations », et pour « organiser la gestion des territoires (Figure 1.4.02 a et b, 1.4.03 et 1.4.04)². Cette série de schémas propose de **bien séparer les différentes étapes d'une démarche globale, de la compréhension de la question**

² Nous ne reprenons que trois des treize propositions de la FNAU (2001).

Objectif du développement durable Economiser et valoriser les ressources				FIGURE 1.4.03
Objectifs	Thématiques	Questions principales	Paramètres	Indicateurs
Économiser et valoriser ses ressources	Organisation de la gestion des ressources	<ul style="list-style-type: none"> • Existe-t-il une organisation de la gestion des ressources ? 	Structures permanentes de gestion et de surveillance	<ul style="list-style-type: none"> • Observatoires
	Économie d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Cherche-t-on à promouvoir les énergies douces ? 	Utilisation d'énergies alternatives pour les transports Valorisation énergétique	<ul style="list-style-type: none"> • Parc de véhicules électriques ou roulant aux biocarburants • Réseau de distribution de chaleur
	Développement des transports collectifs	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle est la politique de la collectivité locale en matière de transports publics ? 	Réseau de transports en commun Gestion du stationnement des véhicules	<ul style="list-style-type: none"> • Linéaire et fréquence des bus • Transports en site propre • Parkings-relais
	Économie des gisements de granulats	<ul style="list-style-type: none"> • Les matériaux recyclables sont-ils utilisés ? 	Gestion des déchets de chantier Exploitation des ressources	<ul style="list-style-type: none"> • Recours aux matériaux de substitution • Durée de concession • Remise en état du milieu
	Gestion de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Le cycle de l'eau est-il pris en compte dans l'aménagement ? 	Conception et gestion du réseau d'assainissement Érosion des sols	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation municipale • Couloirs de ruissellement
Sources : Rouxel <i>et al.</i> (2001)				

à la construction de la problématique, de l'état des lieux au diagnostic, des propositions à la mise en place d'indicateurs de suivi. Ces objectifs ne peuvent néanmoins être atteints que s'ils s'opèrent avec transversalité : ils obligent à solliciter d'autres compétences et à « casser » les logiques sectorielles. En 1998, à Bordeaux, la 19^{ème} rencontre des Agences d'urbanisme a porté sur le thème des transports et des stratégies de développement urbain.

Elle a notamment mis l'accent sur le fait que l'actuelle « mobilité débridée » (FNAU, 2001) permise par l'automobile individuelle a des effets négatifs suffisamment connus (gaspillage de l'espace, inégalités sociales, etc.) qui vont à l'encontre des objectifs du développement durable. Les débats évoqués lors de la rencontre ont mis en avant la vertu possible d'une planification urbaine qui s'articulerait étroitement avec celle des transports. La pertinence des échelles territoriales a alors été remise en question, tant au niveau des projets qu'au niveau des contrats qui en permettent la mise en œuvre. Chacun s'est ensuite accordé à souhaiter une meilleure coordination des politiques sectorielles au niveau local (transports, équipements, habitat, services, etc.). Les Schémas de Cohérence Territoriale (SCoT), nouveaux documents-mères de la planification urbaine, proposés en 2000 par la loi relative à

la Solidarité et au Renouvellement Urbain (SRU) sont en partie nés des échanges de

Objectif du développement durable				FIGURE
Organiser la gestion des territoires				1.4.04
Objectifs	Thématiques	Questions principales	Paramètres	Indicateurs
Organiser la gestion des territoires	Développement de l'intercommunalité	<ul style="list-style-type: none"> • Existe-t-il une structure intercommunale d'aménagement ? Quelles sont les missions qui lui sont dévolues ? • Y a-t-il une répartition de la fiscalité locale ? 	Structures inter-communales Compétences	<ul style="list-style-type: none"> • Périètre d'intervention • Aménagement et urbanisme
	Planification et gestion intégrée	<ul style="list-style-type: none"> • Existe-t-il des documents de planification et des documents contractuels permettant d'avoir une vision prospective ? 	Recettes fiscales Cohérence des documents d'urbanisme Évaluations et suivi	<ul style="list-style-type: none"> • Péréquation de la taxe professionnelle • Schéma directeur • Observatoires
	Rationalisation de l'investissement, des coûts de maintenance	<ul style="list-style-type: none"> • Y a-t-il un suivi et une évaluation de la décision ? • Les investissements ont-ils le meilleur effet coûts/produits ? Les coûts de fonctionnement sont-ils pris en compte ? 	Tableaux de bord Efficacité économique Efficacité sociale Coûts de gestion	<ul style="list-style-type: none"> • Variables qualitatives • Fréquence de la mise à jour • Retour sur investissement • Satisfaction des usagers • Inscription des frais d'entretien
Sources : Rouxel <i>et al.</i> (2001)				

Bordeaux.

1.1.2. La loi SRU, les SCoT et les PLU

La loi relative à la Solidarité et au Renouvellement Urbain, dite loi SRU, propose aux collectivités locales d'harmoniser à l'échelle des aires urbaines leurs politiques d'aménagement et de développement grâce à des Schémas de Cohérence Territoriaux (SCoT). Ces schémas ont pour but de mieux articuler les politiques d'urbanisme pensées jusque là de façon sectorielle (déplacements, logements, etc.) en pensant l'aménagement de la ville de façon intégrée. Ainsi, si la loi Chevènement a une vision essentiellement juridico-fiscale de l'agglomération visant à doter les institutions communales des moyens leur permettant de mettre en place une stratégie de développement, si la loi Voynet définit sa vision de l'agglomération en insistant sur le projet et sur le contrat, la loi SRU procède quant à elle de logiques spécifiques aux diverses conceptions de l'équipement urbain et préfigure une géométrie variable de la ville, en fonction des secteurs de compétence concernés³. Considérées ensemble, ces trois lois nouvelles témoignent de l'importance prise par le fait urbain dans l'espace français et de l'inadéquation des cadres techniques et institutionnels

³ En fait, si la notion d'agglomération apparaît dans chacune des trois lois, elle y revêt une acceptation spécifique, mettant en jeu des concepts, des réalités et des périmètres passablement différents d'une loi à l'autre.

traditionnels pour répondre aux nouveaux besoins du développement territorial. **Les SCoT proposés par la loi SRU apparaissent alors comme l'outil privilégié de la planification urbaine et s'envisagent comme une solution réglementaire aux problèmes de l'étalement urbain. Il s'agit alors de contrecarrer la grande consommation d'espace urbain actuellement observée, et les problèmes de capacité physique liés à l'étalement urbain en cours, c'est-à-dire de considérer les villes sur le plan de la coalescence. Mais, il s'agit également de considérer le problème de la mixité sociale en proposant une nouvelle adéquation entre le niveau de revenu des populations et l'implantation de logements sociaux afin d'homogénéiser les différences observées entre le centre (dans lequel les revenus par habitant sont généralement plus faibles) et la périphérie, c'est-à-dire de considérer également le développement des villes sur le plan de la cohérence urbaine.** D'évidence, cette double prise en compte (coalescence et cohérence urbaines) s'appuie sur la notion de développement durable, en reprenant chacun des trois points qu'il comprend, mais en insistant surtout sur les deux derniers : la cohésion sociale et la protection de l'environnement.

L'article L.121-1 du Code de l'Urbanisme définit en effet les principes du SCoT autour de trois axes : l'équilibre urbain-rural, la diversité des fonctions urbaines et la mixité sociale, le respect de l'environnement : « Les schémas de cohérence territoriale, les plans locaux d'urbanisme et les cartes communales⁴ déterminent les conditions permettant d'assurer : 1. L'équilibre entre le renouvellement urbain, un développement urbain maîtrisé, le développement de l'espace rural, d'une part, et la préservation des espaces affectés aux activités agricoles et forestières et la protection des espaces naturels et des paysages, d'autre part, en respectant les objectifs de développement durable ; 2. La diversité des fonctions urbaines et la mixité sociale dans l'habitat urbain et dans l'habitat rural, en prévoyant des capacités de construction et de réhabilitation suffisantes pour la satisfaction, sans discrimination, des besoins présents et futurs en matière d'habitat, d'activités économiques, notamment commerciales, d'activités sportives ou culturelles et d'intérêt général ainsi que d'équipements publics, en tenant compte en particulier de l'équilibre entre emploi et habitat ainsi que des moyens de transport et de la gestion des eaux ; 3. Une utilisation économe et équilibrée des espaces naturels, urbains, périurbains et ruraux, la maîtrise des besoins de déplacement et de la circulation automobile, la préservation de la qualité de l'air, de l'eau, du sol et du sous-sol, des écosystèmes, des espaces verts, des milieux, sites et paysages naturels ou urbains, la réduction des nuisances sonores, la sauvegarde des ensembles urbains remarquables et du patrimoine bâti, la prévention des risques prévisibles, des risques technologiques, des pollutions et des nuisances de toute nature ».

⁴ Carte communale : avec la loi SRU, la carte communale devient un véritable document d'urbanisme adapté aux petites communes pour lesquelles l'établissement d'un plan local d'urbanisme (PLU) n'est pas une nécessité tout en laissant aux maires des communes rurales la responsabilité en matière de délivrance des autorisations d'utilisation et d'occupation du sol.

On saisit donc bien, que ce texte, orienté tous azimuts (économie, habitat, social, transports et déplacements, écologie, équipements, etc.), demande à ce que l'on réfléchisse au devenir des territoires urbains, afin de les mettre en adéquation avec un certain nombre de principes qui devraient permettre de réduire, ou au moins de ne pas augmenter, les dysfonctionnements que la ville d'aujourd'hui connaît. Il s'agit donc, par l'intermédiaire des SCoT, de prévoir les grandes lignes des villes de demain, en s'appuyant sur un diagnostic, un projet d'aménagement et de développement durable, en fixant les orientations générales qui détermineront les grands équilibres. C'est ce que souligne l'article L. 122-1 : « Les schémas de cohérence territoriale exposent le diagnostic établi au regard des prévisions économiques et démographiques et des besoins répertoriés en matière de développement économique, d'aménagement de l'espace, d'environnement, d'équilibre social de l'habitat, de transport, d'équipements et de services. Ils présentent le projet d'aménagement et de développement durable retenu, qui fixe les objectifs des politiques publiques d'urbanisme en matière d'habitat, de développement économique, de loisirs, de déplacements des personnes et des marchandises, de stationnement des véhicules et de régulation du trafic automobile. Pour mettre en œuvre le projet d'aménagement et de développement durable retenu, ils fixent, dans le respect des équilibres résultant des principes énoncés aux articles L. 110 et L. 121-1, les orientations générales de l'organisation de l'espace et de la restructuration des espaces urbanisés et déterminent les grands équilibres entre les espaces urbains et à urbaniser et les espaces naturels et agricoles ou forestiers. Ils apprécient les indices prévisibles de ces orientations sur l'environnement ».

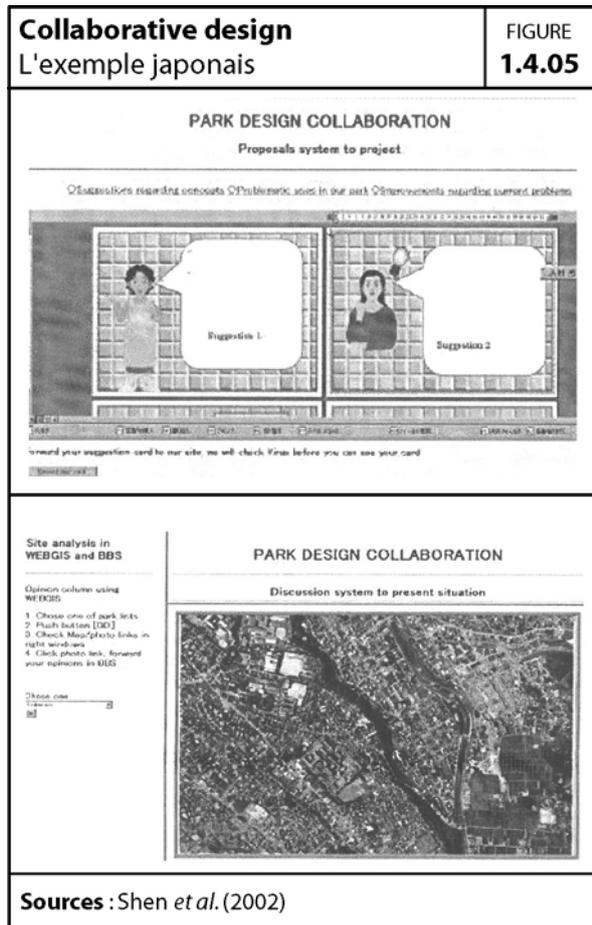
Mais, si la loi SRU a introduit les SCoT comme nouveaux documents-mères de l'urbanisme réglementaire au niveau des agglomérations ou des aires urbaines, elle a également procédé à d'importantes modifications au niveau communal, en remplaçant les anciens Plan d'Occupation du Sol (POS) par des Plan Locaux d'Urbanisme (PLU). L'origine des PLU fait elle aussi la part belle au développement durable. En effet, entre les POS et les Plu, il n'y a pas seulement un changement de nom, mais bel et bien une réforme profonde visant à rénover le contenu et les pratiques attachés à ce type de documents. **Car si le POS était simplement un outil de gestion de l'espace, les PLU, même s'ils conservent ce rôle, expriment prioritairement un projet d'aménagement et de développement durable. Il renversent donc la vision essentiellement passive de la planification qu'exprimaient les POS au travers du simple contrôle de l'occupation du sol, en proposant une démarche positive avec l'expression d'un projet qui permet d'utiliser le droit de l'urbanisme pour une planification stratégique.** Cette nouvelle vision des choses est relayée par une seconde idée : la gouvernance.

1.1.3. L'idée de gouvernance

Ainsi, si la réglementation et les nouvelles pratiques de l'urbanisme que commande la mise en application de la loi SRU, les SCoT et les PLU sont indissociables de la notion de développement durable, elle ne peut se détacher non plus de la mise en interaction de l'ensemble des acteurs concernés par elle, de celui qui légifère à celui qui subit la législation pour opérer. Cette mise en interaction prévue dans la loi, apparaît comme la réponse légale à des notions identifiées préalablement par les sociologues ou dans le monde de l'entreprise. C'est notamment l'idée de modernisation réflexive et celle de gouvernance.

La « modernisation réflexive » (*reflexive modernization* ; Beck *et al.*, 1994) se caractérise par le fait que les pratiques sociales sont systématiquement en cours de révision, c'est-à-dire qu'elles évoluent en même temps qu'elles se fabriquent. Il existe un dialogue constant entre tous les acteurs de la société, qui se répondent et qui construisent ensemble, comme dans un jeu de miroir. Dans ce contexte, les recettes établies dans la pratique de l'urbanisme ne trouvent plus d'intérêt autre que celui de poser les bases pour une réflexion nouvelle et particulière, adaptées aux cas, eux aussi nouveaux et particuliers, auxquels elles sont confrontées : elles nourrissent simplement le dialogue. C'est ensuite une réflexion spécifique qui remplace peu à peu l'expérience ou le savoir opératoire déjà constitué, pour mieux correspondre à une situation rendue plus complexe par les nouvelles pratiques qui l'ont mise en place. La complexification des rapports sociaux, notamment la réflexivité acteur-habitants, rend donc plus compliquée la pratique de l'urbanisme et a nécessité la mise en place de nouveaux outils, ou au moins de nouveaux principes pour rendre compte de ces nouvelles formes de dialogue qui précèdent un projet de développement ou d'aménagement. Parmi ces principes, la gouvernance fait partie des bonnes volontés.

Le mot gouvernance est un emprunt à l'anglais *governance*, apparu pour la première fois en 1471 en Angleterre pour désigner un régime politique. Tombé en désuétude, *governance* réapparaît en 1937 quand l'économiste américain R. Coase l'utilise pour désigner les modes de coordination internes à l'entreprise. A la fin des années 1970, des chercheurs anglais en science politique importent la notion sous la forme *de urban governance* à l'occasion d'une étude qu'ils réalisent sur le thème de la recomposition du pouvoir local face aux réformes tatchériennes. La notion de *good governance* est reprise par la Banque mondiale dans son rapport de 1989. Celui-ci souligne que les programmes économiques mis en place dans les pays en voie de développement seront voués à l'échec tant qu'il n'existera pas des institutions et un mode de fonctionnement politique pour les mettre en œuvre localement. Le mot est ensuite transposé aux villes dans les années 1990 et certains voient dans la gouvernance urbaine un moyen d'assurer la cohésion d'un territoire.



L'émergence de la gouvernance et plus généralement de la notion d'implication (consultation et participation) de la population dans les projets locaux, témoigne d'une nouvelle volonté, celle de limiter les risques liés à un éventuel échec de construction ou d'urbanisme. Les technologies de l'information et de la communication profitent d'ailleurs à ces nouveaux dialogues, et l'on voit naître, aux Pays-Bas (Stouffs, 2002), comme au Japon (Shen, 2002), des sites Internet consacrés au *collaborative design*, qui permettent de réunir autour d'un projet interactif les constructeurs et les potentiels acheteurs ou habitants de nouveaux quartiers entièrement construits sur ce mode réflexif. Le principe du *collaborative design* consiste à utiliser Internet pour réunir autour d'une même plate-forme (à travers des simulations en réalité virtuelle) tous les acteurs qui participent de près ou de loin à l'élaboration d'un projet d'urbanisme. A chaque phase du

projet, chacun peut alors intervenir et donner son opinion pour influencer la tournure des événements (Figure 1.4.05). Le projet se modifie donc en permanence, en s'enrichissant de l'avis des décideurs et des futurs usagers. Car, à l'heure actuelle, le projet n'est pas seulement plus complexe à cause de la complexification de la ville ; il est aussi lié au principe de précaution. On connaît aujourd'hui les méfaits d'une mauvaise politique urbanistique, qui montrent bien qu'en matière d'urbanisme comme ailleurs, le risque zéro n'existe pas : la ville paye maintenant le prix de l'engouement trop hâtif qu'elle a eu il y a une vingtaine d'année pour des solutions urbanistiques qui se sont révélées catastrophiques à long terme. On prendra, juste pour les citer, l'exemple du tout-voiture, et celui des opérations d'*open planning* à l'origine des grands ensembles, sources de nombreux problèmes sociaux urbains. Ils ont montré que l'urbanisme n'est pas sans risque et que ses problèmes, aux conséquences parfois contre intuitives doivent se résoudre par l'intermédiaire d'un dialogue permanent, pour que personne n'ait à en endosser la responsabilité à part entière. Compte tenu de cela, on sourit forcément (voire pour certains on rit jaune) en lisant le titre du livre de F. Ascher (2001) : « Ces événements nous dépassent, feignons d'en être les organisateurs ».

La gouvernance apparaît néanmoins comme une forme de crise de la démocratie, et fait aujourd’hui grincer les dents de certains élus. D’une part en effet, comme l’exprime F. Ascher (2001), elle prend pied sur l’aveu de l’ignorance des autorités normalement compétentes. D’autre part, elle pose le problème de la représentativité des élus dans le système démocratique. J.P. Sueur, par exemple, maire d’Orléans, estime qu’elle double inutilement (et parfois de façon contradictoire) le contrat pour lequel le maire est élu puisque le dialogue qu’impose chaque projet est normalement déjà contenu dans le projet politique de l’élu qui en dispose⁵. Les objectifs de développement durable de la FNAU (FNAU, 2001 ; Rouxel *et al.*, 2001) ont d’ailleurs entraîné un certain nombre de réticences de la part des autorités locales : « les élus locaux peuvent avoir l’impression d’être dépossédés de leur prérogative et de leur rôle, et de ne plus disposer de marge de manœuvre pour faire leurs propres choix de société ». En insistant sur le fait qu’une telle forme d’organisation existe également dans le monde de l’entreprise, J.P. Le Goff (2002) va plus loin et dénonce le caractère « post-totalitaire » du principe de la gouvernance qui, sous couvert de privilégier une démocratie hautement participative, tend à confondre ceux qui prennent les décisions et ceux qui les subissent, si bien qu’en définitive, on ne sait plus très bien qui fait quoi, où et comment. J.M. Duez, directeur de l’Institut national des études territoriales, note à ce sujet qu’avec la gouvernance, « le temps où l’objectif non dit de la formation visait à préparer les cadres supérieurs à l’exercice solitaire du pouvoir est révolu. Car les élus n’ont plus le monopole du sens, ni les techniciens celui du savoir. [La] pathologie de la décision [a vécu ; que vive à présent] l’adaptation du *management* et la complémentarité des savoirs » (Gras, 2001). Les associations d’habitants répondent ici aux syndicats de salariés, comme si le monde de l’entreprise s’était transféré au monde urbain.

La complexification de la prise de décision en matière d’aménagement urbain induite par la gouvernance devenue nécessaire et le respect des principes du développement durable, comme d’ailleurs la redéfinition de l’agglomération par les lois Voynet et Chevènement ou par le zonage en aires urbaines de l’INSEE, contribuent à former une nouvelle façon d’appréhender la ville et son espace de façon globale. Ceci témoigne, ici encore, du fait que la ville a changé, mais surtout que finalement, elle a véritablement changé de genre pour devenir plus qu’un outil, un nouvel objet technique dont les rouages et le fonctionnement peuvent se comparer à une machine.

1.2. Un nouveau genre urbain

Car en effet, si l’on avait pu constater que la ville pouvait se considérer comme un outil construit par l’homme pour répondre à certains de ses besoins (Cf. Chapitre 1.1), force est de constater maintenant, évolution oblige, qu’elle est aujourd’hui plus proche de la machine que

⁵ Ces propos ont été tenus lors d’une table ronde de la 20^{ème} rencontre nationale des Agences d’Urbanisme, à Strasbourg en 2000.

de l'outil. Il semble bien, en effet, qu'un changement de genre se soit opéré, qui fait diverger des champs urbains jusque-là inséparables et qui contribue à accroître la complexité urbaine, qu'il est pourtant nécessaire de gérer et d'anticiper.

1.2.1. Divergence des champs

En termes de comparaison, on peut en effet imaginer rapprocher la machine de la ville, et faire correspondre le schéma, proprement urbain, « métro-boulot-dodo » à l'image du travailleur des *Temps modernes* de C. Chaplin (1936), ce qui correspond globalement aussi au thème du film *Metropolis* de F. Lang (1936), dans lequel l'homme s'assujettit à la ville-machine. D'une façon plus conceptuelle, il est possible de parfaire cette comparaison et de rapprocher encore la machine de l'objet urbain. On proposera alors de définir la machine comme un assemblage de parties déformables avec restauration périodique des mêmes rapports entre les parties, capable d'automatisme, de régulation, ou de contrôle par la machine elle-même de son propre fonctionnement. Sans essayer de percevoir dans cette définition les processus d'autorégulation en cours d'exploration pour le phénomène urbain (Pumain *et al.*, 1989), on peut admettre, pour la machine (comparée à l'outil) comme pour la ville actuelle, qu'**elles ont subi un stade de sophistication et de complexification qui ne permet plus leur gestion humaine complète. En d'autres termes, dans de nombreux cas, leur développement actuel n'est plus maîtrisé de façon globale, mais se sectorise en plusieurs types d'analyses peu intégrées les unes aux autres.** Si l'on prend l'ordinateur comme exemple de machine, force est de constater que rares sont les personnes qui le connaissent sous tous ses angles, de la soudure des composants *hardware* à l'optimisation de ses capacités *software*, en passant par la gestion sécurisée de ses données et de son système d'exploitation.

Parallèlement, on trouve un découpage identique dans les professions de l'urbanisme, étudié soit sous l'angle des déplacements, de l'habitat, de l'économie, mais rarement appréhendé de façon transversale comme le voudraient les études de « développement intégré ». Dans son ouvrage synthétique sur l'urbanisme, P. Merlin (1998) utilise d'ailleurs cette sectorisation presque comme une définition, en décomposant en plusieurs chapitres la problématique de l'urbanisme : l'habitat, les activités, les transports, les équipements. Ainsi, si P. Merlin dénonce bien la dérive fonctionnaliste d'un tel zonage, il ne peut s'en affranchir dans la mesure où celui-ci commande à la fois les procédures et les financements, c'est-à-dire le mode opératoire à travers lequel les problèmes de l'urbanisme doivent être administrativement traités. Dans un diagnostic présenté au secrétaire d'Etat au logement dans le cadre de la préparation de la nouvelle loi SRU, la FNAU (1999) a d'ailleurs pris des positions assez franches qui vont dans ce sens. On peut reprendre ici trois des six points présentés : La FNAU note d'abord que « les politiques sectorielles menées par l'Etat et les

différentes collectivités territoriales manquent parfois singulièrement de cohérence et peuvent être contradictoires. Comment, par exemple, l'Etat peut-il promouvoir le « renouvellement urbain » tout en mettant en place des dispositions financières (prêts à taux zéro ou taux réduit de TVA pour les acquisitions foncières des ménages...) qui contribuent à développer la périurbanisation...? Comment, de la même manière, les autorités d'agglomération peuvent-elles mettre en œuvre une politique de valorisation de l'agglomération existante et de développement des transports en commun ... si d'autres autorités développent, dans le même temps et sans concertation, un réseau routier qui encourage l'urbanisation diffuse des espaces périurbains ? » (Point 3). Elle remarque ensuite que « les procédures et les mécanismes de concertation actuels ne favorisent pas la mise en place de projets globaux de développement durable qui permettraient de dépasser des logiques de guichet et leurs effets pervers bien connus (multiplication de structures paravents et course aux effets d'aubaine...) » (Point 4). Elle en conclut à l'inadaptation des outils actuels de l'aménagement urbain : « les outils, les procédures, les dispositifs de financement actuellement en vigueur résultent d'une histoire urbaine complexe qui a produit et sédimenté, depuis plus de 30 ans, des règlements et des mesures qui avaient tous, à l'époque, leur logique et leur nécessité mais qui apparaissent aujourd'hui souvent très spécialisés, cloisonnés et rigides » (Point 5).

De surcroît, **cette sectorisation apparaît à l'heure où les principaux acteurs de la ville ont changé de statut : depuis la révolution industrielle, de nombreuses décisions concernant l'aménagement ne sont plus le fruit d'édiles spécialisés, mais naissent d'initiatives particulières, qui concernent souvent d'autres secteurs, notamment celui de l'économie.** En effet, alors que le développement urbain, du temps de l'outil, était essentiellement confié à des « professionnels », en l'occurrence des hommes d'état, le monde de la machine est dirigé par l'initiative personnelle, souvent privée et capitaliste. G. Lefranc (1957) a remarqué à juste titre que « lorsque James Watt meurt en 1819, on est convaincu qu'il a été l'artisan principal de la Révolution Industrielle. Alors qu'il n'est ni général, ni homme d'Etat, ni poète, il reçoit l'honneur insigne d'un monument dans l'abbaye de Westminster, ce panthéon des gloires britanniques ». Ainsi, comme pour l'inventeur de la machine à vapeur à son époque, le constructeur de la ville à l'ère de la machine n'est pas identifié au départ ; sous le couvert de la gouvernance, il naît et transforme la ville au gré de sa propre initiative, liée ou non à une volonté personnelle ou économique, et quel qu'en soit le sens social. La volonté de cohérence marquée dans les principes de l'urbanisme traditionnel est désormais à la main des initiatives privées, parfois peu à même de penser la ville en terme de communauté d'homme ou de globalité.

Un exemple actuel et assez flagrant peut être trouvé dans l'organisation générale des transports des villes de Belfort et de Montbéliard. Les deux entreprises Alstom (Belfort) et Peugeot (Montbéliard), pour pallier une pénurie d'ouvriers dans les années 1960, ont organisé les navettes domiciles-travail de leurs ouvriers par l'intermédiaire de ramassages en

autocars privés. Aujourd'hui, la donne s'est inversée en termes d'offre et de demande et c'est surtout le coût de ces transports qui préoccupe la direction de ces deux industries. Mais, d'évidence, si leur politique de ramassage, considérée par les ouvriers comme un acquis social, devait cesser, elle perturberait considérablement l'organisation globale de l'aire Belfort-Montbéliard, en multipliant probablement le nombre de véhicules / jour sur les principaux axes, et en accentuant le manque déjà crucial de places de parking dans les centres urbains. En novembre 2002, la direction d'Alstom a envisagé de supprimer 11 des 33 lignes de bus de ramassage existant. Réponse de la CFDT : « La CFDT considère que cette modification va à l'encontre des politiques publiques visant à favoriser le transport collectif notamment pour les trajets domicile-travail. Cette situation va aggraver le risque d'accidents, ce qui aura pour conséquence d'augmenter le taux des accidents du travail (plus de risques d'accidents en transport individuel qu'en transport collectif). Ces orientations restrictives sont également contraires à l'esprit des politiques de défense de l'environnement » (Le Pays de Franche-Comté, 26 novembre 2002)⁶.

Il va donc sans dire que de telles mesures, au même titre que d'éventuels plans sociaux concernant les mêmes entreprises, intéressent pleinement les pouvoirs publics, contraints de réfléchir aux plans de déplacement en négociation avec l'intérêt du secteur privé. Réponse de Joël Niess, adjoint à la mairie de Belfort, à cette affaire : « Alstom a une responsabilité sociale vis-à-vis de l'ensemble de la population belfortaine. En matière de transport, c'est celle de continuer et d'accroître le service actuel des bus. Au delà de la situation actuelle, c'est de contribuer à la mise en œuvre d'un véritable plan de déplacement entreprise » (Le Pays de Franche-Comté, 26 novembre 2002). Il est effectivement demandé au secteur privé de s'intéresser au développement durable, c'est-à-dire de remplir une fonction traditionnellement à la charge du public. La gestion d'un tel problème trouve assez peu de solutions standards, mais demande de nouvelles réflexions. Les plans de déplacements entreprises (PDE) font partie de ces réflexions.

Un PDE est « un ensemble de mesures permettant de favoriser l'utilisation des transports alternatifs à la voiture individuelle pour les déplacements liés aux activités professionnelles » (RARE, 2001). L'origine de cette réflexion a pour principe de considérer l'ensemble des déplacements des salariés d'une entreprise comme un facteur de production (*input*) de son activité, et d'en optimiser les coûts induits. Ces PDE peuvent ainsi s'appuyer sur les services de conseils en mobilité auprès des entreprises (prévus par la loi SRU) pour mettre au point leur méthodologie, qui consiste généralement à évaluer les coûts et les temps d'accès au site de l'entreprise, pour les salariés, les fournisseurs et les clients. Ainsi, les bénéfices de la mise en œuvre d'un plan de déplacement sont d'ordre économique, social, environnemental,

⁶ Ces onze lignes de bus ont effectivement été supprimées durant le premier trimestre 2003. En conséquence, tous les ouvriers continuent de bénéficier du service de ramassage, mais les tournées ont été largement modifiées, ce qui entraîne des durées de trajets beaucoup plus longues.

inscrivant la démarche dans une logique de développement durable à « l'échelle de l'entreprise et du territoire ». Mais d'évidence, cette démarche ne peut se mettre en place sans qu'un dialogue ne s'installe entre le secteur privé et le secteur public, qui sur le problème du développement durable, peuvent faire émerger des objectifs différents, même antagonistes ou conflictuels. Sa mise en œuvre nécessite donc un réel dialogue sociétal, une gouvernance qui stipule la participation active d'acteurs de plus en plus nombreux, aux compétences de plus en plus variées, c'est-à-dire ici également une sorte de transversalité.

La question des transports et des déplacements montre bien en effet la nécessité de la transversalité, qui est au centre des politiques de développement durable. Dès 1992, à l'occasion de la 13^{ème} rencontre nationale des Agences d'urbanisme (« Cité puzzle » à Brest), la FNAU avait fait le constat de l'éclatement fonctionnel, spatial et social de la ville. A l'occasion de la 14^{ème} rencontre à Toulouse, en 1993, (sur le thème « Recomposer la ville »), elle s'était interrogée sur les fondements actuels de la pratique professionnelle des urbanistes et leur évolution, en mettant la problématique du développement durable au cœur des moyens pour articuler l'ensemble des champs de l'urbanisme (habitat, transport, équipements, etc.) et toutes les échelles nécessaires à ces champs (du global au local), afin de réfléchir à l'avenir des villes en termes de « planification intégrée » (FNAU, 2001). D'autres travaux de la FNAU, réalisés à la demande du ministère de l'environnement pour évaluer différents documents d'urbanisme ou de planification (schéma directeurs, POS, chartes d'écologie urbaine, schémas d'environnement industriels, etc.) ont également mis en évidence le fait que, si certains domaines d'action, comme la gestion des ressources naturelles, la valorisation du patrimoine ou l'intégration sociale, apparaissent aujourd'hui mieux pris en charge qu'il y a vingt ans, de nombreuses ambiguïtés, voire des contradictions, perdurent souvent entre les choix de développement économique d'une part, et les principes d'équité sociale et de protection de l'environnement d'autre part.

Ces contradictions imposent de toute évidence une réforme des outils et des procédures (dont l'empilement et le chevauchement contrarient l'efficacité de l'action publique) mais elles nécessitent également un changement assez radical des mentalités des acteurs trop souvent enfermés dans des logiques de pouvoir, de savoir et de compétence » (FNAU, 2001). **Ainsi, c'est bien sur le plan des outils et des procédures qu'il faut aujourd'hui trouver les moyens de mieux organiser la prise de décisions, afin que celle-ci puisse effectivement tenir compte de la pluralité des objectifs de chacun, en les intégrant aux objectifs de développement durable.**

1.2.2. Vers la ville machine

Ainsi, l'opinion de J.P. Le Goff (2002) indique que les relations réflexives en place dans les pratiques de l'urbanisme sont comparables à celles que connaissent les entreprises et avec

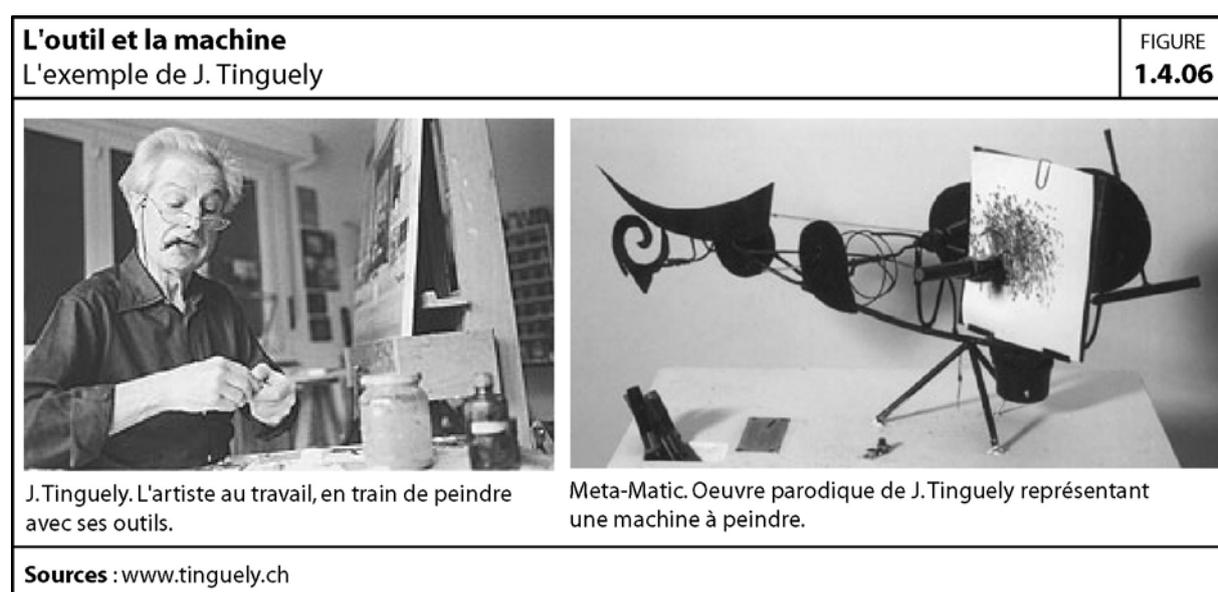
elles, le monde du travail. Ici aussi, il s'agit d'accorder un ensemble d'objectifs différents dans le cadre d'un intérêt économique commun. A plusieurs égards, on constate en effet que ces deux mondes – l'entreprise et la ville – sont comparables ; J.M. Duez (2001) propose d'ailleurs d'utiliser les outils du *management* pour faciliter la gestion des villes et le terme gouvernance a lui-même d'abord fait référence à des modes de coordination internes à l'entreprise. Ainsi, pour plusieurs raisons, dans le contexte actuel, la ville semble pouvoir se comparer à la machine. Qu'est-ce alors qu'une machine, comparée à un outil ?

La machine est généralement plus complexe que l'outil mais elle se voue globalement aux mêmes objectifs : faciliter l'action humaine. En 1835, C. Babbage (1835) estime que « quand chaque *process* a été réduit à l'utilisation d'outils simples, l'ensemble de ces outils, actionné par une force unique, constitue une machine ». Et, c'est bien ce à quoi correspondent la navette volante (inventée par J. Kay en 1733) et la machine à vapeur (J. Watt en 1769), pour prendre deux exemples qui ont fait référence dans l'histoire. Mais, aujourd'hui, on peut proposer une définition plus complète, qui distingue définitivement la machine de l'outil : pour M. de Montmollin (1990), elle correspond à « tous les éléments que l'opérateur utilise pour accomplir sa tâche ou dont il doit tenir compte », incluant de fait tous les outils et les installations, voire dans certains cas les hommes impliqués dans le système⁷. La différence primordiale entre l'outil et la machine n'est en fait pas qu'une simple complexification, mais bel et bien un changement de genre. Ainsi, l'idée de comparer la ville à la machine peut s'inscrire comme une continuation logique si, comme précédemment, on a pu reconnaître en elle un outil (Cf. Chapitre 1.1). Mais, cette même idée s'associe peut-être plus facilement, bibliographie architecturale oblige, à l'idée de « ville-machine » émise par Le Corbusier et ses acolytes des CIAM (Congrès Internationaux d'Architecture Moderne), à laquelle notre propos est parfaitement étranger. Rappelons pour mémoire cette idée de ville-machine construite pour un homme nouveau à laquelle pensait Le Corbusier, en prenant simplement l'exemple de la rue : il s'agit d'un « autre type de rue », une « machine à circuler », c'est-à-dire « une usine dont l'outillage doit réaliser la circulation », une rue qui serait « équipée comme une usine » (Le Corbusier, 1925). Dérivée des idées de R. Descartes elles-mêmes relayées par la position des Lumières, la théorie de l'homme-machine peut aisément trouver son équivalent résidentiel dans la « ville-machine », c'est à dire dans « la machine à

⁷ Entre la machine et l'outil, on ne peut ne pas évoquer la place de la « machine-outil ». Pour R. Lebrusque et J.P. Mathieu (Lebrusque *et al.*, 1995), c'est « un matériel ayant pour but de faire mouvoir l'outil par une transmission actionnée au moyen d'un moteur, au lieu de se laisser manier par la main de l'ouvrier. Pour le Syndicat des constructeurs français de machines-outils [définition déposée à l'Organisation internationale de standardisation (I.S.O.)] la machine-outil est une machine, généralement non portable en travail, actionnée par une source d'énergie et destinée à façonner des produits à l'aide de procédés physiques, chimiques ou autres. Le façonnage, qui porte sur des matériaux à l'état solide (métal, bois, verre, plastiques...), peut s'effectuer aussi bien avec ou sans enlèvement qu'avec ou sans apport de matière ou de produit ». Dans tous les cas, et compte tenu de la définition que nous en donnons, la machine-outil est plus proche de la machine que de l'outil. Nous l'assimilons donc à la machine.

habiter » : « une maison est une machine à habiter. Bain, soleil, eau chaude, eau froide, température à volonté, conservation des mets, hygiène, beauté par proportion. Un fauteuil est une machine à s’asseoir, etc. » (Le Corbusier, 1925). En fait, il s’agit ici, non pas de considérer la ville comme une « machine à habiter », mais de voir comment, en tant qu’outil, elle correspond à un système sociotechnique complexe. Pour ce faire, il est intéressant d’étudier le principe de l’interface entre l’homme et la machine.

A la différence de l’outil, la machine intercale en effet une médiation entre l’intention de produire et l’effet de la production. Cette médiation, qui constitue ici une interface purement mécanique, n’existe pas dans le mode de l’outil puisque ce dernier, en tant qu’instrument qui prolonge le bras de l’homme, connecte directement la volonté de faire à l’effet. Ainsi, si l’on utilise le vocabulaire de la cybernétique, il existe des entrées (*inputs*) avant la machine et des sorties (*outputs*) après la machine. Entre les deux, elle apparaît, avec ses rouages et ses courroies enchevêtrées (prenons par exemple les agencements parodiques de J. Tinguely, Figure 1.4.06), comme une médiation entre l’homme et son produit. La différence entre l’outil et la machine ne fait donc pas intervenir la complexité en tant que telle, mais la finalité même de l’acte lié à la machine. G. Simondon (1969) fait remarquer à ce sujet que « travail et action [qui correspondent globalement au mode de l’outil] ont en commun la prédominance de la finalité sur la causalité » puisque l’effort est orienté vers un certain résultat à obtenir », alors que « dans l’individu technique au contraire, ce déséquilibre entre causalité et finalité disparaît ; la machine est extérieurement faite pour obtenir un certain résultat ; mais, plus l’objet technique s’individualise, plus cette fonctionnalité externe s’efface au profit de la cohérence interne du fonctionnement ; le fonctionnement est finalisé par rapport à lui-même avant de l’être par rapport au monde extérieur ».



La différence primordiale entre l'outil et la machine doit donc bien s'envisager sur le plan des modifications qu'elle implique pour l'homme qui l'utilise : le changement de genre n'est perceptible que s'il est envisagé sous un angle humain, c'est-à-dire à travers l'interface et les nouvelles relations sociales qu'introduit la médiation, la perte ou le décalage total ou partiel de la maîtrise de ce qui est produit. Car c'est véritablement une révolution humaine et sociale qui caractérise cette différence, profondément ressentie sur la vie matérielle des hommes, sur l'organisation de leur travail et sur leurs rapports sociaux. Au fil du temps, cette révolution est apparue contradictoire : on a vu autant dans la machine un moyen d'augmenter le bien-être, donc un facteur de progrès, autant, *a contrario*, l'objet de l'asservissement et de l'aliénation de l'homme. Ainsi, les considérations aristotéliennes antiques lui ont prêté un mauvais rôle, alors qu'à partir du 16^{ème} et du 17^{ème} siècle, F. Bacon et R. Descartes encensent la machine comme un moyen de libérer l'homme de la nature, de s'en rendre « maître et possesseur » (R. Descartes) qui préfigure la confiance que lui porteront les Lumières pour rechercher l'utile et l'efficace au 18^{ème} siècle. Plus tard, comme dans l'histoire de la ville, c'est la révolution industrielle qui provoque le tournant majeur : l'industrialisation et la mécanisation permises par la machine refondent les conditions d'existence de leurs utilisateurs dans le sens d'une dégradation engendrant de nouvelles inégalités : « l'ouvrier ne peut pas se complaire à son œuvre. Il ne la voit plus naître sous ses doigts. Il fatigue sans cesse. Il ne crée rien ... Qu'y a-t-il pour l'intelligence dans la fonction d'un homme qui passe toute sa vie douze ou quatorze heures par jour à fabriquer la vingtième partie d'une épingle ? »⁸ se demande E. Buret (1840), dès 1840. En 1964, G. Friedman note que « chez l'ouvrier spécialisé, saisi dans le corset de l'OST⁹, la dépersonnalisation s'accompagne souvent de la conscience de ne jamais *pouvoir achever* une tâche, de ne jamais pouvoir, en prenant du recul, se dire qu'il a réalisé quelque chose, lui-même, et qu'il l'a bien fait. Il manifeste parfois des sentiments de fierté collective lorsque, par exemple, l'entreprise a « sorti » un nouveau modèle qui a du succès [...] ». L'organisation scientifique du travail sépare effectivement la pensée de l'exécution et conduit à la non-participation de l'individu à son travail. Du point de vue juridique, l'aliénation s'entend comme la vente ou la cession d'un bien à quelqu'un d'autre, qui en devient propriétaire. Avec J.J. Rousseau, elle devient un concept philosophique qui conçoit le contrat social comme une « aliénation totale de chaque associé avec tous ses droits à toute la communauté » : « chacun se donne à tous ». Mais aujourd'hui, après que G.W.F. Hegel, L. Feuerbach, K. Marx, H. Marcuse, J.P. Sartre et d'autres en aient usé, le mot aliénation est un

⁸ E. Buret reprend ici l'exemple de la fabrication des épingles donné par A. Smith (1776) pour illustrer les bienfaits de la division du travail. A. Smith explique ainsi que 18 ouvriers qui œuvrent chacun à la fabrication (divisée en 18 parties) d'une épingle peuvent produire plusieurs dizaines de milliers d'épingles par jour là où un ouvrier seul n'en aurait fait que 20, voire pas une seule. La division du travail apparaît alors comme la source d'une « abondance universelle » qui permettait : 1. Un accroissement d'habileté chez chaque ouvrier individuellement ; 2. L'épargne du temps nécessaire pour passer d'un type d'ouvrage à un autre ; 3. L'invention d'un grand nombre de machines qui facilitent et abrègent le travail et qui permettent à un seul homme d'exécuter la tâche de plusieurs.

⁹ OST : Organisation scientifique du travail

« mot malade », qui « souffre de surcharge sémantique » (Ricoeur, 1995). Néanmoins, le plus souvent, le terme trouve sa meilleure acception quand il traite des relations d'un travailleur avec le produit de son travail et avec les institutions, les puissances et les hommes (c'est-à-dire le système sociotechnique) qui en disposent, pour désigner : 1. La privation, pour un travailleur au profit d'autres (*alienus*) de la possession et de la jouissance d'une partie de son travail ; 2. Le fait qu'il soit ainsi lésé dans cette part de personnalité qui a été engagée dans l'activité de production. Dans un article court, l'encyclopédie Universaelis résume assez bien la situation : « La civilisation de l'outil était celle de la maîtrise de la matière par l'individu. L'outil permet, en effet, une relation quasi immédiate avec l'objet fabriqué ; ainsi s'expliquent la valeur humaniste qu'on lui attribue et la nostalgie de l'artisanat que son idée suscite, comme sa réapparition tenace sous diverses formes dans la société industrielle, capitaliste ou socialiste. La machine, au contraire, crée une autre relation de l'homme avec la matière. La marchandise suppose le jeu des rapports de production, dans lequel l'individu n'est qu'un chaînon. Certes, sans la maîtrise de l'homme, aucun complexe technique ne pourrait fonctionner et l'homme n'a pas à craindre de devenir totalement l'esclave de la machine. Néanmoins, suivant que l'instrument de production est la machine ou l'outil, on a affaire à l'une ou l'autre de deux manières de travailler et de transformer le monde. La manière «machiniste» est si compliquée qu'elle ajoute à l'aliénation du travail celle du savoir ; le monde du machinisme échappe, en effet, à la majeure partie des hommes, même à ceux qui en font partie ».

2. Anticiper la complexité urbaine

On voit ainsi que la machine crée une autre relation de l'homme avec la matière. La comparaison avec la ville aurait pu s'arrêter là, pour signaler simplement que l'évolution que la machine implique à l'intérieur des systèmes socio-techniques (quels qu'ils soient) demande à ce que de nouveaux outils soient mis au point pour appréhender son fonctionnement. Car, **quels que soient le niveau de complexité et le niveau d'aliénation dans lesquels se situent aujourd'hui les métiers de l'urbanisme, il est nécessaire d'anticiper l'avenir de la ville afin que celui-ci prenne la forme d'un développement durable plutôt que celle de la catastrophe qu'annonce aujourd'hui le processus d'étalement urbain** (Cf. Chapitres 2 et 3). Dans ce cadre, il est évident que la loi SRU, les SCoT et les PLU font partie de cette nouvelle génération d'outils, qui demande à ce qu'un projet territorial et urbain soit anticipé et construit ensemble, plutôt que simplement réglementé *a posteriori*. Néanmoins, qui demande de se *pro-jeter*, demande également de penser à l'avenir, et de dire ce qu'il sera. La mise en application de la loi SRU, justement parce qu'elle nécessite un projet, ne peut se passer d'une démarche prospective et territoriale.

2.1. L'approche prospective

Mais, quand il s'agit d'intégrer la prise en compte du futur à un projet et à une planification stratégique, on ne peut que se souvenir, en souriant, de cette phrase célèbre que certains attribuent à N. Bohr¹⁰, d'autres à W. Allen¹¹ : « la prédiction est difficile, surtout celle du futur ». Il s'agit donc bien ici de ne pas confondre deux choses, l'utopie et la prospective, qui cherchent toutes les deux à appréhender le futur, mais dont les méthodes divergent tant qu'en définitive, la première reste aveugle là où la seconde permet quelques fois un éclaircissement.

2.1.1. Du futur que l'on rêve ...

Les poètes, les écrivains et les artistes, parfois les *leaders* charismatiques et politiques, sont en général les porteurs de la première étape, c'est-à-dire de la prophétie teintée d'utopie et conclue par un certain nombre de prévisions. Les bases de ces prévisions, concernant l'avenir et parfois l'avenir des villes, mettent alors en jeu un fond religieux, mystique, idéologique ou bien moral (mais très rarement scientifique) qui contribue à forger une idée claire, mais très personnelle de ce que l'avenir peut être, ou plutôt de ce qu'il devrait être compte tenu de l'opinion de celui qui le pense, et qui dépend souvent de ses « rêves » d'un monde meilleur, auxquels en corollaire s'ajoutent un irrésistible besoin de dénoncer les temps présents, pour mieux annoncer et présenter les temps futurs. Toutes les époques ont ainsi connues leurs prophètes et leur idées, qui, un jour ou l'autre, se sont révélées fausses. On a longtemps imaginé, par exemple, qu'en l'an 2000, le commun des mortels circulerait dans des voitures en suspension au dessus du sol, alors qu'en réalité, à Strasbourg notamment, c'est la bicyclette qui est (ré)apparue comme le moyen de déplacement du troisième millénaire. Dans les métiers de l'urbanisme, cette vision de la planification correspond souvent à la vision des hommes politiques, dont les décisions ne dépendent parfois d'aucune étude (ou bien font fi des études existantes) pour soutenir un projet qui correspond plus à un souhait personnel (compte tenu d'une adhésion et d'une volonté socio-politique) qu'à une réelle réflexion sur le pourquoi et le comment de la chose. Elle est généralement nécessairement portée par une personnalité charismatique, capable de convaincre en avançant peu d'arguments. Cette dynamique du futur rêvé et de la prophétie qui en découle est à la source des utopies, qui n'apparaissent en fait que comme le projet correspondant à ces futurs que l'on invente. Pour T. Paquot (1996) en effet, « le mot utopie est forgé sur le substantif grec *topos* qui signifie le lieu, précéder de deux préfixes dont on peut cumuler les sens : *eu*

¹⁰ Dans l'ouvrage de B. Sapoval (1997), par exemple.

¹¹ Dans l'ouvrage de J. de Courson (1999) par exemple, dans lequel elle apparaît néanmoins sous une forme un peu différente de celle de N. Bohr : « La prévision est un art difficile, surtout quand il s'agit de l'avenir ».

exprimant la bonne qualité, et *ou* marquant la négation. Ainsi, utopie désigne à la fois le lieu qui est bon, le lieu du bonheur en quelque sorte, et le lieu qui n'existe pas, le lieu de nulle part, qui n'a pas d'existence géographique réelle. En réalité, un lieu où il fait si bon vivre qu'il devient inaccessible ». Y. Barel (1971) fait quant à lui remarquer que l'utopie est un procédé qui unit de manière originale la science, la critique et la fantaisie, mais elle n'a pas forcément prétention à dire ce qui va se passer ou ce qui peut se passer, mais préfère décrire un Ailleurs intemporel. Cette utopie entraîne une certaine prévision du futur . Elle est l'expression d'une vision du monde. Néanmoins, le futur correspondant à cette vision peut s'exprimer et prendre forme par l'intermédiaire de différentes méthodes : la projection, la prévision et la prospective.

Car, en effet, ce sont bien trois choses qu'il faut distinguer, et pour lesquelles on peut reprendre les définitions que donne J. de Courson (1999) : **1. Une projection, tout d'abord, est un exercice purement mécanique qui consiste à prolonger dans le futur des évolutions passées, toutes choses égales par ailleurs, sans aucun souci de réalisme ; 2. Une prévision, ensuite, même si elle s'appuie sur un exercice préalable de projection, prend en compte d'autres évolutions internes et externes de la variable considérée. Elle a pour finalité d'établir à une date future donnée, un chiffre réaliste, aux variantes près, ou à l'intérieur d'une fourchette, avec un certain degré de confiance ; 3. La prospective, enfin, *a contrario* de la projection et de la prédiction, décrit les futurs possibles et les cheminements nécessaires pour y parvenir.** Elle est donc ouverte, dynamique, non prédictive, et volontariste : la prospective traduit l'engagement de son auteur.

2.1.2. ... au futur que l'on simule

Mais qu'est-ce exactement que cette prospective ? Du latin *pro-jicere* (jeter en avant), elle apparaît d'abord comme une représentation et donc une interprétation, symbolique ou visuelle, qui fait appel à l'imagination, au rêve, à une projection mentale dans le futur . Egalement dénommée futurologie (ce qui est de plus en plus rare), la prospective naît aux Etats-Unis à la fin de la Seconde guerre mondiale, pour servir des fins principalement militaires. A partir de 1957, G. Berger l'introduit en France par l'intermédiaire de la revue *Prospectives*, avec une acceptation plutôt philosophique, avant que B. de Jouvenel (1972) n'en fasse une discipline plus élaborée. Limitée ensuite au domaine économique, dans des études à court terme, la prospective touche aujourd'hui de nombreuses disciplines, et s'intéresse très largement au long terme. De surcroît, aux démarches plutôt improvisées et peu systématiques qu'elle utilisait à ses débuts se substitut aujourd'hui un caractère de plus en plus scientifique¹². A la différence de la prévision, la prospective constitue donc réellement une réflexion sur les possibilités qui attendent l'avenir ; qui se forge à partir de la volonté

¹² Ce caractère scientifique apparaît cependant trop spécifique et particulier à chaque étude pour constituer un corpus général transférable à tous les cas.

d'un ou de plusieurs acteurs de faire des choix et de définir les moyens qui permettront de mettre en œuvre ce futur souhaité. Pour Y. Barel (1971), en effet, d'une part, « l'homme fait de la prospective parce qu'il agit, réagit et travaille », et d'autre part, la prospective est en elle-même un système où l'homme occupe une place confortable, à la fois interne et externe au système ». Elle ne se sépare donc pas de l'engagement, celui de son auteur à fabriquer un futur, mais non un futur qui correspond à sa volonté compte tenu de ses aspirations ou de sa vision du monde, mais un futur qui repose sur une hypothèse qu'il pose et qui apparaît alors comme la conséquence de la réalisation de cette hypothèse. Par définition, **la prospective apparaît donc exploratoire. Il s'agit d'une discipline intellectuelle fragile, décriée et parfois méprisée, en tous cas toujours ouverte à la contestation, car elle souffre de ne pouvoir être une œuvre effectuée de l'extérieur du système seulement. Pour une prospective valable, l'homme doit continuellement entrer et sortir du système duquel il cherche à évaluer le futur, en y étant à la fois « présent-absent » et « absent-présent » (Y. Barel, 1971).** En étant à la fois acteur et spectateur de sa démarche, l'homme, et avec elle la prospective, se place obligatoirement dans une analyse subjective.

Cette dernière se décline néanmoins en trois grandes familles, dont les objectifs ne sont pas les mêmes. Leur objet d'étude diffère, même si globalement leur méthodologie et leur approche des problèmes restent identiques. Il s'agit d'abord de la prospective spéculative ou cognitive qui cherche à comprendre le futur et qui s'impose comme une véritable démarche de représentation de ce futur (Gonod *et al.*, 1997). C'est ensuite une prospective dite participative, qui implique les acteurs de territoire dans un débat collectif portant sur le futur. Enfin, il s'agit d'une prospective stratégique, qui s'oriente vers l'action. Parallèlement, pour P. Piganiol *et al.* (1995), trois possibilités s'offrent en général pour considérer le futur, qui apparaissent en réalité associées les unes aux autres et délicates à distinguer : 1. Un futur nécessaire procédant de déterminisme auquel il est nécessaire de se soumettre ; 2. Un futur aléatoire et à ce titre totalement imprévisible ; 3. Un futur libre, que l'homme peut s'accorder la liberté de construire. La démarche prospective peut alors relever de deux de ces possibilités : deux types de prospective correspondent à deux aspects du futur : le futur inéluctable (déterminé) et le futur à faire (à construire). Dans le premier cas, l'investigation prospective constitue une science qui étudie et quantifie les faits. Dans le deuxième cas, elle apparaît plus créatrice et conduit ses démarches de la façon la plus rationnelle et cohérente possible, mais en y introduisant une bonne part d'imagination, celle qui permet justement de construire le futur. R. Jungk (1974) note à ce sujet que l'esprit prospectiviste doit s'animer d'idées folles, de jamais vu et d'inconcevable, de manière à ce qu'imagination et raison s'associent pour créer des scénarios, ces scénarios mêmes qui constitueront l'image *a priori* du futur que l'on cherche à visualiser. **Les scénarios constituent alors réellement une méthode de la prospective. De façon générale, on peut les regrouper en deux grandes familles. Ce sont d'abord les scénarios tendanciels, qui utilisent les tendances d'évolution actuelles connues pour cheminer par simulation jusqu'au terme temporel fixé à la**

prospection. Ce sont ensuite les scénarios dits contrastés, parce que l'image terminale dont on cherche à mesurer l'accessibilité s'oppose vigoureusement par certains de ses traits à l'image actuelle.

2.1.3. Une nécessité : la modélisation

On voit donc bien ici que plusieurs démarches sont possibles quand on parle de prospective. D'abord, il convient de bien savoir pourquoi, c'est-à-dire dans quel but, cette prospective est faite. Dans le cas de l'urbanisme, c'est-à-dire de l'avenir des villes confrontées au problème de l'étalement urbain, il ne s'agit pas tant de comprendre le futur en se représentant ce qu'il pourrait être, mais plutôt : 1. D'entreprendre une démarche prospective participative qui implique tous les acteurs du territoire (ou au moins un grand nombre) et qui porte sur le futur ; 2. De construire une prospective stratégique, orientée vers l'action, permettant une prise de décision allant dans le sens du futur projeté. D'autre part, cette prospective nécessite que l'on soit effectivement capable de mettre au point des scénarios, afin de réaliser leurs conséquences dans le futur. Parmi ces scénarios, certains sont tendanciels, c'est-à-dire qu'ils reproduisent le passé dans l'avenir. **Il est donc nécessaire également, pour mettre au point ces scénarios, de bien connaître le passé (ou plutôt ce qui s'est passé, tel que cela a été compris par la multitude d'acteurs confrontés à la gestion de la ville et de son territoire), pour être capable de la reproduire et de faire dire suffisamment de choses à cette reproduction, pour qu'elle permette d'agir, après avoir compris les tenants et les aboutissants de cette action. Réaliser l'ensemble apparaît alors comme une gageure, qui peut se résumer derrière l'idée de simulation. La simulation apparaît en effet d'abord comme une sorte de copie (étymologiquement, le mot latin *simulare* signifie copier ; cf. Feuvrier, 1971). Mais, comme le signale A. Dauphine (1987), la simulation est très souvent indissociable de la modélisation.**

Au sens large, on peut effectivement considérer, avec A. Dauphiné (1987), que simuler consiste à créer un modèle, et que les deux termes (simuler et modéliser) sont des synonymes, surtout quand il s'agit de construire un modèle réduit de la réalité, à partir duquel s'effectueront un certain nombre d'expériences, correspondant à des simulations. De nombreux auteurs proposent alors d'assimiler la modélisation à la simulation : J.R. Emshoff *et al.* (1970), par exemple, quand ils disent qu'« une simulation est un modèle d'une situation dans laquelle les éléments sont représentés par des processus arithmétiques et logiques qui peuvent être exécutés par un ordinateur pour prédire les propriétés dynamiques de cette situation ». Mais, au sens restreint, A. Dauphiné (1987) note que la simulation n'est plus qu'une étape du processus général de modélisation. Il s'agit en effet d'abord de construire un modèle, puis de simuler le comportement d'un système à partir de ce modèle, voire d'effectuer toute une série de tests en modifiant à chaque fois un ou plusieurs paramètres, de manière à multiplier les résultats, qui correspondent alors à autant de scénarios liés à

l'introduction d'une idée ou d'un processus nouveau à l'intérieur du système modélisé. **Considérée dans ce sens, la modélisation apparaît alors véritablement comme une phase à part entière de la démarche scientifique expérimentale : « après avoir construit un modèle, empirique ou théorique, qui doit rendre compte d'un problème, d'une contradiction, la simulation informatique donne une série de résultats en sortie, sous la forme d'indices statistiques ou même de courbes graphiques. La comparaison de ces sorties avec des données, qui représentent le réel, permet de vérifier la pertinence du modèle ; il pourra être conservé, rejeté, ou, cas le plus fréquent, corrigé » (Dauphiné, 1987).**

2.2. Les modèles, versions simplifiées de la réalité

Le fait d'être aujourd'hui obligé (ne serait-ce que pour appliquer la loi – SRU par exemple) de nous projeter dans l'avenir par l'intermédiaire d'une démarche prospective, afin d'éviter que ce futur ne prenne une forme contradictoire aux engagements du développement durable, oblige également à simuler l'avenir de la ville, afin d'anticiper l'évolution de la coalescence et de la cohérence urbaine. Cette simulation demande une modélisation et donc de se familiariser avec cet outil (le modèle) qui permet d'y voir plus clair dans le fonctionnement de la machine urbaine.

2.2.1. Qu'est-ce qu'un modèle ?

Pour définir les modèles, on peut commencer par une mise en garde quant aux divers sens que le terme peut prendre, dans le langage courant comme dans le langage scientifique. Le terme modèle s'emploie effectivement dans de nombreux cas. On l'utilise par exemple comme un nom pour désigner une représentation, ou comme un adjectif pour qualifier un degré de perfection, ou encore comme un verbe qui signifie démontrer ou montrer comment les choses sont (Ackoff *et al.*, 1962). Et il est vrai que les modèles possèdent probablement chacune de ces propriétés. Sur le plan scientifique, H. Skilling (1964) a estimé qu'un modèle pouvait être une théorie, mais aussi une loi, ou encore une hypothèse, voire même une idée structurée ; il peut également apparaître comme une relation, ou comme une équation. Dans ce contexte riche et complexe, la définition la plus générale que l'on puisse en donner est peut-être celle que propose le lien HyperGeo de CyberGeo¹³ : **« un modèle est une représentation simplifiée d'une réalité, qui donne du sens à cette réalité et permet donc de la comprendre »**. C'est du moins la définition que nous retiendrons ici, et qui demande à être étayée et approfondie sur plusieurs points.

¹³ www.cybergegeo.presse.fr

On peut noter d'abord que, si un modèle représente la réalité, il est important d'avoir compris la réalité de l'objet ou du processus que l'on étudie avant de construire un modèle, ou au moins d'en avoir compris l'essentiel. La modélisation s'appuie donc forcément sur un corpus théorique important concernant le phénomène étudié, corpus qui servira de base (dans une phase inductive), à la mise en lumière des éléments qui permettront de construire le modèle. Ainsi, un modèle permet de comprendre et d'améliorer notre connaissance de la réalité, mais est construit à partir de la réalité que nous connaissons de l'objet ou du processus étudié. Nous retrouvons donc ici le problème de l'« inexpugnable circularité de la construction de la connaissance » (CyberGeo). Quelle est donc l'utilité d'un modèle si celui-ci ne fait que reprendre, peut-être autrement, une réalité que nous connaissons déjà ? Pour répondre à cette question, il est important de comprendre deux choses. Premièrement, un modèle est généralement une construction dynamique : il comporte donc un déroulement, allant de données d'entrées jusqu'aux résultats de son fonctionnement en sortie. De ce fait, une modification des données d'entrée peut entraîner une modification des résultats de sortie. Cette caractéristique dynamique permet d'entrevoir le modèle comme un outil de simulation, puisque plusieurs résultats peuvent être testés à partir de données d'entrées différentes. Deuxièmement, **un modèle apparaît comme une simplification de la réalité : il s'agit d'une représentation abstraite du monde qui nous entoure, ce qui signifie que l'approximation, voire même l'erreur, en font partie intégrante. Sans cette simplification, un modèle serait la réalité en elle-même, et ne contribuerait en rien à quelque construction de la connaissance. Ainsi, modéliser revient pour une part à réduire la complexité de la réalité qui nous environne.**

2.2.2. Réduire la complexité

Pour P. Haggett et R.J. Chorley (Haggett, 1967), les modèles naissent en effet d'une nécessité d'idéalisation du monde. La réaction traditionnelle de l'homme face à la complexité du monde qui l'entoure et qu'il peine à comprendre consiste généralement à se construire une image simplifiée et intelligible de ce monde : « *he then tries to substitute this cosmos of his own for the world of experience, and thus to overcome it* » (Chorafas, 1965). L'esprit humain décompose ainsi le monde réel en une série de systèmes simplifiés et cette simplification nécessite une espèce de créativité, qui intervient autant sur le plan des sens que sur celui de l'intellect. L'esprit a besoin de voir le modèle créé comme quelque chose de distinct et d'opposé par rapport à tout autre modèle. Ainsi, le modèle sépare plus les choses qu'il contient des autres choses qu'elles ne sont réellement séparées dans la réalité. De plus, chaque modèle possède sa propre échelle, à partir de laquelle il est possible d'évaluer que tel ou tel élément est trop précis, ou au contraire trop global pour y trouver un intérêt ; il est donc possible de les laisser de côté. Parallèlement, le système est conçu et contrôlé dans certaines limites d'approximation ; les effets qui n'appartiennent pas à ses limites et donc au niveau d'approximation du système peuvent être négligés. De même, le système est étudié

dans un certain état d'esprit, avec un certain objectif ; ce qui n'affecte pas directement cet objectif peut être éliminé de l'étude. Enfin, le fait de reconnaître les différents éléments du système comme appartenant à un tout identique, a pour effet d'exagérer l'unité de ces éléments (Apostel, 1961). D'après cette façon de voir les choses, la réalité n'existe que comme une connexité formelle et limitée, que l'on explore par l'intermédiaire de symboles, de règles et de processus simplifiés (Meadows, 1957). Le caractère simplifié de cette interdépendance de structures est appelé modèle. Un modèle n'est donc rien d'autre qu'une structuration simplifiée de la réalité qui présente des caractéristiques ou des relations supposées significatives, dans une forme généralisée. **Les modèles sont donc des approximations très subjectives, puisqu'ils ne tiennent pas compte de toutes les observations et de toutes les mesures, mais ils sont intéressants parce qu'ils masquent les détails (qui apparaissent comme des incidents) pour mieux focaliser sur les aspects fondamentaux de la réalité, sur leur substantifique moelle. Cette sélection fait que les modèles ont des degrés variables de probabilité d'application et une échelle de condition dans laquelle ils sont appropriés.** En effet, la valeur d'un modèle est souvent en relation directe avec son niveau d'abstraction. Toutefois, tous les modèles sont constamment en quête d'amélioration, dès qu'une nouvelle information ou que de nouvelles perspectives apparaissent à propos de la réalité : plus le modèle était correctement structuré au départ, plus il est probable qu'une amélioration demande la construction d'un nouveau modèle.

Mais, la caractéristique qui apparaît certainement comme la plus fondamentale des modèles est que leur construction a nécessité une sélection importante des informations, par laquelle ce ne sont pas seulement les bruits qui ont été éliminés, mais également tous les signaux les moins importants, de manière à rendre visible le cœur des choses. Les modèles peuvent ainsi être considérés comme des approximations sélectives qui permettent à certains aspects du monde réel, particulièrement fondamentaux et intéressants d'apparaître sous une forme généralisée, par l'élimination des détails les moins importants. Ainsi, les modèles peuvent s'assimiler à des images sélectives, et une description des caractéristiques logiques de notre connaissance du monde extérieur montre que chacune de ces images offre une exagération peu justifiée de certaines de ses caractéristiques, et affaiblit ou déforme certaines autres caractéristiques, que d'autres modèles, que l'on peut considérer comme des modèles rivaux, auraient au contraire mises en valeur. Chaque modèle éclaire donc une partie du monde comme un projecteur éclaire une scène, en plongeant automatiquement d'autres parties dans l'obscurité (Bambrough, 1964). Et, cette sélection va également impliquer que les modèles soient différents de la réalité, qu'ils n'en soient que des approximations : un modèle doit être suffisamment simple pour être correctement manipulé et compris par ceux qui l'utilisent, suffisamment représentatif pour qualifier correctement la réalité à laquelle il correspond, et suffisamment complexe pour représenter avec exactitude le système qu'il étudie (Chorafas, 1965). En d'autres termes, les modèles sont des sortes de compromis et chacun possède son

champ de conditions, à l'intérieur duquel il est valable et en dehors duquel il ne correspond plus à la réalité (Skilling, 1964).

Les modèles sont ainsi des outils intéressants parce qu'ils constituent un pont entre le niveau d'observation et le niveau théorique, et que pour ce faire, ils utilisent des simplifications et des réductions, qui mènent à la construction de théories et finalement à l'explication du monde qui nous entoure (Apostel, 1961). Mais, la question de l'explication du monde reste une question complexe. P.W. Bridgman (1936) a écrit à ce sujet qu'elle consiste à analyser des systèmes compliqués à l'aide de systèmes plus simples jusqu'à ce que l'on puisse reconnaître dans ces systèmes compliqués le jeu interactif d'éléments qui nous sont déjà si familiers qu'on les accepte sans avoir besoin d'explication. L'une des principales fonctions des modèles est une fonction *psychologique* (Haggett *et al.*, 1967) : elle consiste à rendre visible (et ainsi à permettre de comprendre) le fonctionnement d'un groupe de phénomènes, qui n'aurait pas pu l'être d'une autre manière compte tenu de sa complexité. **Ainsi, à l'intérieur d'un cadre unique, qui comprend un ensemble de données et de processus simplifiés, les modèles apparaissent comme des outils de réflexion commune, qui permettent à un groupe entier de comprendre, à partir d'une base unique, une partie de la réalité. Dans le cadre de la démarche systémique, la modélisation permet alors une série de simulations du futur, qui se base sur des processus simplifiés et schématisés, rendus plus faciles à comprendre. Elle permet ainsi également de communiquer le fonctionnement présumé d'un processus ou d'un phénomène.**

2.2.3. Décomposer la complexité

Néanmoins, si la modélisation nécessite une simplification de la réalité, il est important de bien savoir à quoi correspond cette simplification. Une méthode analytique correspond en effet elle aussi à une simplification, qui consiste à décomposer un objet complexe en plusieurs parties et à étudier ces parties indépendamment les unes des autres. Pour comprendre comment fonctionne une machine à vapeur, on peut effectivement s'intéresser d'abord à l'étude de la production thermique, puis à celle des pistons qui permettront d'actionner la machine. L'étude séparée de ces deux éléments apparaît effectivement plus simple que l'étude dissociée de l'ensemble et ne perturbe pas la compréhension de son fonctionnement général. Mais, dans de nombreux cas, notamment quand il s'agit d'étudier des ensembles plus complexes, humains par exemple, cette dissociation du tout en plusieurs parties distinctes et indépendantes empêche la compréhension du fonctionnement d'ensemble. La théorie générale des systèmes proposée par L. von Bertalanffy (1968) vise justement à pallier ce problème en proposant une vision du monde, universelle et applicable à tous les domaines, consistant à considérer ces ensembles sous la forme de systèmes, qui peuvent être emboîtés les uns dans les autres. Elle définit alors un système comme un

ensemble d'éléments en interactions, orientés dans vers un but commun, qu'ils soient conscients ou non de ce but commun, comme a pu l'expliquer A. Koestler (1968).

Si l'approche systémique est aujourd'hui de plus en plus fréquemment utilisée pour traiter les problèmes géographiques et notamment les problèmes de géographie urbaine – la ville est alors assimilée à un système urbain – c'est certainement parce qu'elle se distingue de l'approche analytique et que, finalement, elle rend mieux compte de la complexité du monde urbain. **La sectorisation, aujourd'hui décriée, avec laquelle on a longtemps analysé la ville, c'est-à-dire en la décomposant en plusieurs champs (économie, habitat, transport, etc.) a en effet montré ses limites et l'on a bien compris à l'heure actuelle, qu'il était possible d'intervenir sur les transports pour modifier l'habitat et sur l'économie pour modifier les transports. Conscient de cela, il devient impossible d'étudier la ville comme une juxtaposition de champs déconnectés, mais il est indispensable, au contraire, de les considérer tous ensemble, en tentant justement de mettre en évidence les relations qui les lient les uns aux autres. Ainsi, si la réalité doit être décomposée pour être modélisée et mieux comprise, ce n'est certainement pas dans le sens d'une sectorisation qui empêcherait la visualisation de liens existants entre divers éléments qui composent la ville, et qui font son fonctionnement. Celle-ci doit toujours s'envisager comme un ensemble complet, une totalité, dont on ne peut séparer les parties sans en perdre la signification.** On a en effet l'habitude de considérer, quand on utilise la théorie générale des systèmes que : 1. Le tout est plus que la somme des parties ; 2. La totalité détermine la nature de ses parties ; 3. Les parties ne peuvent pas être comprises lorsqu'on les considère isolément sans référence à la totalité ; 4. Les parties sont dynamiquement reliées entre elles dans une interaction, une interdépendance incessante (Fondi, 1986). La notion d'urbanisme intégré et de transversalité, voire de gouvernance dans la gestion des problèmes urbains, va d'ailleurs dans ce même sens d'une considération en totalité de la ville prise comme un système.

Mais si de ce fait, on ne peut « sectoriser » la ville pour en simplifier la complexité, comment faire pour en construire un modèle ? Une possibilité consiste à orienter la modélisation sur des notions et des éléments qui, par nature, ne sont pas sectorisés non plus, mais apparaissent parfaitement transversaux par rapport aux champs traditionnels de l'urbanisme. Dans ce sens, les notions étudiées plus haut apparaissent fondamentales : la proximité, l'éloignement et la dialectique qui les lie, apparaissent comme une composante intéressante, qui permet autant de caractériser l'habitat que l'économie, les transports, les déplacements, etc. C'est donc sur la dialectique transversale de l'éloignement et de la proximité que pourra s'appuyer une grande partie de la modélisation.



La loi relative à la Solidarité et au Renouvellement Urbain (SRU) et les nouveaux documents réglementaires qu'elle impose (SCoT et PLU) ne doivent donc pas s'entendre comme une fin en soi ; il ne s'agit pas de produire un texte qui fixe une fois pour toutes les pratiques de l'urbanisme, comme ont pu le faire les Schémas Directeurs et les Plans d'Occupation du Sol. Au contraire, et même si *in fine*, tous ces documents se ressemblent et servent à la même chose, la loi SRU ouvre une nouvelle porte en proposant de fonder les pratiques de l'urbanisme et l'élaboration de ces documents sur un réel projet, à partir de la prise en compte de son développement futur et de la manière avec laquelle on envisage d'intervenir sur ce futur. A l'image de la notion de développement durable, la loi est ouverte à une réflexion de vaste ampleur, qui met de nombreux acteurs autour de la même table. Mais, cette réflexion s'annonce ardue dans la mesure où tous n'ont pas les mêmes objectifs : il est difficile par exemple de concilier les opinions d'un représentant de la FDSEA (Fédération Départementale des Syndicats d'Exploitants Agricoles) et celle d'un promoteur immobilier sur le devenir des parcelles périurbaines ; leurs intérêts sont antagonistes. Parallèlement, tous les acteurs ne parlent pas non plus le même langage : le vocabulaire employé par l'un n'est pas celui de l'autre ; le premier aura une démarche procédurale et réglementaire, alors que celle du second sera peut-être simplement faite de bon sens et que le troisième, dépassé par les événements, ne fera que faire croire qu'il a compris quelque chose et finira par raconter n'importe quoi. Pour pallier le problème qu'engendre cette forme de dialogue sociétal, la modélisation apparaît encore comme une solution possible.

Si l'on a vu que la modélisation permettait de simuler un futur souhaité, ou au contraire un futur qu'on laisse à l'abandon, elle permet aussi dans un deuxième temps de simplifier la réalité et de la décomposer de manière à ce que tout un chacun puisse correctement la comprendre. Si tout le monde utilise la même simplification pour décrire le même phénomène, chacun parle alors la même langue et il devient possible de s'entendre autour d'un même projet, et de le construire en collaboration. **Face à l'étalement urbain et aux conséquences qu'il engendre, la modélisation apparaît comme une solution permettant de simuler les projets recommandés par la loi SRU, de manière à confronter l'opinion de divers acteurs (principe de la gouvernance) et de tester des solutions qui s'inscrivent dans le cadre du développement durable.** Mais, on a vu également que l'étalement urbain n'était qu'un cas particulier d'urbanisation, qui ne peut se dissocier de la dynamique urbaine en général. De surcroît, dans le cadre de la mise en place de scénarios prospectifs visant à simuler le futur pour construire un projet, certaines tendances devront être testées, qui ne correspondent en rien au processus d'étalement urbain, mais dont le but est *a contrario* de montrer les conséquences d'une politique spatiale et d'un aménagement stratégique visant à

lutter contre cet étalement. D'évidence, la modélisation est alors contrainte au départ. D'une part, elle doit autoriser des simulations assez vastes et variées pour que tous les scénarios imaginables en termes de développement urbain puissent être testés. D'autre part, elle doit être suffisamment simple pour être comprise par ceux qui l'utiliseront. Aussi, elle doit permettre de mieux comprendre une réalité trop complexe pour être prise en compte sans simplification.

Références bibliographiques

- Ackoff R.L., Gupta S.K., Minas, J.S., 1962, *Scientific Method : Optimizing Research Decisions*, New-York, 464 pages.
- Apostel L., 1961, *Towards the formal study of models in the non formal sciences*. In : Freudenthal H. (ed.), 1961, *The concept and the Role of the Model in Mathematics and Natural Social Science*, pp. 1-37.
- Babbage C., 1835, *On the Economy of Machinery and Manufactures*, Charles Knight, 4th edition enlarged, chapters 13 et 19, pp. 119-122, 172-190.
- Bambrough R., 1964, *Principia Metaphysica, Philisophy*, n° 39, pp. 97-109.
- Barel Y., 1971, *Prospective et analyse de systèmes*, Travaux et recherches de prospectives, n° 14, Datar, Ed. de la Datar.
- Beck U., Giddens A., Lash S., 1994, *Reflexive modernization. Politics, Tradition and Aesthetics in the Modern social order*, Cambridge, Polity Press.
- Bertalanffy (von) L., 1968, 1996, *Théorie générale des systèmes*, Ed. Dunod, Coll. Systémique, 308 pages.
- Birmingham, H. P., Taylor, F. V., 1954, *A human engineering approach to the design of man-operated continuous control systems (Report NRL 4333)*. Washington, DC: Naval Research Laboratory, Engineering Psychology Branch.
- Brémond J., Gélédan A., 1990, *Dictionnaire économique et social*, Hatier, 419 pages.
- Bridgman P.W., 1936, *The Nature of Physical Theory*, Princeton.

- Brunet R., Ferras R., Théry H., 1992, *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique*, Reclus-La documentation française, 518 pages.
- Buret E., 1840, *De la misère des classes laborieuses en France et en Angleterre*, Paris.
- Chorafas D. N., 1965, *Systems and Simulations*, 503 pages.
- Dauphiné, 1987, *Les modèles de simulation en géographie*, Economica, 187 pages.
- De Courson J., 1999, *La prospective des territoires. Concepts, méthodes résultats*, CERTU, Coll. Débats, n° 22, 70 pages.
- De Jouvenel B., 1964, *L'art de la conjecture*, Editions du Rocher, 407 pages.
- Emshoff J.R, Sisson R.L., 1970, *Design and use of computer simulation models*, Mac Millan.
- Feuvrier C., 1971, *La simulation des systèmes*, Ed. Dunod Universités, 152 pages
- FNAU, 2000, *Après les lois Voynet, Chevènement, SRU, les réflexions de la FNAU sur le nouveau contexte territorial*, Dossier FNAU, n°6, déc. 2000, 4 pages.
- FNAU, 2001, *Avant le sommet mondial de New-York. Une contribution de la FNAU aux réflexions sur le développement durable*, Dossier FNAU, n°7, 4 pages.
- Fondi R., 1986, *La révolution organiciste. Entretien sur les nouveaux courants scientifiques*, Ed. du Labyrinthe, 288 pages.
- Gonod P., Loinger G., 1997, *Méthodologie de la prospective territoriale*, Geistel, pour la Datar.
- Gras P., 2001, *Eloge raisonné de la gouvernance*. In : *Urbanisme*, HS « Ere urbaine, aires urbaines. Les enjeux de la gouvernance », Actes de la 21^{ème} rencontre des agences d'urbanisme, Hors-Série n° 14, janvier 2001, pp. 52-56.
- Guyot, 1968, *Essai d'économie urbaine*, Librairie générale de droit et de jurisprudence, R. Pichon et R. Durand-Auzias, 379 pages.
- Haggett P, Chorley R.J., 1967, *Models, Paradigms and the new géography*. In : Haggett P., Chorley R.J., 1967, *Models in Geography*, The Trinity Press, pp. 19-41.
- Jung J., 2000, *Le travail. Introduction, choix de textes, commentaires, Vade-mecum et bibliographie*, GF Flammarion, Coll. Corpus, 256 pages.
- Jungk R., 1974, *Pari sur l'homme*, Laffont, 292 pages.

- Koestler A., 1968, *Le cheval dans la locomotive. Le paradoxe humain*. Ed. Calmann-Lévy, Coll. Génie et folie de l'homme, 345 pages.
- Laville A., 1976, *L'ergonomie*, Presses universitaires de France, Coll. Que-sais-je ?, 128 pages.
- Lebrusque *et al.*, 1995, *La machine-outil*, Encyclopédie Universaelis, CD-Rom.
- Le Corbusier, 1925, *Vers une architecture*, Ed. G. Grès, 245 pages.
- Le Goff J.P., 2002, *La démocratie post-totalitaire*, La découverte, 202 pages.
- Lefranc, 1957, *Histoire du travail et des travailleurs*, Flammarion, 491 pages.
- Meadows P., 1957, *Models, Systems and Science*. In : Freudenthal H. (ed.), 1961, *The concept and the Role of the Model in Mathematics and Natural Social Science*, pp. 125-132.
- Merlin, 1998, *L'urbanisme*, Presses Universitaires de France, Coll. Que-sais-je ?, 128 pages.
- Montmollin (de) M., 1967, *Les systèmes hommes-machines. Introduction à l'ergonomie*, Thèse pour le doctorat d'université, Presses universitaires de France, 248 pages.
- Paquot T., 1996, *L'utopie ou l'idéal piégé*, Ed. Hatier, Coll. Optique Philosophie, 79 pages.
- Piganiol P., Russo F., 1995, *Prospective et futurologie*, Encyclopédie Universaelis, CD-Rom.
- Pumain D., Sanders L., Saint-Julien T., 1989, *Villes et auto-organisation*, Ed. Economica, 191 pages.
- RARE, ADEME, 2001, *Déplacements professionnels : une nouvelle voie pour l'entreprise. Plans de Déplacements Entreprise*, 6 pages.
- Rasmussen J., 1986, *Information processing and human-machine interaction : an approach to cognitive engineering*, North-Holland.
- Rémy J., 1966, *La ville : phénomène économique*, Ed. Vie ouvrière, 298 pages.
- Ricoeur, 1995, *Aliénation*, Encyclopédie Universaelis, CD Rom.
- Rouxel F., Rist D., 2001, *Le développement durable. Approche méthodologique dans les diagnostics territoriaux*, Rapport FNAU/Certu, 143 pages.
- Sapoval B., 1997, *Universalités et fractales*, Flammarion, Coll. Champs, 275 pages.

- Shen Z., Kawakami M., Kishimoto K., 2002, Study on the developement of an online design collaboration system for public participation. A case study of public park planning and design, *Proceedings of the 6th Conference on design and decision support system in urban planning*, Ellecom, The Netherlands, July 7-10, 2002, pp. 224-239.
- Simondon G., 1969, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier-Montaigne, 269 pages.
- Singleton T., 1971, *Psychological aspects of Man-Machine Systems*. In : Warr P.B., 1971, *Psychology at Work*, Penguin Education, pp. 97-120.
- Skilling H., 1964, An operational view. In : *American Scientist*, n° 52, pp. 388-396.
- Smith A., 1776, 1997, *La richesse des nations (Recherche sur la nature et les causes de la richesse des nations)*, Flammarion, 531 pages.
- Stouffs R., Tuncer B., Sariyildiz S, 2002, WoonWerf.nl revisited : the potential of web-based design communication with future clients. In : *Proceedings of the 6th Confernce on design and decision support system in urban planning*, Ellecom, The Netherlands, July 7-10, 2002, pp. 240-250.
- Thompson W., 1965, *A preface to urban economics*, Ed. J. Hopkins, Baltimore, 419 pages.

Conclusion de la première partie

L'étalement urbain est un processus qui ne peut s'étudier sans que ses conséquences soient prises en compte. La définition du Chapitre 1.1 le décrivait comme un processus spatial ; celle du Chapitre 1.2 tenait compte de ses conséquences sur la coalescence urbaine ; celle du Chapitre 1.3 portait sur ses conséquences au niveau de la cohérence urbaine. L'ensemble permet finalement d'en donner une définition plus complète : **l'étalement urbain est un processus d'urbanisation particulier, qui conduit à un arrangement de l'espace urbain privilégiant une expansion des périphéries moins denses que le centre des villes, qui contribue à perturber les équilibres environnementaux, qui déstructure l'espace et les hommes sur lesquels il agit, qui contribue à l'homogénéisation de certains secteurs et aux phénomènes de ségrégation qui l'accompagnent. On a vu qu'ainsi, l'étalement urbain annonçait la double crise de la coalescence et de la cohérence, et que sa continuation renforcerait la détérioration de l'environnement et contribuerait à accentuer la ségrégation urbaine.**

Avec l'étalement urbain, l'urbanisation actuelle semble donc bien introduire une double contradiction si l'on considère les villes dans leur sens historique, par rapport à leur histoire : c'est d'abord une contradiction spatiale, et finalement une contradiction humaine qui découle de la première. On a vu en effet, qu'historiquement, la ville devait nécessairement s'associer à une certaine forme de densité spatiale, de laquelle une proximité suffisante pour générer des économies d'agglomération est indissociable. Ces économies

d'agglomération lui ont ensuite permis de développer de nouvelles instances, notamment culturelles, politiques et administratives, qui ont contribué à la différencier du village, c'est-à-dire à l'affirmer en tant que ville. Il existe une forme de récursivité dans cette idée : la ville génère la densité ; la densité engendre la ville. Mais à l'heure actuelle, du fait des possibilités offertes par les réseaux de transports, leur vitesse et leur généralisation, il semble que le développement urbain puisse quitter ce schéma, et substituer un nouveau choix à l'ancienne contrainte de densité : il est désormais possible de choisir entre le proximal et le distal, puisque les vitesses de déplacement produites par les techniques actuelles permettent de s'éloigner du centre-ville tout en restant suffisamment proches en termes de temps. Cette possibilité de choix a un coût, qui est d'abord un coût environnemental. Mais, elle entraîne également une seconde contradiction qui, elle, se traduit par un coût social et humain.

En effet, si la densité induit une proximité spatiale, elle génère peut-être également une proximité sociale, qui a pu correspondre dans le passé à une caractéristique importante de la ville, organisée comme une communauté d'hommes. Les chartes communales des villes médiévales du 12^{ème} siècle sont l'un des exemples forts de la volonté de liberté et d'autonomie communautaire qu'ont inspiré certaines villes, à l'époque où leurs murailles les limitaient spatialement. Aujourd'hui, la réticulation permet de s'affranchir de la densité, c'est-à-dire de choisir de vivre dans un milieu dense comme au centre ville, ou dans un milieu peu dense, dans une commune de la couronne rurale. Cette possibilité permet également de choisir ceux avec qui l'on préfère vivre, et par là, des regroupements par affinité, par ressemblance socio-professionnelle, familiale, ethnique, etc. Ainsi, l'ancienne nécessité de mixité obligée par la densité est aujourd'hui remplacée par une possibilité de ségrégation (entendue dans un sens positif ou négatif), qui contredit l'un des principes que l'on a longtemps pu associer aux villes. A l'origine de cette contradiction, l'homologation des espaces périurbains n'apparaît pas moins importante que le processus d'étalement lui-même, et de la manière avec laquelle il combine des solutions techniques et des aspirations individuelles, pour créer dans les périphéries des poches d'habitats socialement déconnectés du reste de la ville : elles font alors sécession avec l'ensemble urbain auquel elles continuent pourtant d'appartenir sur le plan du fonctionnement : « la banlieue de masse : une anti-cité » a écrit L. Mumford (1961). **Par les modifications spatiales et sociales qu'il introduit, le processus d'étalement urbain annonce donc une double crise : celle de la coalescence et celle de la cohérence. Cette crise, qui, par définition, correspond à une « phase grave dans l'évolution des choses » et qui s'associe à l'idée de *perturbation* et de *rupture* (Nouveau Petit Robert, 1993), montre que les villes de demain seront peut être suffisamment différentes de celles que nous avons connu jusqu'ici pour que, comme l'a déjà proposé F. Choay, on ne les appelle plus de villes, mais que l'on parle d'Urbain pour les qualifier.**

Cette rupture peut alors engendrer une nouvelle forme de regroupement de l'habitat, qui correspond à une transition d'une phase à une autre, en tous points comparable à celle que O. Mongin souligne entre les villes d'âge I et les villes d'âge II. Un certain nombre des éléments qui ont permis à ces auteurs d'annoncer cette fin des villes organisées selon des schémas hérités de l'Antiquité ou de la révolution industrielle se retrouve effectivement dans la phase actuelle d'urbanisation que l'étalement urbain permet aujourd'hui de caractériser. La crise de la coalescence et de la cohérence montre en effet que les villes ont suffisamment changé pour qu'on les considère autrement. C'est d'ailleurs chose faite si l'on regarde la réglementation et l'état d'esprit qui gouverne l'établissement des documents technico-administratifs urbains : la loi SRU remplace les Schémas Directeurs par des Schémas de Cohérence Territoriale. Dans le même temps, elle accorde ainsi une nouvelle souplesse à ceux qui sont amenés à gérer concrètement les nouveaux territoires issus de l'étalement urbain. Il ne s'agit plus de diriger l'aménagement des villes, mais d'orienter son développement dans le cadre d'une recherche de cohérence, qui se fonde sur un territoire dont les limites sont à définir, et qui peuvent dès lors correspondre aux nouveaux territoires urbains. Par l'intermédiaire des ScoT, la loi SRU insuffle une nouvelle façon d'envisager l'aménagement, qui se fonde sur un projet. Ce projet se fonde lui-même explicitement sur ce constat que l'on ne sait pas réellement dans quel sens l'urbanisation va se poursuivre ; il a donné le titre d'un ouvrage de F. Ascher : « ces événements nous dépassent, feignons d'en être les organisateurs ». Le reste n'est qu'un enchaînement logique : le projet nécessite de s'intéresser à ce qui peut advenir dans le futur ; s'intéresser à l'avenir oblige à mettre en place une démarche prospective ; la démarche prospective nécessite un certain nombre de simulations (correspondant à des scénarios) pour l'alimenter ; les simulations ne sont souvent possibles que si une modélisation fournit une version suffisamment simple et organisée de la réalité pour que les éléments correspondant y soient injectés. *In fine*, la modélisation apparaît alors comme une solution parmi d'autres pour répondre au problème de l'urbanisme et de l'urbanisation, afin d'envisager l'avenir des villes dans un cadre prospectif et d'anticiper des situations comparables à celle que l'étalement urbain a pu engendrer. **L'ensemble se fonde alors sur une hypothèse générale H : « des changements urbains se sont produits et ils continueront à se produire, avec des conséquences difficiles à prévoir a priori ; on peut cependant tenter d'en visualiser les plus fortes probabilités d'occurrence ».** Parce qu'elle porte sur la ville et donc sur un système complexe, cette modélisation induit une simplification et implique que cette hypothèse générale soit décomposée en sous-hypothèses, plus simples, plus précises et plus opérationnelles.

PARTIE 2
UNE MODELISATION
EN TROIS ETAPES

Introduction de la deuxième partie

Avant de modéliser la complexité d'une ville et de ses changements dans l'espace et dans le temps, il est nécessaire de disposer des données qui permettent de la connaître et de l'étudier. En effet, l'objectif prospectif de la modélisation contraint à visualiser la dynamique spatio-temporelle urbaine à laquelle correspond le processus d'étalement urbain. Mais ces données n'existent, semble-t-il, ni à la bonne échelle temporelle, ni à la bonne échelle spatiale. Il est pourtant nécessaire de prendre en compte concrètement l'espace de la ville, afin que les différentes zones concernées par l'étalement urbain puissent être clairement identifiées et « manipulées ». Or, l'échelle de la commune, voire dans certains cas l'échelle de l'îlot, ne permettent pas de la prendre en compte de manière suffisamment fine. Pour envisager ce double problème, **on pose alors l'hypothèse h' , préalable à la modélisation des dynamiques et des changements urbains, que la considération spatio-temporelle de la ville peut être comparée dans l'espace et dans le temps si on la considère à travers un espace cellulaire.** Cette hypothèse est nécessaire et fondamentale pour la modélisation : elle permettra de définir la résolution spatiale à laquelle les changements urbains pourront être visualisés et modélisés. Elle cherche à répondre à la question 'comment ?' : comment appréhender la ville, ses processus et sa dynamique ?

Pour visualiser les plus fortes probabilités d'occurrence des changements urbains futurs, et donc, le cas échéant, de l'étalement urbain, il est ensuite nécessaire de décomposer leur étude en plusieurs étapes. Chacune sera alors plus simple et plus précise, parce qu'elle s'associera à un objectif lui-même plus simple, pour lequel des solutions opérationnelles existent certainement. **Ici, on peut donc se poser trois questions concernant les futurs changements**

urbains : ‘combien ?’ ‘où ?’ et ‘quoi ?’ Associées et prises en compte successivement, ces trois questions contribuent à la vérification de l’hypothèse générale *H*. Mais, la réponse à ces questions sera fortement influencée par la prise en compte cellulaire de l’espace. Ainsi, dans un premier temps, on cherche à savoir quelles surfaces, c’est-à-dire combien de cellules, seront amenées à changer ; on peut alors poser l’hypothèse *h*₁ **que les changements peuvent varier en quantité en fonction de chacune des occupations du sol qui composent la ville.** Dans une deuxième étape, on cherche ensuite à localiser ces surfaces pour savoir quels sont les endroits qui changeront ; on émet alors une deuxième hypothèse *h*₂, **que les dynamiques et les changements urbains ne se répartissent pas également dans l’espace mais suivent une logique en lien avec la forme de la ville et ses réseaux.** Enfin, dans une troisième étape, il s’agit finalement de différencier les changements, c’est-à-dire de savoir à quelle catégorie d’occupation du sol correspondent les espaces quantifiés à la première étape et localisés à la seconde ; ceci amène à poser l’hypothèse *h*₃ **que les cellules ainsi déterminées se différencient par un changement de leur occupation du sol.**

La modélisation apparaît toutefois comme une opération complexe ; on a vu qu’elle avait plusieurs facettes et que dans certains cas, une règle, une loi, même une expression ou un mot, pouvaient être considérés comme un modèle. *In fine*, la modélisation apparaît en effet comme une simplification de la réalité construite dans le but d’expliquer cette réalité, et qui s’impose forcément comme une réduction, dans la mesure où elle n’en tient pas compte dans son ensemble, mais insiste particulièrement sur certaines de ses parties. Dans notre cas, compte tenu de l’acceptation théorique que nous avons donnée de la ville, en référence aux travaux de M. Sorre (1952) qui ont permis de dégager la coalescence et la cohérence comme deux champs de forces permettant à la ville de perdurer dans l’histoire, et qui ont également été utilisés comme une sorte de filtre pour étudier l’étalement urbain et ses conséquences, la modélisation des changements urbains envisagée devrait tenir compte de ces deux champs. Mais, ils font appel à des corpus théoriques différents, et ne peuvent que difficilement être visualisés avec des vecteurs communs. Aussi, une modélisation de la totalité, tenant compte simultanément de la coalescence et de la cohérence, est difficilement envisageable. De surcroît, elle n’est pas forcément nécessaire dans le cadre d’un modèle faisant office d’outil orienté vers la planification pour des aménageurs. **Aussi, la modélisation n’envisagera la ville que sous sa forme visible, telle qu’on peut la voir sur des cartes, décrite par un certain nombre de catégories d’occupation du sol distinguant ce dont elle se compose.** Cette approche tiendra compte de la coalescence et de ses conséquences. Mais, il est plus délicat de s’interroger sur le problème de la cohérence. Par l’intermédiaire de la carte, ses conséquences seront partiellement visibles, notamment si elles produisent une forte homogénéité dans les constructions issues des changements. Mais, l’acceptation que les habitants ont de l’espace ainsi créé ne sera pas directement appréhendée par la modélisation,

qui devra être complétée par d'autres approches faisant probablement appel autant à la sociologie et à la psychologie environnementale qu'à la géographie.

Considérée ainsi, la modélisation peut s'assimiler à un changement de langage permettant de considérer la ville autrement et de façon simplifiée. S'il prend la forme d'une équation mathématique, ce langage peut de surcroît s'ouvrir à de nombreuses possibilités de simulation, et s'exprimer de façon universelle. Il répond alors à ce double objectif de permettre un exercice de simulation prospective et d'être unanimement compréhensible par l'ensemble des acteurs concernés par cet exercice. Le seul problème est que les mathématiques sont certes un langage universel, mais peu de personnes le parle. Dans le monde de l'aménagement et de l'urbanisme, son assimilation est délicate, et demande un effort d'abstraction parfois important, qui peut à terme condamner la modélisation à ne jamais servir, et l'outil qu'elle est à trouver sa place définitive au fond d'un tiroir. Dans le monde des élus, l'explication de la ville et de son fonctionnement dans un langage mathématique relève d'une gageure, voire d'un défi auquel il est préférable de ne pas se frotter si l'on ne veut derechef se voir assimilé à un mystificateur. **Dans tous les cas, même si un modèle mathématique était accepté et utilisé, il y a peu de chances qu'il soit compris par tous, ce qui condamne également l'exercice de prospective et sa pertinence. Il apparaît alors très difficile de transférer un modèle mathématique universitaire dans le monde de l'aménagement, même si celui-ci apparaît pleinement pertinent et justifié.** Prenons l'exemple d'un modèle *Logit*. Le principe de ce type de modèle correspond généralement à identifier la majorité, voire l'exhaustivité des facteurs rentrant en ligne de compte dans la considération d'un processus, puis d'ajuster ces facteurs par une série de coefficients α et β (dont certains sont stochastiques) placés avant et après, de manière à ce que le résultat corresponde à une réalité observée. L'intérêt de ce type de modèles réside alors autant dans l'analyse des facteurs étudiés que dans la valeur des coefficients nécessaires pour les ajuster. De ce fait, ce sont souvent des modèles *ad hoc*, qui décrivent bien un espace particulier, mais qui ne peuvent être transférés à un autre cas sans que l'ensemble soit ajusté à nouveau¹. Ils produisent généralement des équations à rallonge dont la lecture peut être rébarbative et décourager les non-initiés. D'autres types de modèles, faisant intervenir des équations différentielles (Enaux, 1998, par exemple), produisent la même complexité, mais s'associent de surcroît à un principe mathématique demandant un investissement supérieur. Dans d'autre cas encore, on retrouve un même type de complexité, mais présentée sous une forme différente. L'introduction d'équations différentielles à l'intérieur d'un automate cellulaire, permet de produire un modèle mathématique complexe pour décrire une réalité urbaine,

¹ Il y a alors un intérêt à comparer les coefficients qui ont permis l'ajustement sur différents espaces dans la mesure où leur interprétation peut permettre de tirer des conclusions sur le fonctionnement de ces espaces.

mais dont les équations fondatrices sont souvent masquées par l'interface de fonctionnement simplifiée des automates cellulaires. Par la suite, ce modèle peut encore être augmenté par d'autres variables, permettant par exemple une prise en compte différentielle de la distance, en fonction des objets que l'on étudie. A l'inverse des modèles *Logit*, l'équation générale n'est pas visible et l'ensemble des paramètres est géré par une même interface. On se trouve néanmoins face à ce problème que l'enchaînement des processus, des scénarios ou des phénomènes testés est parfois difficile à retrouver par l'utilisateur s'il n'a pas suivi toutes les étapes qui ont servi à l'élaboration du modèle ; le modèle correspond alors à une boîte noire (*Black Box*) dans laquelle on introduit des données en entrée et qui produit des résultats en sortie, mais sans que l'utilisateur ne comprenne réellement ce qui se passe entre les deux.

Qu'il s'agisse d'un modèle *ad hoc* ou d'une boîte noire, la complexité de la modélisation peut être un frein à son utilisation. Elle réduira la portée de l'outil en pratique, même si celle-ci est importante sur le plan théorique. Dans ce contexte, il est important de réfléchir au problème préalablement à la modélisation, de manière à le prendre en compte et à y apporter des solutions dès le départ. Ainsi, on proposera de focaliser réellement sur les trois questions permettant de répondre à la problématique générale de la modélisation de la dynamique de l'étalement urbain, et d'envisager cette modélisation à partir de ces trois questions. L'idée consiste alors à construire un modèle général fondé sur la complémentarité de trois autres modèles. Pour chacune de ces trois étapes, il conviendra de trouver une forme et un langage qui soient pertinents sur le plan théorique et qui permettent de considérer correctement la ville et ses changements, mais qui soient également facilement compréhensibles par le monde de l'aménagement auquel ils se destinent. **La décomposition de la modélisation en trois étapes, consistant successivement à quantifier, à localiser et à différencier les changements urbains, œuvre dans le sens de cette simplification.** Appuyé sur un outil technique particulier, permettant l'interfaçage logiciel des trois étapes, elle devrait constituer un modèle global efficace et opérationnel.

Chapitre 2.1

Structurer une base de données : le carroyage des informations

Avant de modéliser la complexité d'une ville, et même si l'on postule que cette complexité peut se décomposer pour être mieux appréhendée, il est nécessaire de disposer des données qui permettent de la connaître et de l'étudier. En effet, l'objectif prospectif de la modélisation d'un processus contraint à visualiser la dynamique spatio-temporelle urbaine à laquelle correspond ce processus, ici l'étalement urbain. Mais ces données existent rarement à la bonne échelle temporelle et spatiale : nous ne disposons *a priori* d'aucun document permettant de comparer une ville simultanément dans l'espace et dans le temps, quelle que soit la ville étudiée. **La question préalable à toutes les autres est alors : « comment appréhender la ville et ses processus ? »**. Nous verrons à travers l'exemple de la ville de Belfort¹ qu'une fois transformés, certains documents permettent de faire cette comparaison diachronique. A Belfort, en effet, un certain nombre de cartes topographiques de l'IGN, relevées dans les années 1950 et 1970, existent et sont conservées aux archives municipales. Elles montrent une information spatiale analogique, et ne peuvent pas être directement comparées les unes aux autres. Pour tenter de les rendre comparables, il est nécessaire de réfléchir à une méthode permettant de le faire. Comme W. Tobler (1978), on peut alors se souvenir du film de Moby Dick, et particulièrement de ce passage dans lequel le capitaine Achab recherche des baleines blanches à l'aide d'une carte sur laquelle figure un quadrillage régulier. Sans le savoir et pour rendre comparable l'espace marin dans lequel il

¹ L'historique et la justification théorique de l'exemple de la ville de Belfort feront l'objet de la troisième partie. On verra alors pourquoi cette ville a été choisie comme exemple pour mettre au point et tester la modélisation. Pour l'instant, et pour l'ensemble de la deuxième partie, nous n'y feront référence que sur un plan « technique », pour expliquer le principe des modèles, ainsi que les résultats qu'ils permettent d'obtenir.

chasse, il crée alors l'ébauche d'un espace cellulaire, chaque carreau du quadrillage correspondant en fait à une cellule. L'expérience du capitaine, mais surtout les travaux de W. Tobler (1967, 1978) qui y font référence, ou encore ceux de H. Couclecis (1985, 1988) nous conduisent à poser l'hypothèse *h'* : **la considération spatio-temporelle de la ville peut être comparée dans l'espace et dans le temps si on la considère à travers un espace cellulaire, obtenu par carroyage**. Dans le cas de la ville de Belfort, un carroyage de cartes topographiques actuelles et anciennes permet alors d'obtenir trois images comparables de la ville : une première en 1955, une deuxième en 1975 et une dernière en 1995. Ce passage d'une information analogique à des données qu'il sera possible de lire de façon numérique apparaît ainsi comme une transformation nécessaire pour comparer des cartes dans l'espace et dans le temps. Il possède des inconvénients, mais aussi des avantages. Certes, il contraint à visualiser l'espace étudié en mode *raster*², par l'intermédiaire des cellules assemblées dans une grille. Par contre, cette lecture *raster* peut très rapidement déboucher sur une lecture matricielle de l'espace : le carroyage permet alors de considérer l'espace géographique comme une matrice, ce qui ouvre la voie à de nombreuses possibilités de modélisation.

1. L'intégration de données spatio-temporelles

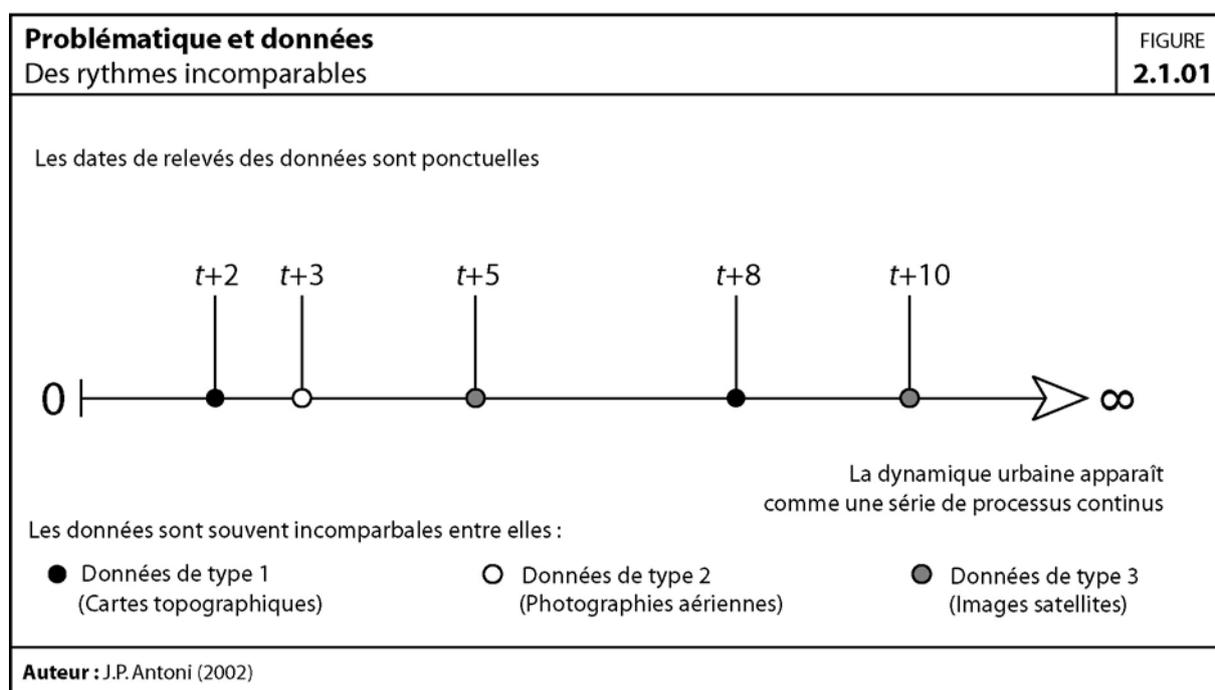
Quel qu'il soit, un problème géographique ne peut être traité sans les données qui lui sont associées. Ces données, *a fortiori* spatiales, n'existent pas toujours, et, si elles existent, elles ne sont pas toujours comparables entre elles. La littérature abonde sur ce sujet (Dureau, 1995, etc.) et propose un certain nombre de solutions, techniques et méthodologiques pour construire une base de données solide et fiable à partir d'entrées parfois disparates. On peut donc considérer sur ce point, qu'à partir du moment où les données existent, une méthode peut être trouvée, dont la qualité des résultats dépend directement de la qualité des données. Mais, les choses se compliquent quand, au cœur du problème géographique traité, ce n'est pas l'espace géographique, mais les processus qui conduisent à cet espace que l'on cherche à identifier. Ici, c'est en effet sur le processus d'étalement urbain que l'on cherche à focaliser l'attention.

1.1. A propos du temps et de l'espace dans l'étude

On a vu dans la première partie qu'un processus correspond à un « ensemble de phénomènes conçus comme actifs et organisés dans le temps » (Le petit Robert, 1993), ou

² Provisoirement, on peut retenir la définition suivante d'un document *raster* : « c'est une image, une photo ou un plan représenté par une grille (ou trame) de points blancs ou noirs, ou de couleurs » (www.pixedit.fr).

encore que « ce peut être une simple description d'un phénomène ou sa logique opératoire ». Dans tous les cas, le processus apparaît comme une notion temporelle, et l'on s'attache, en géographie, à décrire sa logique dans l'espace (cf. Partie 1, Chapitre 1). Sur le plan des données, l'étude des processus pose alors essentiellement deux problèmes : 1. Aucune source de données ne permet *a priori* de saisir un processus : elles n'en offrent que des images statiques ; 2. Ces images statiques sont relevées à un certain rythme qui n'est que rarement (et c'est alors un hasard), celui du processus étudié.



1.1.1. De la problématique à la source des données

La Figure 2.1.01 synthétise globalement l'ensemble de ces problèmes : des sources d'informations disparates et incomparables, des rythmes de relevés sans aucun rapport avec la temporalité des processus étudiés. **Pour étudier le processus d'étalement urbain tel qu'il est apparu dans l'agglomération de Belfort, il est pourtant nécessaire de collecter les données géographiques permettant de l'appréhender, et d'organiser ces données de manière à ce qu'elles permettent de le visualiser correctement. Ces données sont bien sûr des informations spatiales. Mais ce sont aussi des informations temporelles qui doivent montrer comment les choses ont évolué. La base de données à construire est donc *a fortiori* une base de données spatio-temporelle dans laquelle les informations spatiales se succèdent dans le temps, pour pouvoir être analysées en diachronie.** La question est alors de savoir comment organiser ces données de manière à ce qu'elles puissent être interrogées pour nous renseigner sur la problématique de l'étalement urbain. Aucune solution n'existe *a*

priori, mais une nouvelle génération d'outils génériques est apparue il y a une quinzaine d'années pour traiter ce type de problèmes : les Systèmes d'Information Géographique (SIG).

Qu'est-ce qu'un SIG ? A l'heure où la bibliographie abonde sur le sujet et où l'outil se généralise dans les universités comme dans les collectivités locales en charge d'aménagement ou de gestion de l'espace, la réponse à cette question demeure complexe. De façon très concrète, M. Wurtz (1996) utilise chacun des termes de l'expression pour définir un SIG. Dire qu'il s'agit d'un système revient alors à dire que l'on « se trouve [...] en face de quelque chose de structuré et de cohérent ». En fait, un « système d'information est une réalité concrète, à laquelle on associe en général un outil informatique qui permet de gérer facilement des données complexes et interdépendantes. Un SIG est donc souvent, et tout d'abord, une sorte de système de gestion de base de données ». La terminologie renvoie ensuite à l'information. Mais, « aucune information n'existe par elle-même. Elle doit être communiquée pour prendre toute sa valeur. Un SIG n'échappe pas à cette règle, et offre des outils de communication et de présentation puissants (statistiques, cartes, etc.) ». Enfin, on trouve l'adjectif « géographique », auquel certains substituent et préfèrent l'expression « à référence spatiale », notamment au Canada (cf. Pornon, 1990 ; Collet, 1992) où l'on parle couramment de SIRS (Systèmes d'Information à Référence Spatiale). M. Wurtz (1996) note alors que parler de référence spatiale « fait explicitement référence à la géométrie et la localisation des entités gérées. Par contre, quand on parle de géographie, on ne s'arrête pas aux simples mesures spatiales, mais on entre dans le domaine beaucoup plus vaste de l'appréhension de l'espace, avec toutes ses dimensions, y compris économiques ou sociales ».

Un SIG apparaît donc comme un système d'information, mais il se distingue des bases de données traditionnelles telles que celles gérées par des SGBD (Système de Gestion de Base de Données), dans la mesure où celles-ci n'en contiennent qu'une partie. Le SIG ajoute en effet le géoréférencement à ces données, ce qui permet de les visualiser sous la forme d'une image, que l'on assimilera le plus souvent à une carte. Ainsi, comme le notent R.M. Itami et R.J. Rauling (1993), « *in a GIS, the Earth's features are not only represented in pictorial form, as in conventional paper maps, but as information or data. This data contains all the spatial information of conventional maps, but when stored in a computer, is much more flexible in the way it can be represented. Spatial data in a GIS can be displayed just like a paper map with roads, rivers, vegetation and other features represented as lines on a map complete with legend, border and titles, or it can be represented as a set of statistical tables, which can be converted to charts and graphs. The most important feature of GIS is that spatial data are stored in a structured format referred to as a spatial data base. The way spatial data are structured will determine the how easy it is for the user to store, retrieve and analyse the information* ». L'information géographique d'un SIG est visualisable cartographiquement : les fichiers issus des SIG sont des fichiers de données qui conservent le système de relation d'une carte, par l'intermédiaire du géoréférencement, mais sans que celle-ci ne soit automatiquement visualisable comme une image. On peut par contre générer

une multitude d'images à partir des données contenues, ce qui permet d'assimiler un SIG à une « machine à produire des cartes ». Toutefois, il est plus que cela, et l'on peut retenir les quatre fonctionnalités de base décrites par P.A Burrough (1986) : 1. Saisir des données (numérisation) ; 2. Stocker des données (base de données graphique et attributaire) ; 3. Analyser des données (requêtes, modélisations, simulations) ; 4. « Sortir » des données (production de cartes, tableaux, graphiques, exportation et transferts de fichiers).

En jouant avec les termes de l'acronyme anglais (GIS pour *Geographical Information System*), M. Goodchild (1997) insiste également sur trois spécificités des SIG qui les rendent très utiles pour le travail des géographes, et particulièrement intéressants pour appréhender l'espace géographique. M. Goodchild note tout d'abord GIS comme GISystem : il s'agit d'utiliser un outil pour résoudre un problème, et d'améliorer cet outil. Ensuite, GIS comme GIScience : étudier les concepts et les modèles sous-jacents à l'outil, en se familiarisant avec les disciplines techniques et scientifiques qui lui sont liées (informatique, géométrie, topologie, etc.). Enfin, il note GIS comme GISudies : il s'agit d'étudier la manière dont les SIG sont implémentés et utilisés dans la société (aspects économiques, historiques, légaux, sociologiques, etc.). Dans un tel contexte, on ne s'étonnera pas que les SIG soient des engins difficiles à définir. On ne s'étonnera pas non plus qu'ils soient critiqués, certains estimant que finalement, ils apparaissent comme des outils faibles pour une analyse complexe de l'espace géographique (Dangermond, 1987 ; Laaribi, 2002). Nous auront l'occasion de revenir sur ce point. Retenons simplement pour l'instant que, **comme ils apparaissent être des outils intéressants pour saisir, stocker, analyser et cartographier des données géographiques, il est intéressant d'intégrer dès le départ les SIG dans la démarche de construction de la base de données spatio-temporelle.**

1.1.2. Les sources et le matériel en présence

Mais, s'il est clair que des données sont nécessaires et qu'elles peuvent être stockées dans un SIG, il s'agit maintenant d'étudier respectivement les données et le SIG dont il est effectivement possible de disposer. La base de données utilisée pour la modélisation doit en effet être compatible avec l'outillage technique dont dispose l'Autb, ainsi que ses partenaires, notamment le service de l'information géographique de la Communauté d'Agglomération Belfortaine (CAB), avec qui les échanges de fichiers (fichiers sources ou fichiers traités), sont relativement importants. Il existe en effet, à Belfort, une volonté assez forte de partager les sources d'information, ou au moins, de garantir leur compatibilité. Dans ce cadre, l'ensemble des partenaires qui utilisent et manipulent des informations géographiques travaillent avec la même système : le SIG français GéoConcept. GéoConcept est un système vectoriel intéressant, dont les fonctionnalités concurrencent largement celles d'autres SIG, notamment celles du leader mondial ArcView ou de MapInfo. A quelques détails près, et sous réserve de disposer de l'intégralité des modules proposés, GéoConcept et ArcView sont deux

produits équivalents³. Mais, dans le mesure où le SIG de Belfort ne sert pas à faire des études ou des recherches spatiales particulières, mais constitue plutôt un outil de gestion de données localisées, tous les modules, notamment le module *Miner* (qui correspond au module *Spatial Analyst* d'ArcView) ne sont pas disponibles. La « communauté géomatique » ne dispose que de GéoConcept Expert, c'est-à-dire de la version de base agrémentée de quelques fonctions topologiques supplémentaires, d'un module de calcul d'isochrones, et surtout de la possibilité de gérer une base de données contenant plus de 50000 objets⁴. Le choix du SIG est donc clair : GéoConcept Expert (version 4.0 puis 4.2).

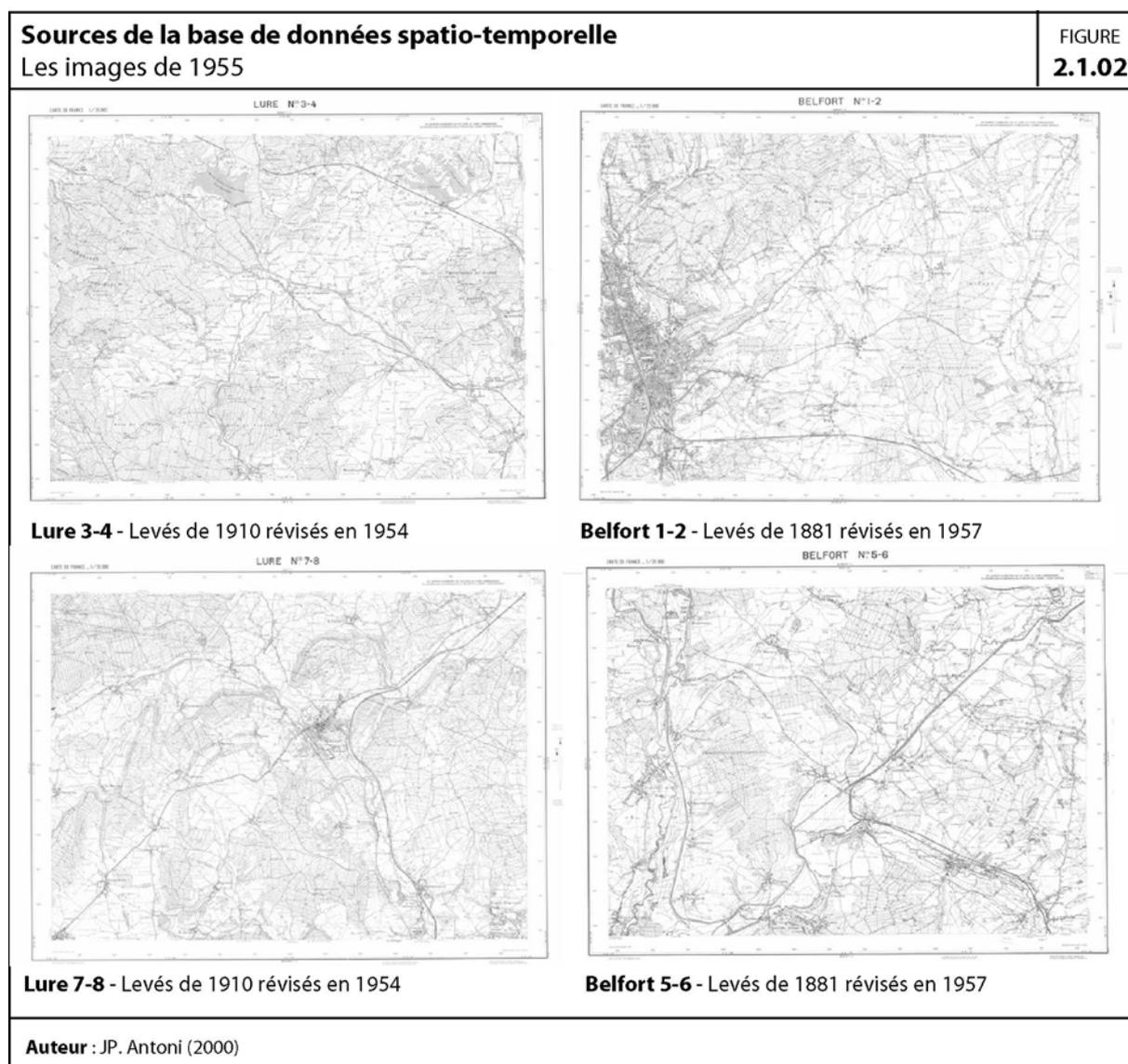
Quelles sont maintenant les données à mettre dans GéoConcept ? En général, quand on cherche à étudier l'évolution d'objets spatiaux, ou bien un processus qui s'inscrit dans l'espace, on utilise des images satellites. Les informations obtenues par télédétection spatiale sont en effet bien pratiques puisque d'une part, elles couvrent des portions de territoire assez vastes, et que d'autre part, elles sont exhaustives (l'ensemble de l'espace traité est renseigné). Dans une précédente étude, par exemple⁵, on avait essayé d'étudier l'évolution diachronique de la Zone Morphologique Urbaine (ZMU) de Strasbourg, en utilisant une image Spot de 1982 et une autre de 1990. Ces deux images décrivant la ville à deux dates ont permis d'obtenir des résultats intéressants. Mais, dans le cas de l'étude de l'étalement urbain sur la ville de Belfort, le problème est différent puisque, la jeunesse relative de ces documents ne permet pas une étude temporelle à l'échelle du processus d'étalement urbain. Au mieux, en effet, les images de la télédétection spatiales sont disponibles depuis la fin des années 1970 ; et l'on a vu que le processus d'étalement pouvait être daté (dans la phase de l'urbanisation que nous considérons ici) comme débutant dans les années 1950. Utiliser des images satellites, si nous en avons, contraindrait donc à n'étudier que la moitié du processus, au risque de ne rien y comprendre. Ainsi, ne pouvant disposer de tels documents, on peut se replier sur les photographies aériennes, avec cette chance que l'Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort dispose (par l'intermédiaire d'une convention avec la DDE) de deux jeux de photos : l'un date de 1952, l'autre de 1998. A la différence des images satellitaires, ces deux jeux de données permettent à peu près de couvrir la période d'étude.

³ Les produits GéoConcept sont néanmoins orientés en fonction d'une politique commerciale qui les tournent vers les applications de géomarketing et la gestion de clientèle.

⁴ La constitution de la Base de Données Géographiques (BDG) ne s'appuie sur aucune base existante (c'est-à-dire ni sur un produit commercial IGN, ni sur une structure existante auprès des collectivités et administrations du Territoire de Belfort). Elle débute donc, en même temps que la constitution de la BDG de l'Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort, par une recherche de sources et un géoréférencement indispensable à son développement.

⁵ Nous faisons ici référence à une étude réalisée en 1998, dans le cadre d'un cours de télédétection de DEA, réalisée en collaboration avec O. Richard, M. Schalk et N. Osborne, qui consistait à définir la zone morphologique urbaine de Strasbourg à partir d'images satellites.

Mais, le manque de données entre les deux dates contribue à fausser l'étude du processus



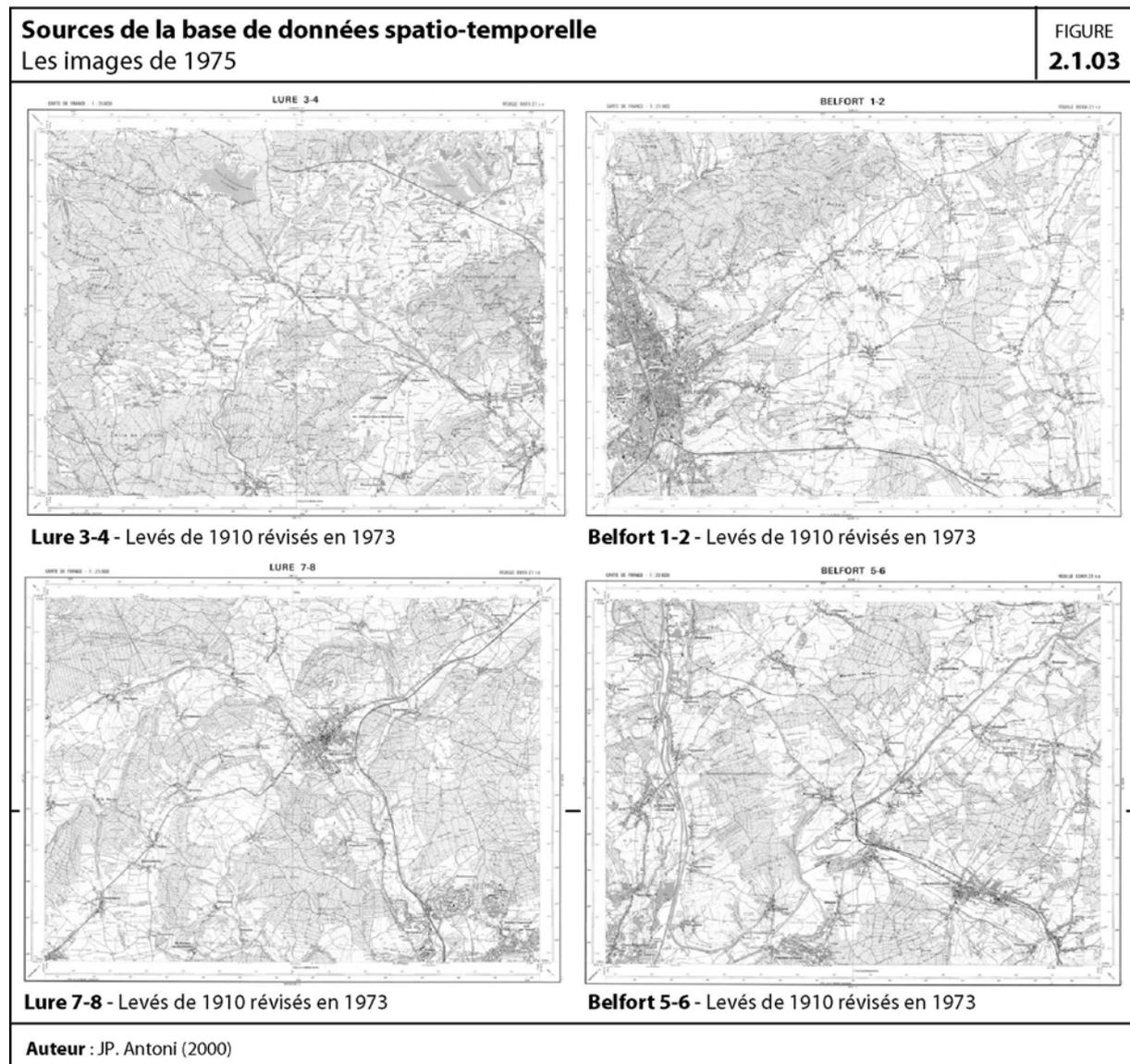
d'étalement urbain dans la mesure ou il oblige à « linéariser » son évolution, et à postuler qu'il s'est déroulé de façon constante et identique sur plus de 40 ans. Les chiffres de l'INSEE montrent bien que ceci est faux et que le recensement de 1975 marque une rupture dans l'évolution de l'urbanisation française (cf. Chapitre 1.1)⁶. De surcroît, les photographies aériennes sont des documents analogiques (papier pour le jeu de 1952, numérique pour celui de 1995) dont le premier jeu n'a pas été redressé (orthonormé)⁷. Par nature, elles ne sont de

⁶ Ce constat sera repris dans le Chapitre 3.1.

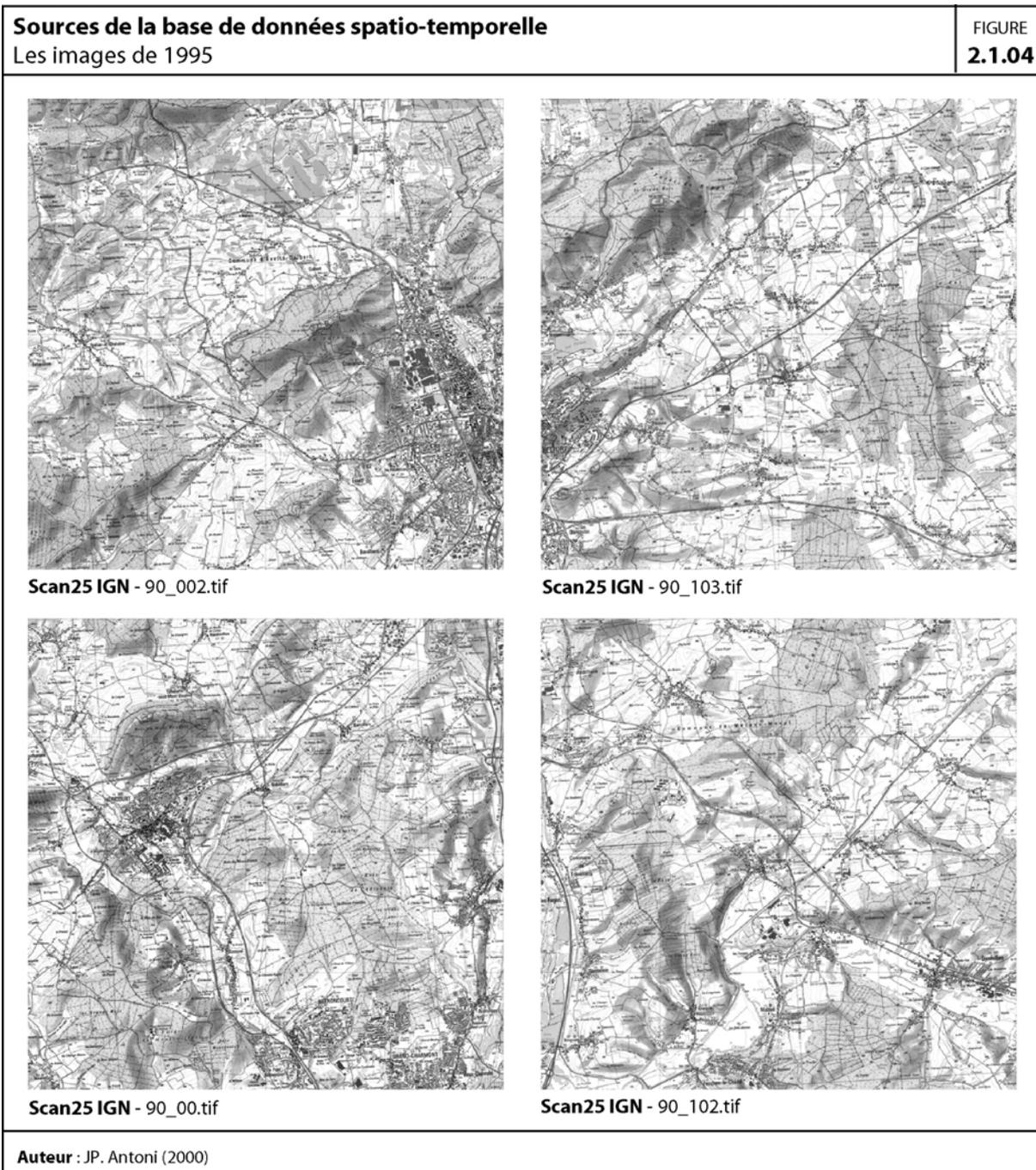
⁷ Pour construire des photographies aériennes (que l'on appelle également orthophotoplans), plusieurs phases sont nécessaires. Tout d'abord, la phase d'acquisition comprend une étape de prise de vue aérienne et une étape de numérisation des clichés bruts. Ensuite, la phase de traitement des clichés consiste à produire un modèle numérique de terrain, puis à les corriger sur le plan géométrique et sur le plan radiométrique. Cette correction géométrique est une sorte de redressement

Partie 2 – Une modélisation en trois étapes

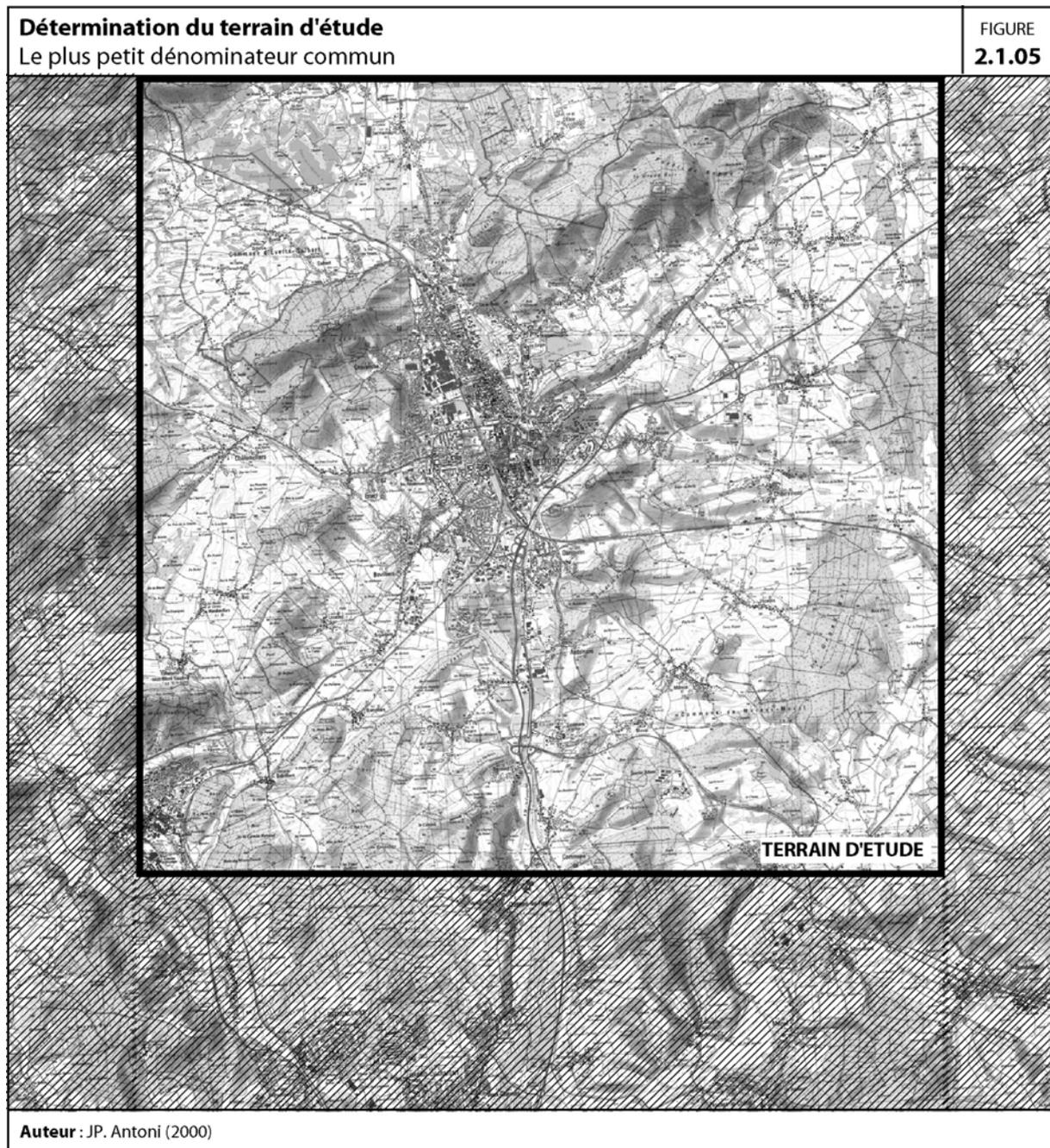
surcroît pas reclassables et, même après traitement, il est difficile d’y lire l’espace en terme de catégories d’occupation du sol. De ce fait, il est préférable de se replier sur une troisième source de données : les cartes topographiques. En effet, une visite aux archives départementales et municipales permet de récupérer plusieurs jeux de cartes topographiques ; le premier a été relevé entre 1954 et 1957, et le deuxième en 1973.



des images qui assure que tous les points de l’image possèdent des coordonnées géographiques dans le système de projection choisi, en éliminant les déformation aux bords, inévitables lors de la prise de vue. Le rendu final peut alors débuter : mosaïquage numérique des fichiers, fourniture de l’orthophotoplan proprement dit, et derniers contrôles.



De plus, l'Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort dispose d'un fichier numérique Scan25 de l'IGN, daté de 1995, qu'elle utilise couramment pour ses travaux. En résumé, il est donc possible de constituer une base de trois dates (1955, 1975 et 1995), ce qui a l'avantage d'offrir un pas de temps régulier de 20 ans (Figures 2.1.02, 2.1.03, 2.1.04). Ce pas couvre l'ensemble de la période sur laquelle il semble judicieux d'appréhender le processus d'étalement urbain, avec une date intermédiaire en 1975, date qui insufflé un tournant dans le processus d'urbanisation.



L'ensemble des documents sources ainsi collecté est à l'échelle du 1/25000, référencé dans le système de projection Lambert II étendu, et provient de l'IGN. Cette échelle est largement suffisante pour étudier l'étalement urbain sur une ville comme Belfort. A l'instar du 1/50 000 qui manque de finesse à plusieurs égards, le 1/25 000 permet de distinguer très nettement chacun des éléments bâtis présents pour chaque date, jusqu'à la maison individuelle, parfaitement identifiable. Mais, parmi ces documents, deux jeux ne sont pas numériques : les images source de 1955 et de 1975 sont au format papier et ne peuvent être intégrées comme telles dans un SIG.

Il est donc nécessaire de les numériser avant de les géoréférencer. Afin que cette opération détériore le moins possible les documents source, déjà abîmés et déformés par une longue période de stockage aux archives départementales et municipales, la numérisation a été effectuée en une seule fois pour chaque carte, au format A0, dans une qualité supérieure produisant des fichiers d'une taille informatique comprise entre 100 et 150 Mo (format .bmp ou .tiff).

Si le côté temporel de la base de données peut paraître réglé (nous disposons d'une succession d'images dans le temps, au rythme d'une tous les vingt ans), il reste à étudier son côté spatial, de manière à définir les limites du terrain d'étude. Cette opération est également fortement contrainte par les données en présence. En effet, après le géoréférencement des différents documents sources, il apparaît clairement que les trois jeux de cartes n'ont pas les mêmes limites spatiales, et que celles du terrain d'étude final ne pourront que résulter du « plus petit dénominateur commun ». Par souci de simplicité, et de manière à privilégier la qualité de l'information géographique des fichiers les plus récents, nous mettrons alors l'accent sur les fichiers Scan25, en les utilisant comme base pour définir les limites. Quatre dalles⁸ IGN suffisent alors pour que l'information de 1955 et de 1975 soit couverte par celle de 1995, et donc pour définir le terrain d'étude final commun aux trois dates (Figure 2.1.05). Thématiquement, ce terrain semble assez bien défini dans la mesure où il prend en compte la ville de Belfort en entier, mais aussi sa première et sa deuxième couronnes, c'est-à-dire l'espace sur lequel il est théoriquement possible de mesurer le processus d'étalement urbain (cf. Partie 1). On verra également dans le Chapitre 3.1. que c'est justement dans ces communes que se concentrent la grande majorité des hommes et des activités du Territoire de Belfort.

1.1.3. L'intégration multisources

A partir du moment où les documents qui peuvent composer la base de données ont été identifiés et réunis, il convient de les intégrer dans le système d'informations géographiques qui permettra de les visualiser et de les stocker ; c'est ainsi qu'il a été possible, par exemple, de déterminer les limites du terrain d'étude, grâce aux possibilités des SIG. Connaissant les coordonnées géographiques de chaque carte (carte papier ou fichier numérique), il devient possible de les superposer les unes au dessus des autres de manière à ce que chaque lieu figuré à une date corresponde à chaque lieu figuré pour une autre date. Mais, si cette superposition par géoréférencement apparaît comme une solution théorique très

⁸ Les fichiers Scan25 de l'IGN découpent l'espace géographique en plusieurs morceaux carrés de 10 km de côté, que l'on appelle des dalles. Livrés au format .tiff, ces fichiers occupent moins de 15 Mo chacun et chacun de leur pixel correspond à un carré de 2,5 mètres de côté.

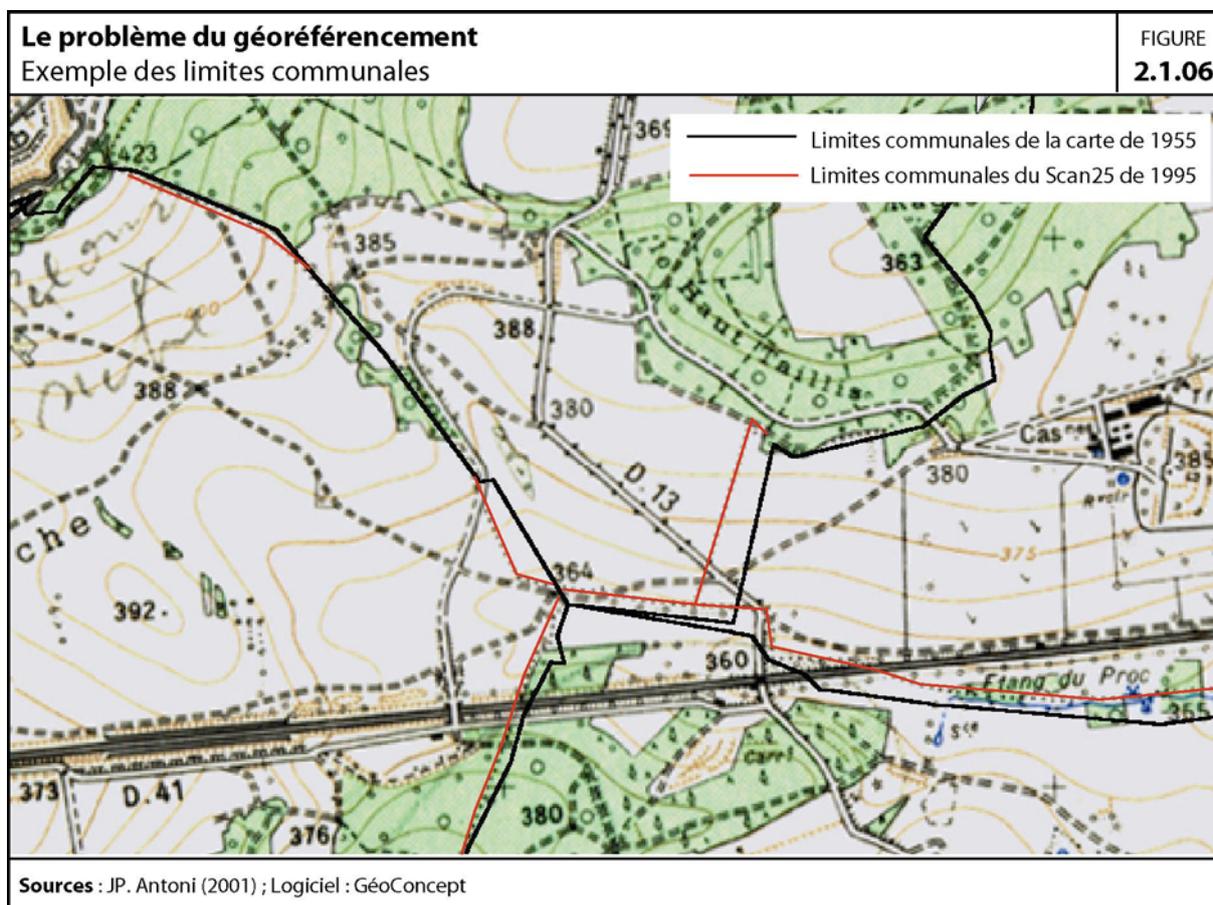
intéressante, elle pose néanmoins un certain nombre de problèmes techniques, et il est très difficile de la réaliser avec une grande précision. Nous entrons donc ici dans la considération des biais introduits par la méthode, qui peuvent contribuer à fausser la lecture géographique des éléments géoréférencés.

Au départ, tous les documents cartographiques retenus sont référencés dans le système Lambert II étendu. Il n'y a donc pas de problème de conversion de système de projection. Afin de pouvoir être intégrés dans le SIG, tous les documents au format papier ont été scannés. Pour les cartes papier de 1955 et de 1975, composées de plusieurs feuilles, les cadres de chaque feuille ont ensuite été supprimés de façon à ce que leur jointure puisse se faire bord à bord. Le géoréférencement menant à la superposition des images a alors pu être réalisé dans Géoconcept. Pour chaque date, l'opération est manuelle et consiste à définir un certain nombre de points de calage sur les images scannés. Les coordonnées Lambert II étendu, directement lisibles sur les cartes, permettent de définir les points (tic ou amer) nécessaires au géoréférencement des documents⁹. L'import des *raster* 1955 et 1975 n'a été possible qu'après une rotation anti-horaire de 3 degrés environ, correspondant à l'inclinaison du Lambert II par rapport aux relevés de l'IGN. Les déformations des cartes scannées, dues d'abord à leur format papier et à leur conservation longue aux archives, puis à leur numérisation au format A0, ont ensuite été minimisées par l'application d'une correction Helmert étendue¹⁰. Les fichiers issus du Scan25 de l'IGN sont quant à eux accompagnés de fichiers TL2 donnant les informations nécessaires à leur géoréférencement¹¹ en Lambert II. Les calages Lambert II ayant été effectué à l'origine par l'IGN, il n'est pas nécessaire de leur appliquer de rotation, ni de correction Helmert, compte tenu de la précision originelle numérique des images : l'opération de géoréférencement peut ici s'effectuer de manière automatique.

⁹ Théoriquement, dans GéoConcept, quatre points de calage suffisent pour caler un document. Par souci de bien faire, et pour améliorer la qualité générale des superpositions, nous avons défini non pas quatre, mais huit points de calage par feuille, opération importante dans le cas de l'application d'une transformation de type Helmert.

¹⁰ La méthode Helmert est une méthode de transformation permettant d'optimiser le calage géoréférencé d'images *raster*. Une application simple de la méthode permet un déplacement des coordonnées, un changement d'échelle (qui restent identiques en X et en Y) et une rotation. En revanche, elle ne corrige pas les déformations du papier sur les fichiers scannés et n'autorise pas de changement d'axe. Plus puissante, la méthode Helmert étendue autorise quant à elle toutes les déformations sur le même principe, ainsi qu'un changement d'orthogonalité des axes, et permet de construire des échelles légèrement différentes en X et en Y, de façon à améliorer le géoréférencement et notamment à réduire les déformations du papier.

¹¹ Geoconcept dispose d'un module d'intégration des fichiers scannés IGN. Il permet le géoréférencement automatique des images en utilisant les informations contenues dans les fichiers descriptifs (fichiers texte au format ASCII (HDR pour les échelles 1/100000 et 1/250000 et TL2 pour le 1/25000) accompagnant les fichiers *raster*. Les fichiers d'accompagnement indiquent l'origine et l'extension géographique du fichier image, la taille du pixel et le nombre de pixels en lignes et en colonnes.



Après intégration dans le SIG, l'ensemble des images géoréférencées est visualisable dans l'interface de visualisation de Géoconcept. La superposition des images est globalement satisfaisante, mais présente néanmoins de nombreux décalages, de l'ordre du décimètre. Ces décalages peuvent être repérés par la comparaison des limites communales (Figure 2.1.06) qui permet de constater qu'ils n'interviennent jamais de façon identique sur l'ensemble des images. Les décalages ne sont donc pas dus à une quelconque imprécision lors des opérations de géoréférencement, mais à une différence des relevés de l'IGN : entre 1955 et 1995, les limites communales, dont la majorité n'ont pourtant pas changé, apparaissent avec des tracés différents sur les documents cartographiques. Plusieurs essais de géoréférencement (intervenant sur des distances très petites) ont été testés, jusqu'à ce que la superposition obtenue paraisse la meilleure... en vain ! Les décalages résiduels peuvent alors être considérés comme incompressibles. Ils constituent néanmoins, aux endroits où ils sont le plus marqués, un biais à prendre en compte pour une comparaison dans le temps de l'espace géoréférencé. Il apparaît de surcroît évident que si de tels décalages apparaissent au niveau des limites communales, il sont probablement également présents au niveau des objets bâtis, comme partout dans la base de données. De même, l'opération de rognage des cadres originels des cartes pour une jointure bord à bord ne produit pas exactement l'effet désiré : des zones de non-jointure ou de recouvrement, certes petites (échelle du mètre) persistent

malgré la précision et le soin apporté aux recadrages. **Néanmoins, par l'intermédiaire du géoréférencement, la technologie SIG permet de superposer de façon assez précise toutes les images préalablement converties dans un format informatique, et la base de données ainsi intégrée est globalement satisfaisante et utilisable pour une comparaison de chaque date sur les différentes images, chaque date correspondant à une couche d'information.**

La question qui se pose maintenant est de savoir comment comparer ces différentes couches d'information, *a priori* intéressantes pour étudier le processus d'étalement urbain, mais trop disparates pour le permettre directement. On a vu que l'intégration au sein d'un SIG est pratique pour superposer et permettre une visualisation des couches une à une, mais elle n'est pas suffisante pour les étudier de façon diachronique. En d'autres termes, la base de données ainsi composée n'est pas une base de données « spatio-temporelle », mais plutôt une base de données « spatiales visualisables à plusieurs dates ». Il n'est pas possible de l'interroger dans le temps car sa structure ne permet pas de « traverser » les différentes dates pour savoir comment l'espace a évolué. Parallèlement, si les différents temps ne sont pas comparables directement, l'espace ne l'est pas non plus dans la mesure où, sur les documents collectés, il n'est présent que de manière continue, sur une image analogique. Les différentes catégories d'occupation du sol ne correspondent pas à des objets géographiques, et il n'est pas possible de les interroger ou de les comparer en tant que tels. Ce double constat amène à **s'interroger sur la manière d'organiser (ou de ré-organiser) la base de données afin qu'elle devienne effectivement spatio-temporelle, c'est-à-dire qu'elle puisse être interrogée à la fois dans l'espace et dans le temps.** Dans ce domaine, plusieurs expériences ont été menées à partir des outils SIG (Lardon *et al.*, 1999 ; Thériault *et al.*, 1999), mais, à notre connaissance, aucune solution standard n'émerge aujourd'hui à ce sujet. Il est donc nécessaire de recourir à d'autres techniques ou méthodes, qui ne dépendent pas directement du développement des SIG, mais qui prennent place dans le corpus développé en cartographie. Les opérations de tessellation, par exemple, apparaissent comme des outils intéressants pour traiter et analyser l'information géographique dans l'espace et dans le temps. Parmi celles-ci, la méthode du carroyage mérite un intérêt particulier.

1.2. Le principe du carroyage

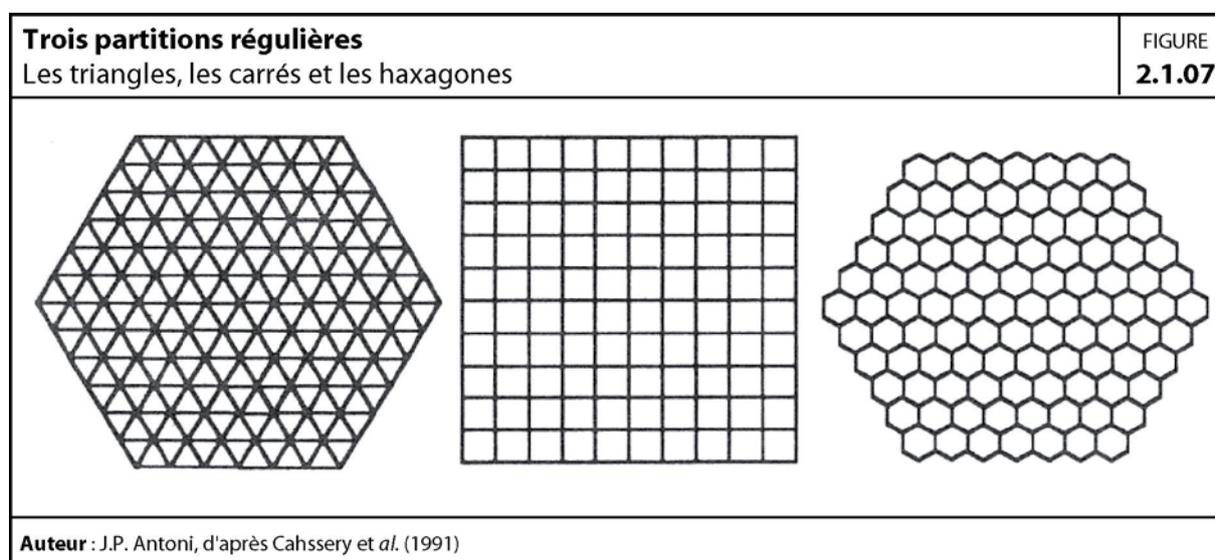
L'idée de géographie cellulaire de W. Tobler (1979), dont l'un des intérêts majeurs est qu'elle permet une lecture matricielle de l'espace, repose sur une autre méthode, vieille comme le monde : le carroyage¹². D'après la définition de R. Brunet *et al.* (1992) le carroyage correspond à une « méthode de rassemblement et de traitement des données en vue d'une

¹² Le carroyage apparaît en effet comme une méthode ancestrale puisque les romains, par exemple, l'utilisaient déjà pour construire leurs cartes cadastrales et leur système d'imposition (Antoni, 1997).

exploitation statistique et cartographique, consistant à découper l'étendue en carreaux égaux et repérés ».

1.2.1. Tessellations régulières, carroyage et espaces matriciels

Souvent employée pour pallier le problème d'un découpage spatial existant inadapté (limites administratives par exemple) ou pour découper l'espace de façon neutre en l'absence de partition, la méthode du carroyage nous intéresse surtout parce qu'elle permet de rendre comparable un ensemble de données disparates au départ : par cet intermédiaire, chaque cellule va pouvoir être comparée de date en date et l'on pourra mesurer exactement la manière dont chacune a évolué. Mais ceci n'est que l'une des propriétés du carroyage. A. Da Silva (1988) note plusieurs autres avantages, qui en font une méthode cartographique à part entière : 1. Le carroyage permet la valuation de données d'origines diverses, la possibilité de constitution d'une base commune pour la comparaison d'un grand nombre de variables indépendamment de toute limite préétablie ; 2. Le carroyage permet l'affranchissement des limites administratives et la suppression de l'effet de taille, la possibilité d'agglomérer et/ou de subdiviser les mailles à volonté, la possibilité de changer d'échelle ; 3. Le carroyage permet la création d'une méthode capable d'évoluer avec l'utilisation des bases de données, des SIG ou des systèmes experts. C'est évidemment aussi pour ces trois propriétés que le carroyage nous intéresse ici.

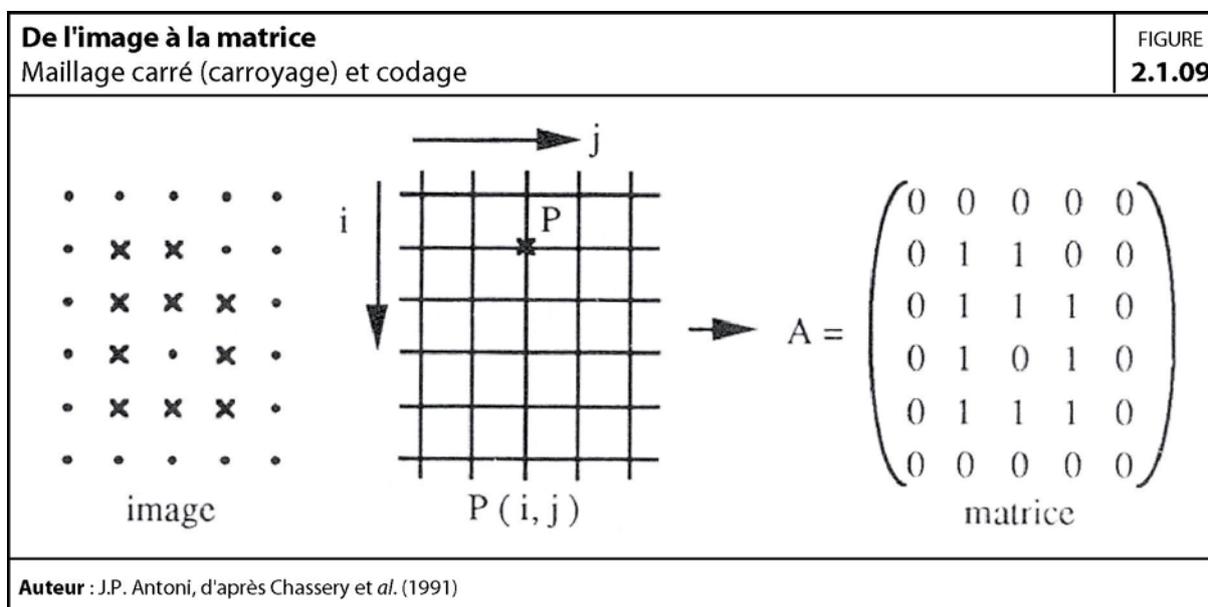
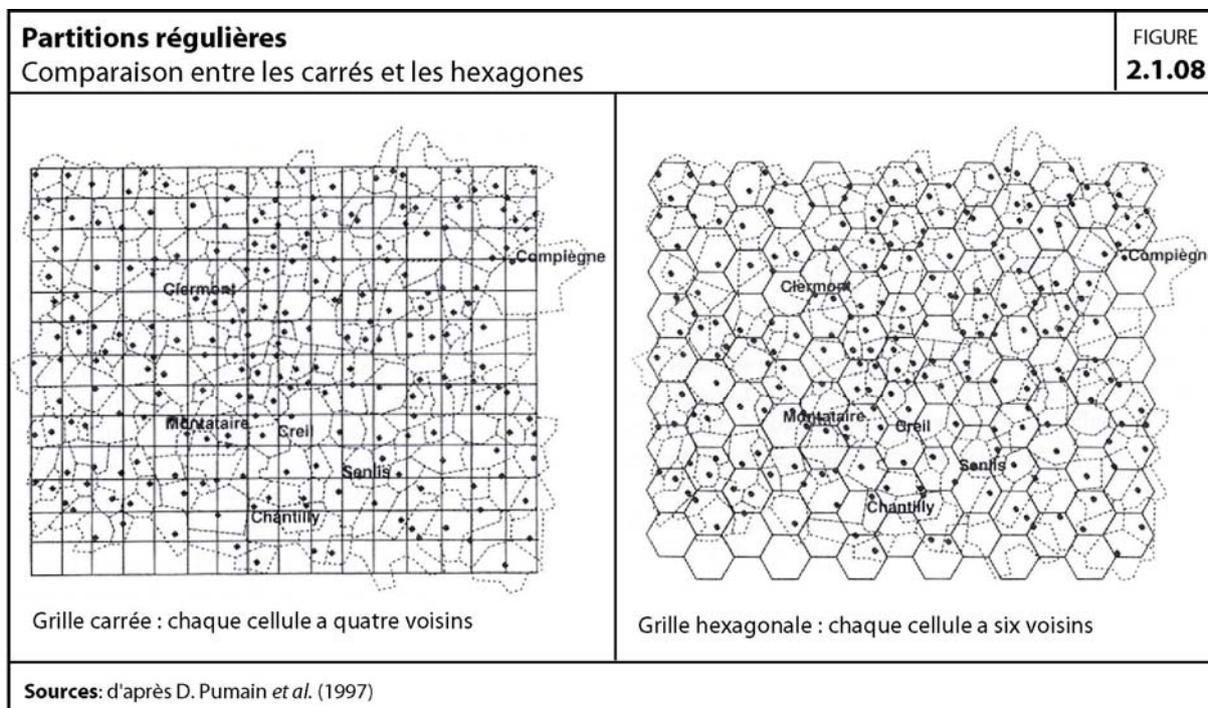


Qu'est-ce alors exactement que le carroyage ? Il s'agit en fait d'une forme particulière de tessellation, c'est-à-dire une manière de découper l'espace, ou une partie de celui-ci par un motif qui le recouvre de façon répétitive sans zones vides et sans chevauchement. Il convient d'affiner cette définition pour voir en quoi l'application d'une telle méthode peut s'avérer intéressante dans la constitution d'une base de données. Cette méthode d'enregistrement de

l'information géographique offre en effet de nombreux avantages pour analyser cette information, qui dépassent largement ceux que permettent les juridictions politiques et administratives. La définition proposée par G. Lajoie *et al.* (1995) rappelle qu'un carroyage est un modèle de représentation de l'information géographique qui se compose : 1. d'une partition de l'espace géographique ; 2. d'une relation entre cette partition et l'information géographique (c'est-à-dire l'ensemble des données descriptives servant à qualifier ou à quantifier cette partition de l'espace). C'est donc bien comme un ensemble organisé de données (une sorte de base de données), que le carroyage et plus généralement la tessellation doit s'entendre. On peut lire également dans le dictionnaire mathématique de S. Schwartzman (1994) que le verbe anglais *to tessellate* signifie former ou arranger de petits carrés de manière contrôlée, selon une configuration en mosaïque¹³. Un polygone régulier étant un polygone à 3, 4, 5 ou plus de côté et d'angles tous égaux, on appelle une tessellation régulière une tessellation faite à partir de polygone réguliers et congruents. *Régulier* signifie que les côtés des polygones sont de la même longueur et *congruent* qu'ils ont la même taille et la même forme. Il n'existe que trois type de polygones permettant une tessellation d'un espace euclidien : les triangles, les carrés et les hexagones (Figure 2.1.07). On remarque sur la Figure 2.1.07 que parmi les trois configurations possibles, seuls les carrés créent un maillage en lignes et en colonnes. Les maillages en hexagone ou en triangles (qui sont d'ailleurs identiques dans la mesure où un hexagone se compose de six triangles) ne forment pas directement une structure en lignes.

La Figure 2.1.08 montre la partition d'un espace identique avec des cellules carrées (gauche) et des cellules hexagonales (droite). Dans le premier cas, chaque cellule a quatre voisins directs, alors que dans le second, chacune en a six, ce qui peut apparaître comme un avantage (notamment dans les études de ruissellements en géographie physique, et plus généralement dans les études fortement basées sur le comportement du voisinage direct). Mais dans le premier cas, la structure linéaire qui se dégage de la tessellation conduit à la possibilité de considérer l'ensemble de la partition spatiale comme une matrice, ce qui lui confère un avantage tout à fait intéressant. Car, en effet, si elle se compose de cellules carrées et régulières, la tessellation consiste en fait à produire une partition spatiale et matricielle en unités identiques (d'une grille de référence) de l'espace terrestre. **Concrètement, le carroyage, qui est l'application de cette tessellation régulière, consiste donc à créer un nombre n d'unités spatiales régulières générées à partir d'une grille sur un terrain d'étude donné, et de relever chaque information à l'intérieur et à partir de ces unités spatiales.**

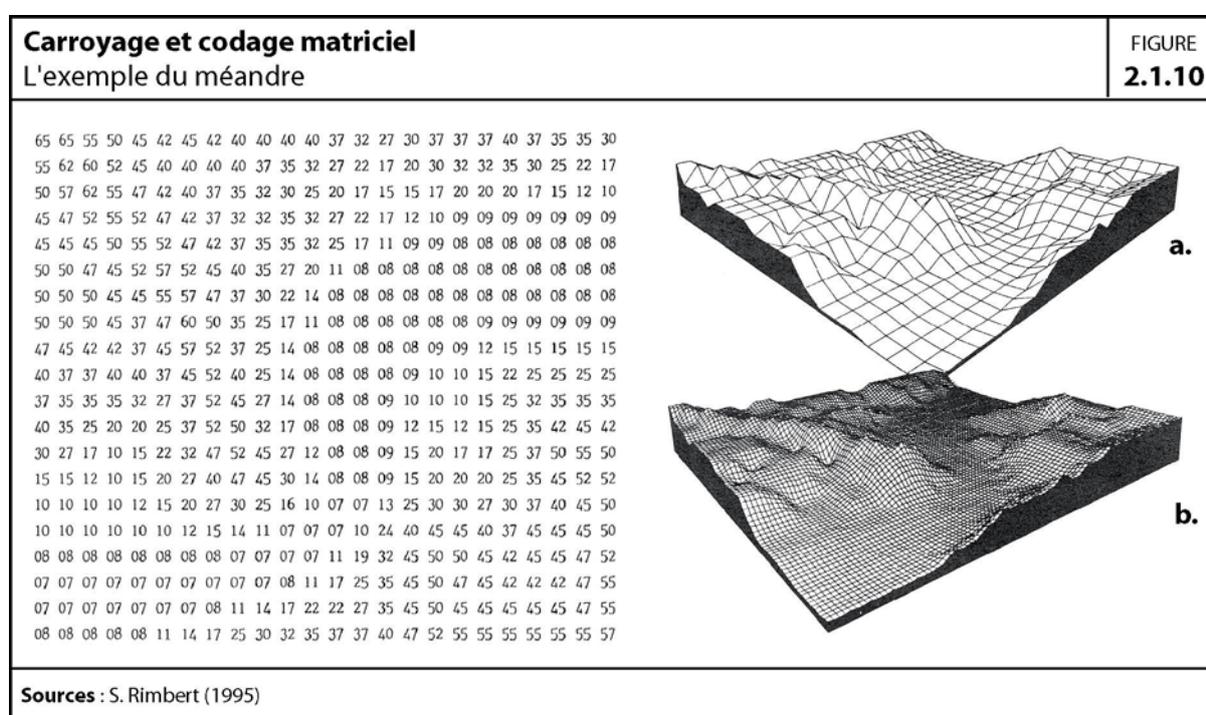
¹³ Tessellate (verb), tessellation (noun) : from Latin *tessera* "a square tablet" or "a die use for gambling". Latin *tessera* may have been borrowed from Greek *tessares*, meaning "four", since a square tile has four sides. The diminutive of *tessera* was *tessela*, a small, square piece of stone or a cubical tile used in mosaics. Since a mosaic extends over a given area without leaving any region uncovered, the geometric meaning of the word tessellate is "to cover the plane with a pattern in such way as to leave no region uncovered". By extension, space or hyperspace may also be tessellated.



Cette forme de discrétisation spatiale¹⁴, peut s'appuyer sur une base cartographique et porte dans notre cas sur les images analogiques de l'espace de l'agglomération de Belfort

¹⁴ La discrétisation est « opération consistant à substituer à des relations portant sur des fonctions des relations algébriques discrètes portant sur les valeurs prises par ces fonctions », Nouveau Petit Robert,

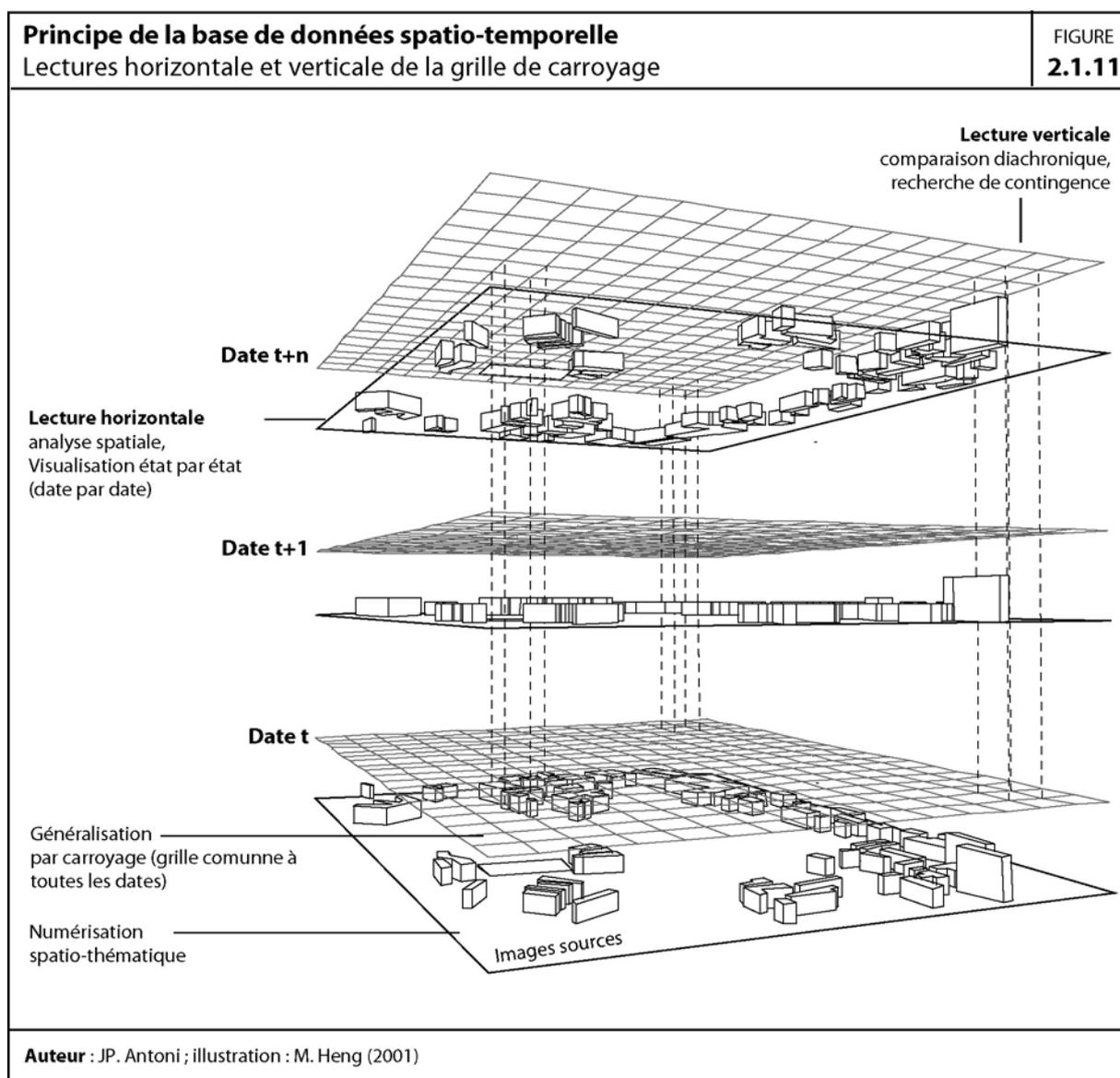
en 1955, 1975 et 1995. L'information cartographique contenue sur ces cartes est alors transformée par la grille en une matrice dans laquelle les données topographiques apparaissent sous la forme d'un tableau qui permet son stockage matriciel. Le carroyage contribue ainsi à créer des unités spatiales de superficie égale, dans lesquelles les informations pourront être relevées et géocodées. Ces mêmes unités spatiales serviront ensuite à les restituer, sous une nouvelle forme (données numériques), celle d'une mosaïque que certains (Brunet *et al.*, 1992) jugeront désagréable à la lecture. La Figure 2.1.07 montre bien comment, par l'intermédiaire du carroyage, il est possible de passer d'une image analogique à un espace cellulaire, puis de cet espace cellulaire à une matrice.



La Figure 2.1.10 présente un exemple de S. Rimbart (1995) qui montre le méandre d'un fleuve, par l'intermédiaire de la matrice issue du carroyage fait sur l'espace de ce méandre (gauche), puis l'élévation en trois dimensions des informations de hauteurs contenues dans cette matrice (droite). Dans le premier cas, il s'agit donc bien d'un méandre numérisé, représenté par une matrice numérique de 21 lignes et 25 colonnes, dont chaque cellule comporte une des 525 valeurs possibles de la variable « altitude ». Dans chaque cellule est donc inscrite la hauteur correspondant à cette cellule. La matrice peut ainsi s'associer à un Modèle Numérique de Terrain (MNT). Dans le deuxième cas, le méandre est vu en 3D, du Sud-Ouest. Sur l'image *a*, les valeurs d'altitude observées du méandre sont simplement mises en perspective. Sur l'image *b*, cette mise en perspective se fait après interpolation des

1995) est une opération de codage de l'information : les valeurs initialement exprimées sur une échelle d'intervalle ou quantitatives, sont transformées par rapport à une échelle discrète ou qualitative.

valeurs, ce qui permet de multiplier les points et de « briser la raideur *fil de fer* des pixels initiaux » (Rimbert, 1995). On voit donc bien à travers cette exemple que **si le carroyage permet un codage matriciel de l'information géométrique, il permet également d'effectuer un certain nombre de calculs sur cette information, ce qui lui confère un avantage certain dans le cadre d'une modélisation, que celle-ci porte sur l'étalement urbain ou sur autre chose.**



La tessellation consiste donc à transformer une information cartographique originelle en une donnée spatiale discrète, par l'introduction de polygones réguliers (carrées, hexagones) ou irréguliers (polygones de Thiessen, etc.). Dans notre cas, une configuration régulière semble adaptée, et des cellules carrées, outre qu'elles apparaissent comme la forme géométrique la

plus simple, sont les seules qui puissent facilement se convertir en une matrice, qui facilitera les calculs sur les informations. La tessellation envisagée ici va donc résulter d'une grille permettant de considérer l'information géographique à l'intérieur de chacune de ses cellules, indépendamment de sa date ou de sa source. A travers la grille, le jeu de trois cartes géoréférencées montre l'occupation du sol dans chaque cellule pour chacune des dates (1955, 1975 et 1995). La Figure 2.1.11 insiste sur la superposition des trois jeux d'information géographique correspondant aux dates pour lesquelles nous disposons de données (1955, 1975 et 1995). **La grille de carroyage posée sur ces informations géoréférencées, permet de les considérer de façon discrète dans l'espace comme dans le temps. Une lecture verticale du carroyage permet alors de visualiser l'évolution de chaque cellule dans le temps, alors qu'une lecture horizontale montre l'ensemble de l'information date par date.** Néanmoins, sur la Figure 2.1.09, construite dans un but pédagogique, la grille de carroyage apparaît autant de fois qu'il y a d'informations verticales, c'est-à-dire de temps t pour lesquels l'information existe.

Si ceci permet de bien comprendre le principe de la lecture verticale des informations, la superposition de trois grilles constitue un doublon notable en termes de structure de base de données. En d'autres termes, il est possible d'optimiser le stockage spatio-temporel des informations en réfléchissant à une nouvelle structure de base de données, implantable dans un SIG vectoriel. La question qui se pose est alors de savoir quelle est la structure vectorielle permettant au SIG de contenir l'information ? Nous proposons de la gérer par l'intermédiaire de polygones S composant une grille régulière de cellules carrées qui couvrent l'espace étudié de manière continue, et associés à une information temporelle stockée dans une table attributaire C_t pour chaque polygone. Cette structure sera formalisée comme suit (Antoni, 2002) :

$$S(x, y, C_{t_1}, \dots, C_{t_n})$$

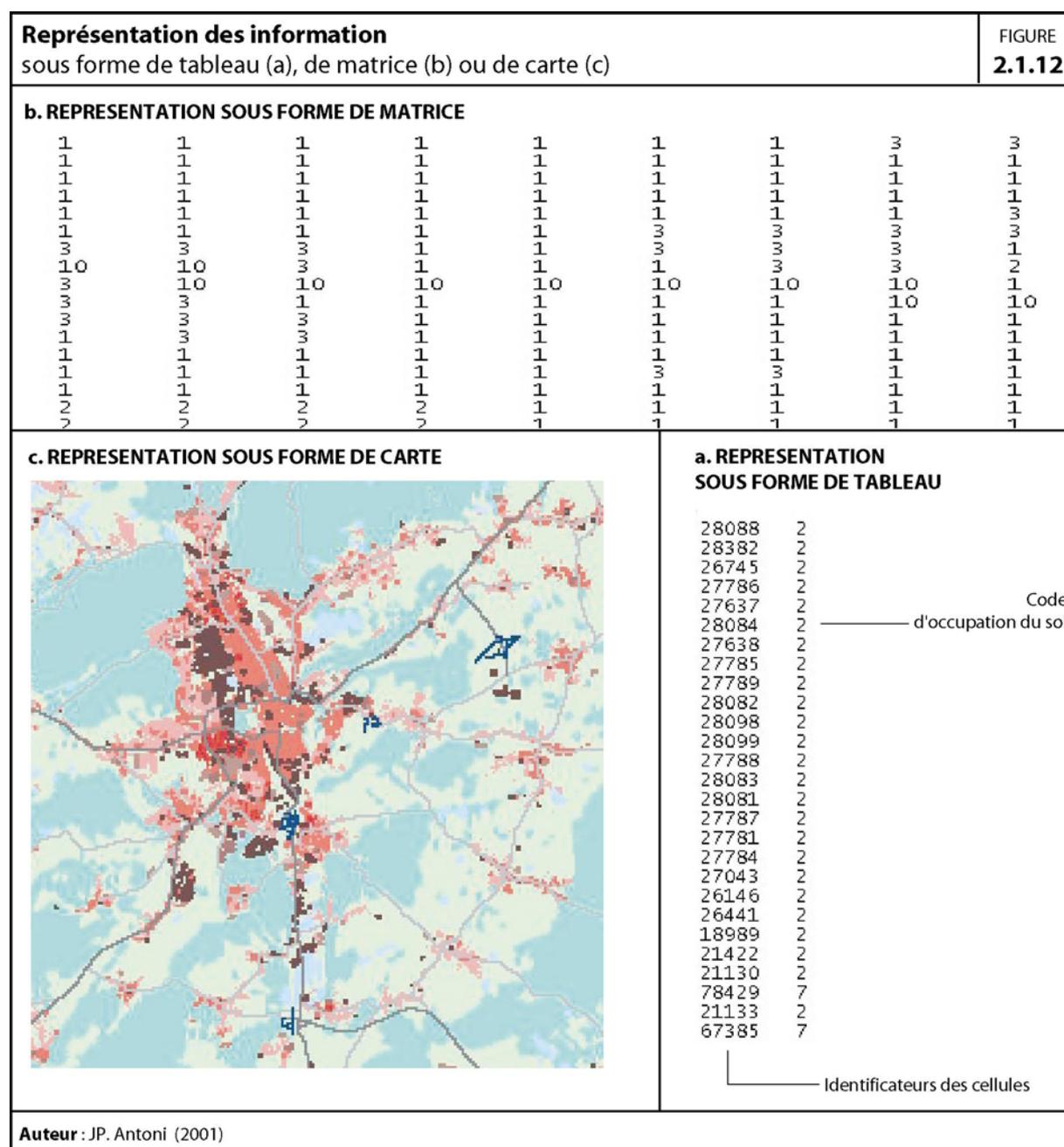
Avec : x, y = coordonnées géographiques

$$n = 3, t_1 = 55, t_2 = 75, t_3 = 95$$

Avec une telle structure pour contenir les informations carroyées, l'encodage de la grille (dans l'espace) pour chaque date (dans le temps) peut être réalisé de manière automatique par simple requête spatiale (requête SIG). La localisation géographique de chaque cellule correspond alors à ses coordonnées (x et y) et son occupation du sol pour chaque date à ses attributs (C_t). Dans notre cas, chaque polygone est donc associé à trois attributs, C_{55} , C_{75} et C_{95} , correspondant à leur catégorie d'occupation du sol en 1955, en 1975 et en 1995. En conséquence à cette structure de données carroyée en mode vecteur, l'ensemble des informations spatio-temporelles est stocké dans une couche SIG unique, et non dans trois couches, comme cela aurait été le cas si la même opération de carroyage avait été faite à

partir d'un SIG *raster*. De surcroît, cette couche unique d'information est lisible dans plusieurs formats. Il est possible par exemple, de représenter l'information temporelle aux dépens de l'information spatiale. Le code de la catégorie d'occupation du sol est alors noté pour chaque cellule, identifiée par un numéro d'ordre (la cellule de l'angle Nord-Ouest porte le numéro 1, et la cellule de l'angle Sud-Est porte le dernier numéro) dans un tableau pour chaque date (Figure 2.1.12 a).

On peut également afficher la matrice correspondant à chaque date : l'information spatiale est alors privilégiée aux dépens de l'information temporelle, puisqu'il est nécessaire d'afficher trois matrices indépendantes pour visualiser toute l'information (Figure 1.10 b).



Auteur : JP. Antoni (2001)

Enfin, il est également possible d'associer des couleurs aux valeurs contenues dans la matrice de manière à générer une image dont chaque pixel correspond à une cellule. Ceci permet de créer trois images qui reprennent l'ensemble de l'information spatio-temporelle. Ces images sont comparables entre elles, de pixel à pixel (Figure 1.12 c).

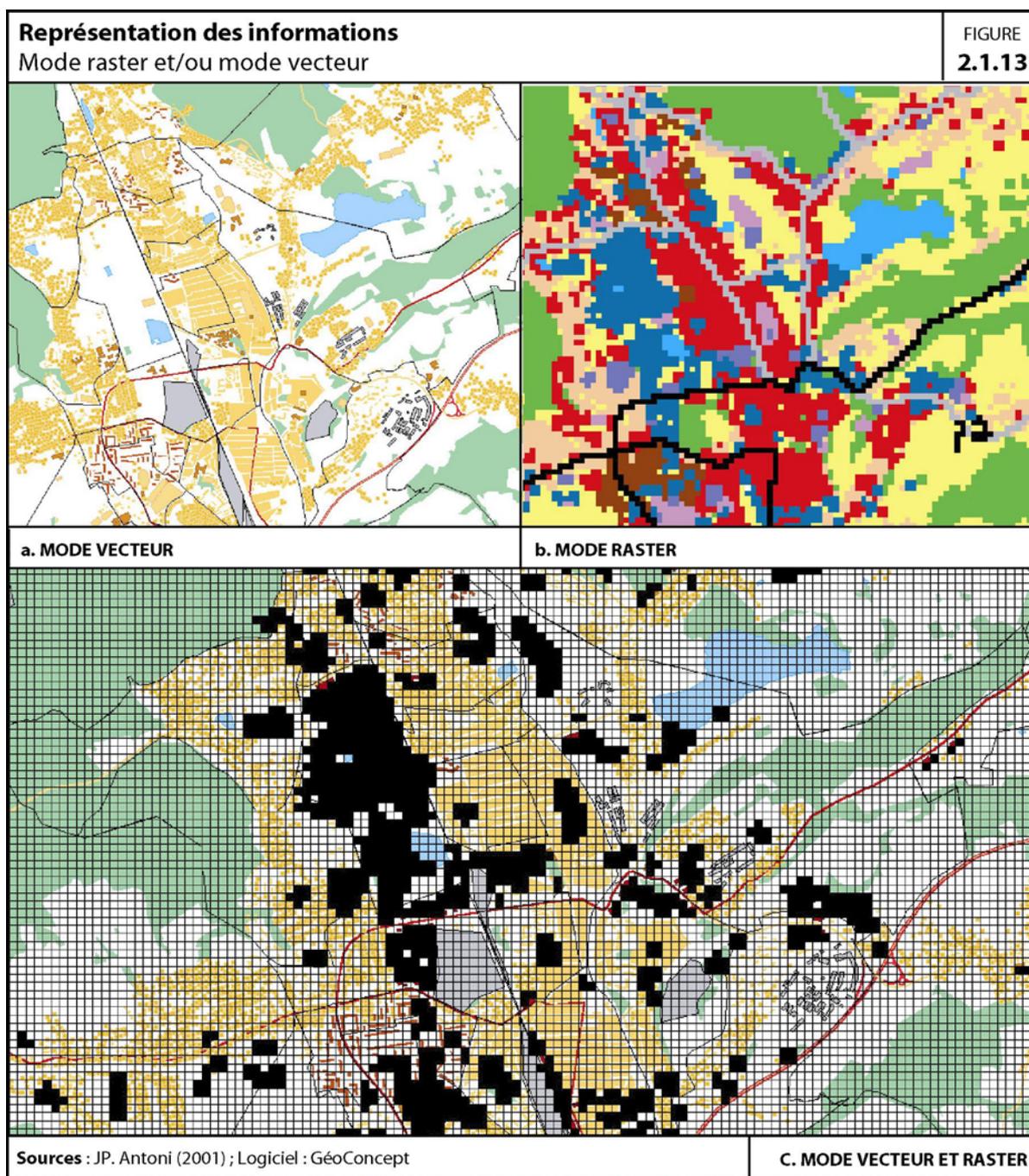
1.2.2. Mode *raster* et mode vecteur

S'il offre indéniablement de nombreux avantages, le carroyage présente aussi quelques inconvénients. Le plus notable réside dans l'inconfort de lecture des résultats cartographiques produits, à cause, semble-t-il, de l'effet de mosaïque qu'il rend (Brunet *et al.*, 1992). Au-delà du simple problème de lecture que soulève R. Brunet *et al.*, c'est évidemment toute la question de la généralisation¹⁵ qui se pose. Car d'évidence, la surface de la Terre n'est pas composée de carreaux juxtaposés, et la considérer comme telle oblige à simplifier la réalité, et en quelque sorte à la fausser ; le carroyage correspond donc ici en lui-même à une opération de généralisation.

Il convient de noter ici que, dans le cadre d'une étude portant sur l'étalement urbain, sa dynamique et sa modélisation, cette généralisation est fondamentale dans la mesure où, à un moment ou à un autre, elle oblige à prendre en compte la problématique du dessin de la limite de la ville. Or, on a vu que la détermination de ces limites est une opération extrêmement délicate. Même si l'on se tient à les définir en ne considérant qu'une dichotomie entre les espaces bâtis et les espaces non bâtis, c'est-à-dire si l'on se base sur un critère exclusivement morphologique, cette détermination relève d'une grande subjectivité. Pour nous en convaincre, faisons un test rapide en demandant à plusieurs personnes (en l'occurrence des géographes qui travaillent ou qui ont travaillé sur la ville) de dessiner à la main les limites de la ville de Belfort, à partir d'une carte de cette ville.

¹⁵ Rappelons qu'en cartographie, la généralisation « est l'opération par laquelle on adapte les éléments d'une carte au dessin d'une carte à échelle inférieure. Elle ne va pas sans une certaine déformation ou déplacement des objets cartographiés. Techniquement, elle comprend : 1. Une sélection des détails qu'il est nécessaire de conserver en fonction du sujet de la carte, de leur valeur significative ou de leur rôle comme repère ; 2. Une schématisation du dessin [...] qui, tout en conservant l'implantation des différents graphismes, consiste à effacer ou atténuer les caractères négligeables pour accentuer au contraire les caractères remarquables que la réduction risquerait de faire disparaître ; 3. Une harmonisation de la position relative des éléments conservés, schématisés ou déformés, qui a pour but de préserver les relations spatiales observées sur le terrain, même s'il a fallu dilater ou déplacer certains objets pour la faire » (Joly, 1985).

Cette expérience permet rapidement de constater qu'à chaque personne correspond une



réponse, et qu'aucun absolu ni aucune norme n'émerge. Etudier le processus d'étalement urbain dans le temps nécessite pourtant que l'on mesure les limites de la ville à différentes dates pour voir comment elles ont évolué, ce qui contribue à la quantification du processus. Travailler sur des limites relevées de façon subjective fausserait très certainement les résultats. En tant que méthode de généralisation, le carroyage apporte une solution à ce problème. En effet, plutôt que de tracer manuellement les limites de la ville, il permet de les

considérer à travers les carreaux d'une grille. Si l'on part alors du principe (par exemple) que chaque carreau contenant tout ou partie d'élément bâti doit être considéré comme bâti, et que l'on répète cela pour les trois dates en question, on obtient trois formes urbaines (trois dichotomies bâti/non-bâti) comparables dans le temps, sur lesquelles il va être possible de mesurer les évolutions, simplement en comptant les carreaux. Mais, on perçoit également ici comment l'information géographique est détériorée par le carroyage ; chaque élément bâti, quelle que soit sa surface réelle, se voit automatiquement assimiler une surface minimum correspondant à la surface d'un carreau. En résulte que les objets carroyés sont forcément surévalués, du moins sur le plan de leur surface.

D'une part donc, le carroyage contribue à rendre l'information compréhensible et comparable, mais d'autre part, il détériore cette même information. La structure du SIG va ici encore pouvoir être utilisée pour corriger cet inconvénient. En effet, on a vu que pour être carroyée de façon automatique (requête SIG), toute information géographique devait préalablement être numérisée. Aussi, il est parfaitement possible, dans le cas où le carroyage offre une information trop imprécise, d'utiliser ces couches vectorielles pour obtenir la précision recherchée. Ceci veut bien dire que la structure SIG permet à tout moment de permuter entre une information carroyée et une information stockée sous forme de couches d'information vectorielle classiques. La Figure 2.1.13 montre ces deux types d'affichage sur le même espace : si l'information contenue dans l'image de droite (b) peut aisément être quantifiée (il suffit de compter le nombre de cellules de chaque catégorie), celle de gauche (a) est bien plus agréable à regarder. Au-delà de cette possibilité de permutation, il est également possible d'afficher simultanément une partie de l'information vectorielle classique et une partie de l'information carroyée. La Figure 2.1.12 c offre un exemple de ce couplage, dans lequel le bâti résidentiel est représenté sous forme de polygones traditionnels, alors que le bâti non résidentiel est carroyé. Néanmoins, pour bien comprendre les différences qui séparent ces deux types de représentations de l'espace et ce qu'elles impliquent, il est important de voir à quoi correspond exactement l'opération de carroyage effectuée ici, et de la formaliser de façon précise.

Dans l'espace carroyé, chaque état $E(t)$ correspond en fait à un système défini par N cellules, identifiées au départ par leur position géographique ($x, y = 1, \dots, N$). Pour simplifier les manipulations, les coordonnées x et y correspondant respectivement à la latitude et à la longitude relevées sur les cartes géoréférencées dans le système Lambert II étendu, sont remplacés par un indice i , avec $i = 1, \dots, N$. Pour passer des coordonnées géographiques à l'indice de la matrice, on utilise la formule suivante :

$$i = 1 + \left(\frac{x-x_0}{rs} \right) + \left(\frac{y-y_0}{rs} \right) \cdot N_c$$

Avec x : coordonnées en x d'une cellule donnée ;
 x_0 : coordonnée en x de la première cellule (supérieure gauche) ;
 y_0 : coordonnée en y de la première cellule (supérieure gauche) ;
 rs : résolution spatiale de la grille de carroyage ;
 N_c : nombre de colonnes de la grille de carroyage.

Pour chacune des trois dates, chaque cellule contient une variable d'occupation du sol, dont l'ensemble est M , avec $M = \{1, \dots, m\}$. Ainsi, chaque date, que l'on appellera également état, peut se définir par l'intermédiaire de l'occupation du sol associée à ses cellules. L'occupation du sol au temps t de la cellule N_i donnée du système spatial est notée k . De surcroît, les catégories d'occupation du sol sont exclusives : à une cellule ne peut correspondre qu'une seule valeur d'occupation du sol k pour chaque date. Mathématiquement, ceci peut se résumer comme suit (cf. de Almeida, 2002) :

$$\forall i, \forall t, N_{i,k}(t) = 1,$$

$$N_{i,l}(t) = 0,$$

$$\sum_k N_{i,k}(t) = 1$$

avec : $l \in M$ et $l \neq k$; i : une cellule de l'ensemble

Le changement de système de coordonnées utilisé pour affecter un identificateur unique à chaque cellule (c'est-à-dire pour passer d'un système de coordonnées géographiques x et y à un indice i), permet de ne plus envisager les états comme des grilles vectorielles associées à une série de valeurs attributaires (modèle vectoriel), mais de raisonner en termes de matrices (modèle *raster*). Ainsi, nous pouvons définir les états E comme des matrices de taille $N_i \cdot N_c = N$:

$$\forall i, \forall t,$$

$$E_{u,v}(t) = k \text{ tel que } N_{i,k}(t) = 1$$

avec : $i = v + (u-1) \cdot N_c$
 k : une catégorie d'occupation du sol donnée
 u : numéro de ligne de la matrice
 v : numéro de colonne de la matrice

Le principe du carroyage retenu ici réside donc dans une combinaison vectorielle des attributs du mode *raster* (bien que ceux-ci se caractérisent également par une forme vectorielle) et du mode vecteur. **Le carroyage produit n'est donc pas un ensemble de pixels**

contenant chacun une valeur spécifique (ou plusieurs valeurs spectrales dans le cas d'images satellites), comme s'il était issu d'un balayage : il correspond à un ensemble de polygones égaux (tous identiques) contenant un certain nombre de champs d'information thématique. Cette différence est fondamentale, et permet d'associer le carroyage obtenu ici à une réelle méthode et non à une simple technique. Cette différence de forme dans le stockage (mode vecteur et mode *raster*) des données permet d'associer les techniques classiques de traitement des images maillées (par exemple, l'utilisation d'algorithmes d'incrémentation portant sur chaque unité d'une image *raster*) à l'analyse spatiale permise par les SIG vecteur (liens entre topologie et champs associés). De surcroît, la forme vectorielle du carroyage vectoriel permet de doubler les fichiers maillés de leur semblable au format vectoriel (type polygone). Les premiers seront utilisés pour effectuer les traitements et les calculs de façon précise, et les seconds pour afficher les résultats dans une forme vectorielle. Le carroyage vecteur permet donc de pallier l'un des inconvénients du carroyage en permettant de produire des résultats cartographiques vectoriels agréables à la lecture.

2. Le traitement de l'information géographique

Si jusqu'ici le principe sur lequel le carroyage s'appuie a été détaillé, les questions fondamentales – notamment la taille des cellules et la position de la grille – qu'il pose en tant que technique de cartographie thématique ont à peine été esquissées. Les notions de « contenant » et de « contenu », proposées notamment par C. Cauvin et al. (1987) aident à expliciter ces questions, et en partie à y répondre. Le contenant apparaît comme « le fond de carte où se localise un phénomène ». Le contenu correspond quant à lui à « la variable thématique étudiée, qui prend place sur ce fond de carte ». Ainsi, pour voir comment le carroyage intervient concrètement, on peut reprendre la même distinction, et préciser le traitement du contenant et du contenu.

2.1. Traitement du contenant

Préciser le traitement du contenant revient à décrire exactement les carreaux de la grille de carroyage employés. Ainsi, si la structure permettant d'accueillir ces carreaux, associées à leur pendant vectoriel, a été définie, les principaux problèmes que pose la méthode du carroyage n'ont pas été réglés. Parmi ceux-ci, la question de la forme de la grille a été évoquée, et l'on a vu que des cellules carrées (le carré étant la seule forme permettant de convertir directement un carroyage en une matrice) étaient probablement les plus

convenables. La taille des cellules à utiliser lors de la tessellation, par contre, n'a pas été étudiée.

2.1.1. Position et pas de la grille

La question de la taille des cellules est pourtant une question fondamentale puisque c'est d'elle que va dépendre en grande partie la restitution des données relevées, sa précision et sa cohérence. Mais, c'est une question qui ne se pose pas quand elle est associée à une technique. La télédétection, par exemple, utilise des résolutions spatiales définies par la technologie des capteurs embarqués dans les satellites. Ces résolutions sont rarement critiquées, et le plus souvent acceptées comme une taille de pixel permettant une précision correcte. Quand, la taille des cellules ne dépend pas d'une technique mais d'une méthode, par contre, le problème est différent, et la question se pose avec prégnance, comme un déterminant de toute possibilité d'analyse, particulièrement en milieu urbain. Ainsi, les discussions sont souvent vives quand il s'agit de déterminer une résolution spatiale de carroyage, et ce d'autant plus que les méthodes mises au point pour la définir de manière objective et scientifique sont rares. On peut considérer, par exemple, que cette résolution doit être inférieure de deux fois au plus petit des éléments analysés afin que celui-ci soit restitué de manière correcte. Mais, dans le cas d'une analyse urbaine, quelle est la taille du plus petit élément ? S'agit-il d'un quartier dont la longueur peut atteindre plusieurs kilomètres, d'un îlot long de plusieurs dizaines de mètres, d'une maison individuelle de 20 mètres de longueur, ou d'une ruelle de 2 mètres de large ? Est-il réellement nécessaire, dans ce dernier cas, de construire une grille au pas de 1 mètre, qui permettrait certes de restituer l'espace avec une réelle précision, mais qui décomposerait la surface d'un parc ou d'une forêt en un nombre très important de cellules, multipliant ainsi peut-être inutilement le nombre total de cellules à considérer, et avec lui la lourdeur de la base de données ainsi constituée ? Il est très difficile de répondre à cette question. Elle permet néanmoins de **considérer le problème du pas de la grille comme un problème à double entrée, auquel aucune solution standard n'existe à notre connaissance : 1. D'une part, plus les carreaux sont petits, plus il sera possible de relever précisément l'information, et donc de la restituer correctement ; 2. D'autre part, plus les carreaux sont petits, plus ils sont nombreux, et leur grand nombre entraîne un enchaînement de problèmes de gestion et de manipulation. Il en résulte que la taille optimale des carreaux apparaît comme un compromis entre les possibilités de restitution de l'information et les possibilités de manipuler et de gérer cette information.** Une série de tests apparaît donc comme un préalable nécessaire.

Cinq tests ont été effectués, sur des grilles de carroyage d'un pas de 500m, 250 m, 125m, 62,5m et 31,25m, posées sur des terrains de test réduits¹⁶. Pour chaque test successif, le côté des carreaux est à chaque fois divisé par deux ; leur surface est donc divisée par quatre, et leur nombre sur l'ensemble du terrain de test multiplié par quatre. Pour chacune des résolutions spatiales testées, l'espace bâti a été relevé à l'intérieur des carreaux selon la seule règle que tout ou partie d'espace bâti présent à l'intérieur d'un carreau entraînait que ce carreau soit codé en tant que bâti, et représenté en noir. Inversement, si aucun espace bâti n'est présent dans un carreau, celui-ci est considéré comme non-bâti et représenté en blanc (Figure 2.1.13). Le pourcentage de bâti restitué par chacune des cinq grilles de carroyage posées sur le terrain de test a alors été calculé (Tableau 2.1.01) : il diminue logiquement quand la résolution spatiale diminue, mais sans qu'il n'y ait réellement de rapport de proportionnalité (le pourcentage rendu n'est pas un multiple de quatre, à l'instar de la surface et du nombre des cellules).

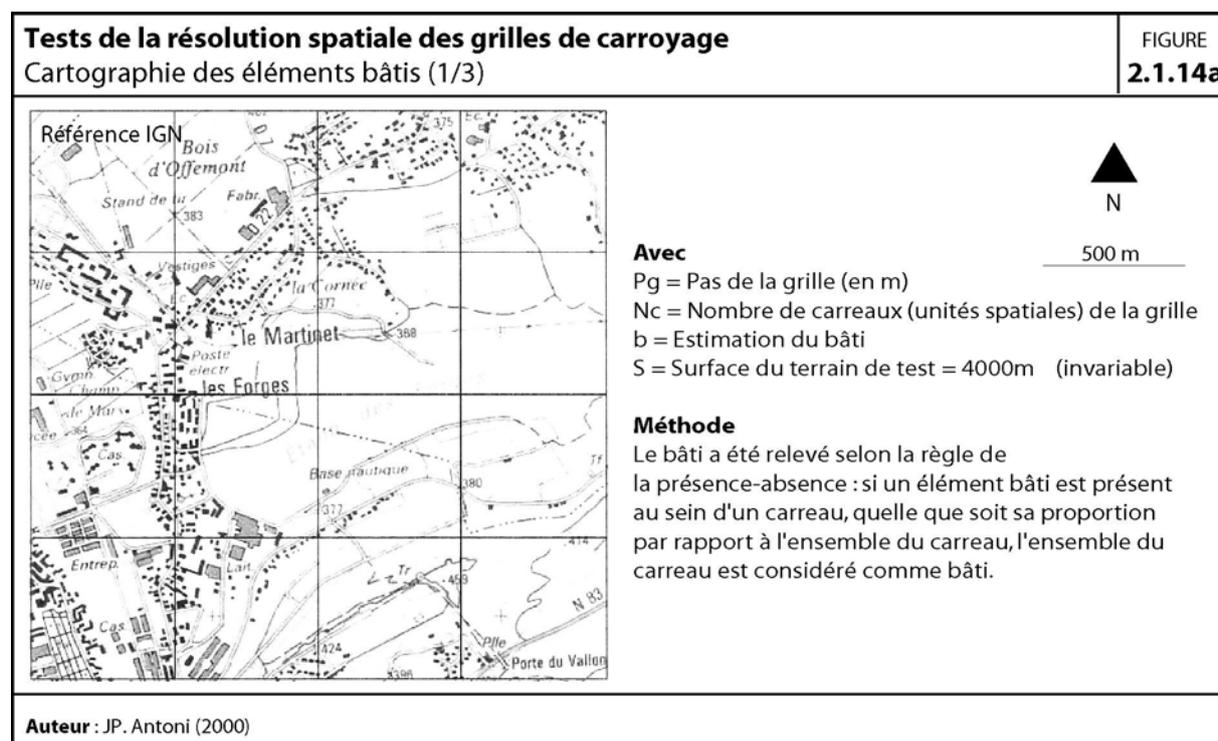
Tests de la résolution spatiale des grilles de carroyage					TABLEAU
Tableau des résultats					2.1.01
	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5
Pas de la grille (en m)	500	250	125	62,5	31,25
Nombre de carreaux (terrain test)	16	64	254	1024	4096
Rapport bâti/surf. tot. sur terrain test	93,75	67,18	50,39	30,37	21,94
Nombre de carreaux total estimé	505	2025	8100	32400	129600
Auteur : J.P. Antoni (2000)					

2.1.2. Le compromis de la lisibilité géographique

La proportion réelle entre espace bâti et espace non bâti n'étant pas connue et s'avérant extrêmement difficile à calculer de façon exacte compte tenu du problème de la détermination des limites du bâti évoqué précédemment, il est difficile également d'interpréter les valeurs obtenues et le seuil à partir duquel elles sont acceptables, c'est-à-dire d'affirmer qu'une grille est objectivement meilleure qu'une autre, et de calculer dans quelle mesure deux grilles peuvent apparaître équivalentes en termes de rapport nombre de cellules/bâti restitué. Le choix de la résolution spatiale réside donc essentiellement dans la comparaison du pourcentage et du nombre de carreaux simulé sur la totalité du terrain d'étude.

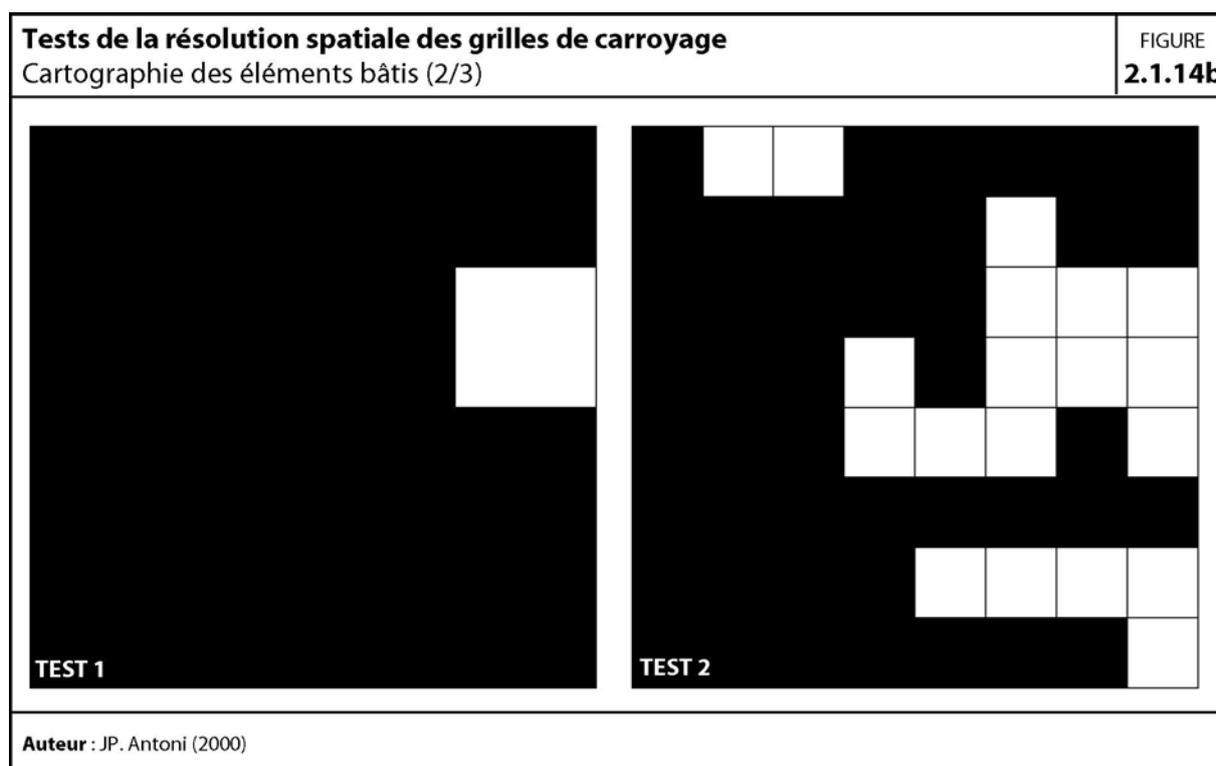
¹⁶ Le terrain de test est un carré de 2 kilomètres de côté, positionné aléatoirement sur la carte IGN représentant l'espace de l'agglomération de Belfort.

La grille de test 1 (résolution de 500 mètres) est alors simplement notée pour mémoire : on voit bien sur la Figure 2.1.14b que sa résolution est trop élevée pour que le bâti puisse être distingué correctement ; elle n'en offre qu'une approximation grossière, presque ridicule. Les grilles de test 2 et 3 (respectivement 250 et 125 mètres) permettent mieux d'approcher la morphologie des zones bâties telle qu'elle apparaît sur la carte de l'IGN, mais elles ont toutes les deux tendance à la surévaluer de façon importante, en assimilant une grande partie de surfaces non-bâties au bâti. Cette assimilation ne permet pas de comparer finement l'évolution diachronique des surfaces bâties, et ne peut être retenue dans le cadre d'une étude portant sur l'étalement urbain, et focalisant justement sur cette évolution dans le temps. La grille de test 4 (résolution spatiale de 62,5 mètres) montre quant-à-elle une adéquation relativement bonne entre les groupes d'objets bâtis observés sur la carte IGN et les carreaux considérés comme bâtis.



C'est elle qui fait réellement apparaître les premiers « trous » à l'intérieur des espaces bâtis, bien mieux qu'avec les précédentes résolutions (les « trous » apparus lors du test 3 sont presque anecdotiques). Du surcroît, elle présente une certaine cohérence entre la taille des carreaux et celles des éléments les plus petits : dans la partie Sud-Est de la carte, on voit bien par exemple qu'une maison individuelle est associée à un carreau là où trois maisons individuelles sont associées à trois carreaux. La grille 5 (non représentée sur la Figure 2.1.13) s'avère par contre un peu trop fine : elle provoque des problèmes de lisibilité lors des relevés et demande souvent à ce que l'on s'interroge sur l'appartenance d'un élément bâti à un carreau ou à un autre ; il est difficile, à ce niveau de précision, de coder correctement chacun

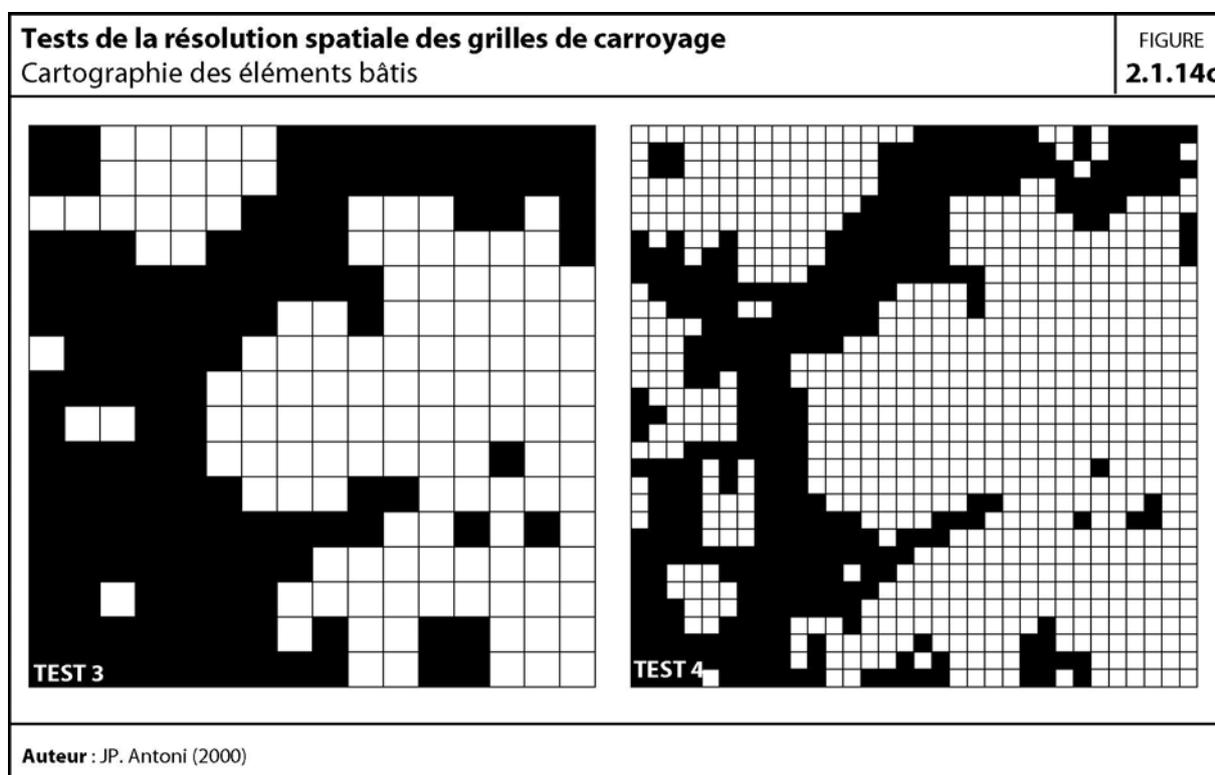
des carreaux, tant l'appartenance des éléments bâti présentés sur la carte à tel ou tel carreau est délicate à établir de façon clair. De plus, cette résolution produit un nombre de carreaux très important, et les résultats cartographiques obtenus, trop fins, ne permettent plus réellement de saisir la morphologie urbaine bâtie comme un tout unique, mais la dissocie en une multitude de carreaux éparpillés. Ainsi, compte tenu de ce problème de généralisation, mais aussi de la précision que l'on peut obtenir et du nombre de carreaux finalement produits, c'est la grille du test 4 (résolution spatiale de 62,5m) qui semble la plus adaptée au carroyage des éléments bâtis. Néanmoins, sa résolution de 62,5 m n'est pas des plus pratiques, et peut entraîner des problèmes de conversion et des opérations complexes (dus notamment à la décimale) pour le calcul de certaines surfaces. Nous proposons donc de simplifier cette mesure étrange (obtenue par réitération d'une division par 2 à partir de la mesure de base de 500 mètres ; $62,5 \times 2 \times 2 \times 2 = 62,5 \times 8 = 500$), en la réduisant à 50 mètres, ce qui paraît infiniment plus simple et plus logique. Comme nous l'avons vu précédemment, la taille minimale de chacun des éléments sera donc associée à une surface minimale de 0,25 hectares (surface d'un carré de 50 mètres de côté), indépendamment de sa surface réelle.



Sur l'ensemble du terrain d'étude, une grille d'une résolution spatiale de 50 mètres produira une carte de 90000 cellules¹⁷ inscrites dans un carré de 300 x 300, qui correspond à

¹⁷ Une première version de cette grille de carroyage a été réalisée par J. Hirsch sur ARC/Info version 7.0 (station IBM RS 6000). Cette opération ne fait partie d'aucun standard SIG. La solution adoptée ici n'est certainement qu'une possibilité parmi d'autres, générée suite à l'échec des solutions préalables.

notre terrain d'étude, également carré, de 15 km de côté. La taille des carreaux a donc été déterminée en fonction d'un double objectif : 1. Créer des cellules aussi petites que possible (selon un critère thématique) ; 2. Réduire leur nombre (selon un critère technique). Ces deux critères, considérés simultanément font que le choix de la résolution spatiale résulte d'un compromis : celui de la lisibilité géographique. En effet, l'objectif consiste bien à restituer, par l'intermédiaire du carroyage une information géographique lisible et exploitable quant à la problématique traitée, permettant de suivre l'évolution de la forme de la ville par la prise en compte diachronique de ses éléments bâtis. A partir du moment où cette information était lisible, la résolution produisant le nombre minimal de cellule a pu être validée.



2.2. Traitement du contenu

Le point étant fait sur le contenant et les problèmes qu'il pose, il est maintenant possible de s'attacher au contenu. Ceci revient à poser la question de savoir ce que l'on va regarder et ce que l'on va coder dans chaque carreau. On a déjà vu que la structure du SIG permettait de stocker des informations carroyées et d'y intégrer un ensemble M de catégories d'occupation du sol, noté de 1 à m . Quelles sont alors les catégories d'occupation du sol à prendre en

Réalisée sur ARC/Info, la grille a ensuite été scindée en deux morceaux pour alléger les fichiers d'export (format E00) et importée puis ressoudée dans Géoconcept.

compte, en milieu urbain, pour visualiser les changements en lien avec la processus d'étalement urbain ?

2.2.1. Le compromis de la lisibilité cartographique

Considérer le contenant avait nécessité de faire un compromis, celui de la lisibilité géographique. Considérer le contenu nécessite également un compromis, celui de la lisibilité cartographique. Il n'a rien à voir avec le premier. En effet, pour coder les 90 000 cellules de 50 mètres de côté avec l'occupation du sol leur correspondant, il est impératif de pouvoir visualiser cette occupation du sol. Or, comme documents de base, nous ne disposons que de documents IGN, dont certains sont assez anciens puisqu'ils ont été relevés entre 1954 et 1957. Il n'est possible de coder que l'information lisible sur ces cartes. Les bâtiments de grande hauteur, par exemple, ne sont pas représentés en tant que tels. Il est donc impossible d'utiliser cette information comme une catégorie d'occupation du sol pour coder la grille de carroyage. Mais à ce premier problème de lisibilité s'ajoute une deuxième condition : l'information doit être lisible pour chacune des trois dates. Si certaines informations sont actuellement relevées par l'IGN (carte de 1995), elles ne l'ont pas forcément toujours été. Les pictogrammes signifiant la présence d'activités de tourisme, par exemple, sont des ajouts récents que l'on ne retrouve ni sur les documents de 1955, ni sur ceux de 1975. Il est donc impossible de les prendre en compte pour coder le contenu puisque la condition de la lisibilité cartographique (sur les trois dates cette fois-ci) n'est pas respectée. D'évidence, **ces deux conditions (lisibilité cartographique et continuité de la lisibilité dans le temps) réduisent considérablement les possibilités de codage de l'information, et oblige à ne prendre en compte que le plus petit dénominateur commun, c'est-à-dire l'information effectivement lisible pour les trois dates.**

Mais, ce problème étant traité, il convient également de **voir si l'information qui pourrait être saisie est intéressante à relever. Il s'agit donc de tester la cohérence, dans le cadre de la problématique traitée, des catégories d'occupation du sol à introduire dans la base de données.** En ce qui concerne les forêts, par exemple, les cartes de l'IGN font une distinction entre les conifères et les feuillus pour les trois dates. Dans la problématique de l'étalement urbain par contre, il n'est pas nécessaire de conserver cette distinction. On peut parfaitement considérer que ces deux catégories répondent aux mêmes critères, et les classer dans une catégorie d'occupation du sol unique que l'on nommera « bois et forêts ». Un problème presque similaire se pose pour le réseau hydrographique. En effet, s'il est indéniable que les surfaces en eau (lacs, étangs, etc.) peuvent être impliquées dans certains choix de localisation (par le paysage qu'ils créent par exemple), il est plus délicat de considérer les cours d'eau de la même manière, et ce d'autant plus que la grille de carroyage nous oblige à les coder avec une largeur minimale de 50 mètres, correspondant à la résolution spatiale des cellules. Aussi,

dans la mesure, où, d'une part, les cours d'eau n'intéressent pas directement la problématique de l'étalement urbain, et, d'autre part, que leur codage entraînerait leur surestimation, il n'apparaît pas intéressant d'introduire cette catégorie d'occupation du sol dans la base de données carroyée.

Le dernier problème concernant le codage du contenu concerne également les réseaux, mais les réseaux de transport cette fois. En effet, la surestimation liée à la résolution spatiale identifiée plus haut pour les réseaux hydrographiques va évidemment se retrouver pour les réseaux routiers. Ceci, est pourtant moins gênant que précédemment, puisque ces réseaux, nous l'avons souligné dans la première partie, jouent un rôle qui semble assez fondamental dans la problématique et le processus d'étalement urbain. Le fait de les coder avec une largeur de 50 mètres ne doit donc pas s'envisager comme une erreur ou une grossière approximation, mais plutôt comme un biais directement lié à la méthode du carroyage, un mal nécessaire en quelque sorte. Si ceci est vrai pour les réseaux de routes départementales, l'autoroute et le réseau de voies ferrées posent un autre problème. En effet, s'il est presque certain que tous les éléments de transport et d'accessibilité concernent l'étalement urbain, tous ne le sont pas dans leur ensemble. Typiquement, les autoroutes, comme le chemin de fer, n'intéressent la problématique que par l'intermédiaire des plates-formes permettant aux usagers de les emprunter. En d'autres termes, il n'est pas intéressant, pour bénéficier d'une bonne accessibilité par l'autoroute de se rapprocher de l'autoroute en elle-même, mais bien des échangeurs permettant d'accéder à cette autoroute. Parallèlement, en termes d'accessibilité, la gare ferroviaire est plus intéressante que les rails en eux-mêmes. Cette nuance doit évidemment être prise en compte dans le codage des informations d'occupation du sol. Elle peut l'être très simplement si, au lieu d'être relevées comme des éléments linéaires, les autoroutes et les voies de chemins de fer sont codées comme des éléments ponctuels, pour lesquels seuls les gares et les échangeurs importent.

2.2.2. Classification et codage hiérarchiques

On saisit donc bien par les différents points évoqués plus hauts que **le codage des informations de contenu, c'est-à-dire la mise en place de la liste des catégories d'occupation du sol constituant la base de données, est une affaire complexe, qui demande de prendre en compte autant des données techniques que des données thématiques. Compte tenu de ces différents points, treize catégories d'occupation du sol répondent à l'ensemble des critères nécessaires pour leur codage.** On peut donc compléter la formalisation mise au point plus haut en précisant maintenant que l'ensemble des valeurs d'occupation du sol M (avec $M = \{1, \dots, m\}$), correspond aux treize catégories d'occupation de sol, suivantes : 1. Espace considéré comme libre, 2. Bois et forêts, 3. Surfaces en eaux, 4. Bâti résidentiel individuel, 5. Bâti résidentiel dense, 6. Bâti résidentiel collectif, 7. Equipements, 8. Structures d'encadrements, 9. Zones d'activités ou commerciales, 10. Routes

départementales, 11. Routes nationales, 12. Echangeurs autoroutiers, 13. Gares ferroviaires. Le nombre de catégories d'occupation du sol est donc m , c'est-à-dire 13. En reprenant les catégories internationales de la nomenclature Corine LandCover, on peut alors préciser ce que contiennent exactement les catégories. Car, si pour les éléments naturels et les réseaux de communication, les titres des catégories parlent d'eux même, le contenu des catégories dites bâties, résidentielles ou non résidentielles, demande quelques précisions :

Les zones d'activités sont des objets bâtis dont la fonction est avant tout économique, généralement des grands commerces, des industries, ou des bâtiments accueillant des activités tertiaires. Ils peuvent être caractérisés par leur nombre d'employés et/ou par leur fréquentation. Ils correspondent aux catégories suivantes de la nomenclature Corine Land Cover : 12. Zone industrielle et commerciale, activités de services, 121. Emprise industrielle, commerciale et de service, 1211. Emprise industrielle (entrepôts, stockage, accès, stationnement), 12111. Type industries lourdes (grandes unités) et production d'énergie, 12112. Autres activités industrielles (légères), 12113. Pistes et terrains d'essai, 1212. Zones commerciales (au sens large), 12121. Bâtiments, installations, 12122. Parkings, 1213. Parc technologiques, aires d'activités de service.

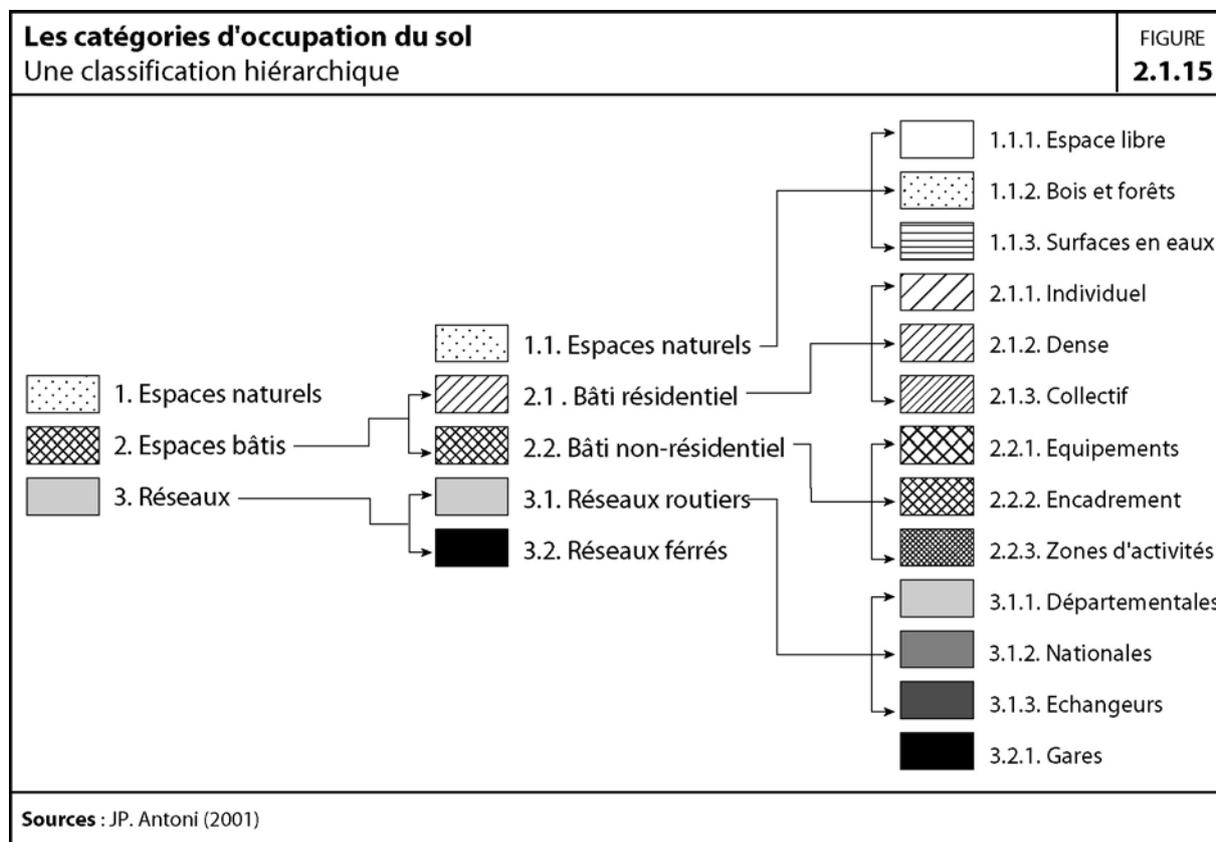
Les équipements sont exclusivement composés des terrains de sport ouverts (c'est-à-dire sans toit) et des cimetières. Ce regroupement insolite se justifie par le caractère indéniablement bâti des deux types d'espace (dans le sens de la problématique de l'étalement urbain) et par leur inconsistance volumique.

Les structures d'encadrement correspondent aux objets bâtis dont la fonction est avant tout administrative et communautaire. Le type administration regroupe les bâtiments strictement administratifs, les écoles, les universités, les salles de spectacles, etc. Ils correspondent aux catégories suivantes de la nomenclature Corine Land Cover : 113. Espaces urbains spécialisés, 1133. Emprises scolaires et universitaires, 11331. Installations, bâtiments, 11332. Autres (cours, campus, parking), 1134. Emprises hospitalières, 11341. Installations, bâtiments, 11342. Autres (cours, jardins, parking), 1135. Sites historiques, lieux culturels, emprises religieuses, 1136. Autres services publics et privés, 11361. Installations, bâtiments, 11362. Parkings.

Le bâti résidentiel est celui l'habitation pour fonction principale. Il se compose de trois types d'objets géographiques : l'habitat collectif (grands ensembles), l'habitat urbain dense et l'habitat individuel.

L'habitat collectif (grands ensembles) correspond aux catégories suivantes de la nomenclature Corine Land Cover : 1122. Habitat (ou bâtiment) collectif, 11221. Grands ensembles avec grande emprise des bâtiments au sol, grands collectifs hauts (grandes barres

et tours), 11222. Grands ensembles avec une petite emprise des bâtiments au sol, petits collectifs bas, cités minières.



L'habitat dense correspond aux catégories suivantes de la nomenclature Corine Land Cover: 111. Tissu urbain continu dense, 1111. Type centre ville, 11111. Noyau (centre) dense (ancien, parcellaire étroit), 11112. Faubourgs et quartiers denses ou moyennement denses, 1112. Type centre-bourg (noyaux denses des communes périphériques)

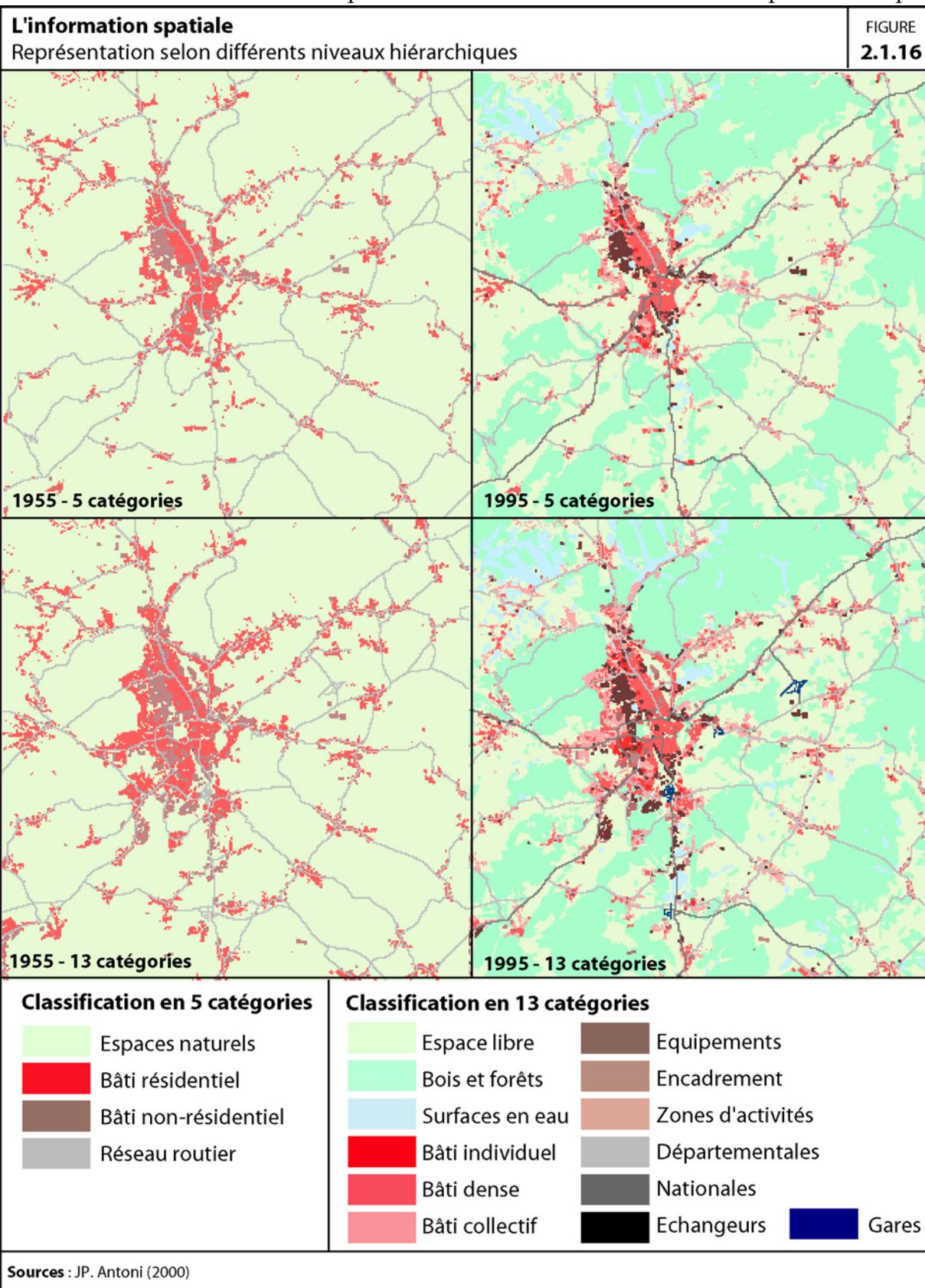
L'habitat individuel correspond aux catégories suivantes de la nomenclature Corine Land Cover : 1121. Habitat individuel pavillonnaire bas, 11211. Habitat d'extension linéaire des communes périphériques (villages-rues), 11212. Forte densité de construit (peu de végétation et forte organisation linéaire) lotissements, 11213. Moyenne densité de construit (présence de végétation et organisation parcellaire marquée), 11214. Assez faible densité de construit (végétation marquée et organisation perceptible autour du réseau viaire), 11215. Faible densité de construit avec présence de végétation.

Relever ces informations de façon linéaire ne permet pas de les structurer réellement. Aussi, plutôt que de simplement juxtaposer les catégories d'occupation du sol les unes à côté des autres, nous proposons de les hiérarchiser en plusieurs niveaux. Cette hiérarchie permet de

considérer les données avec différentes précision, variant de 1 à 3, en fonction de l'objectif recherché. Le classification hiérarchique peut alors s'organiser comme sur la Figure 2.1.15. Au premier niveau apparaissent les grandes différences entre les espaces bâtis, les espaces non-bâtis et les réseaux. Au deuxième niveau, ces espaces sont différenciés en fonction qu'ils sont résidentiels ou non résidentiels pour le bâti, routiers ou ferrés pour les réseaux, etc. Enfin, au troisième niveau, les catégories apparaissent dans leur précision la plus complète (treize catégories). L'intérêt de cette classification réside principalement dans le fait qu'elle autorise une simplification des données qui, nous le verrons, peut s'avérer utile pour tester des tendances très générales, pour lesquelles il n'est pas nécessaire de considérer toutes les catégories d'occupation du sol, mais qui gagnent au contraire à être simplifiées en groupe ou en familles de catégories. La Figure 2.1.16 illustre ce principe et montre comment la base de données peut se représenter selon les différents niveaux de la classification, passant d'une simple représentation de la dichotomie bâti/non-bâti à la représentation la plus complète de l'espace traité.

La question qui se pose alors enfin, est de savoir comment coder les cellules dans chacune de ces catégories : **à partir de quand une cellule appartient telle à une catégorie plutôt qu'à une autre** ? On trouve de nombreuses méthodes permettant de faire ce type de choix dans la bibliographie consacrée au carroyage. Il est possible de considérer, par exemple, qu'une cellule appartient à la catégorie qui la remplit la plus, ou à celle qui la remplit à plus de 50%. On peut encore considérer que le codage se fait selon un principe présence-absence et qu'une cellule appartient à une catégorie d'occupation du sol si un élément de cette catégorie y est présent. Ce principe présence-absence apparaît intéressant à plusieurs titre, pour mettre au point le principe général du codage qui nous intéresse ici.

Cette méthode est la seule, comparée à celle des 50% ou à celle de la présence la plus



importante, à assurer de trouver dans chaque cellule la catégorie d'occupation du sol que l'on compte y trouver, et ceci d'autant plus que le carroyage se situe en milieu urbain et concerne des éléments de surface réduite. Un bâtiment remarquable, comme une gare par exemple, est d'une surface plus petite que les nombreux îlots de bâti dense qui la bordent. Il est assez peu probable que la gare puisse apparaître majoritaire dans une seule des cellules de 50 mètres de côté qui couvrent l'ensemble. Au contraire, il est fort possible que, même en étant présente dans plusieurs cellules, sa surface dans ces cellules soit systématiquement inférieure à celle du bâti dense. Une méthode de codage utilisant la présence relative aurait alors tendance à coder l'ensemble des cellules en bâti dense, et donc à faire disparaître la gare. Un problème parfaitement identique apparaît également avec les réseaux routiers, mais dans d'autres proportions. En effet, il est rare que le réseau routier ait une largeur de 50 mètres. Il est donc rare également que celui-ci puisse apparaître majoritaire dans une cellule. Ceci n'est pourtant pas impossible, et dépend fortement de la configuration spatiale du réseau et de la position de la grille sur ce réseau. Néanmoins, si ici et là certaines cellules seront codées correctement, il est fort peu probable que l'ensemble des cellules le soient, en conséquence de quoi, le résultat du codage ne restitue pas le réseau comme un ensemble linéaire de cellules juxtaposées, mais comme un éparpillement de cellules non jointes, à travers lesquelles on peine à lire le réseau initial.

Pour pallier ce problème lié aux codages en présence relative, on proposera donc une méthode issue du principe de la présence-absence. Mais d'évidence, avec une telle méthode, un problème se pose dès que plusieurs catégories d'occupation du sol apparaissent dans un même carreau. Pour pallier ce second problème, nous proposons un codage hiérarchique des catégories. Celui-ci possède plusieurs avantages. Tous d'abord, il évite d'oublier des éléments de petite surface et conserve la continuité du réseau. Ensuite, il permet de privilégier certains éléments que l'on estime plus importants que d'autres, de manière à ce qu'ils apparaissent de façon prioritaire par rapport à d'autres. Le principe du codage hiérarchique est relativement simple, et peut s'apparenter (sur le principe) à un écrasement informatique. En effet, l'idée consiste à coder d'abord l'intégralité de la grille dans la catégorie que l'on considère comme la moins importante à relever. Toutes les cellules apparaissent alors dans cette catégorie, même si aucun élément de cette catégorie n'est y présent. On écrase ensuite ces valeurs par celles de la seconde catégorie, puis de la troisième, etc., jusqu'à la dernière qui est normalement celle des éléments que l'on désire voir de façon prioritaire, soit parce qu'ils ont une importance particulière dans la thématique, soit parce qu'ils sont de petite surface, soit parce qu'ils appartiennent à un réseau dont on veut conserver la forme. Dans notre cas, l'ordre dans lequel les catégories d'occupation du sol ont été présentées est également celui dans lequel elles ont été codées. Ainsi, au départ, l'ensemble de la grille a été considéré comme « espaces libres », puis certaines parties ont été écrasées pour appartenir à la catégorie « forêts », ou « eau », c'est-à-dire à des éléments naturels de grande surface. Ensuite, le bâti a été codé, dans un ordre correspondant

généralement à la surface occupée par chaque catégorie, de la plus grande à la plus petite. Enfin, les réseaux, puis les gares, ont été codés, ce qui a permis de conserver la structure linéaire des routes nationales et départementales, et faire apparaître les gares de façon systématique.



Stockées dans un SIG (Système d'Information Géographique), les trois images carroyées de la ville de Belfort constituent une base de données permettant de lire l'évolution urbaine en diachronie. **Cette base de données spatio-temporelle confirme alors l'hypothèse qu'un espace cellulaire permet de comparer la ville dans l'espace et dans le temps. Elle offre ainsi une double possibilité de lecture : une lecture verticale des cellules permet de tenir compte de leur évolution dans le temps, et des trajectoires avec lesquelles elles ont changé d'occupation du sol ; une lecture horizontale permet de tenir compte de leur évolution dans l'espace, c'est-à-dire à la fois de leur voisinage à chaque étape, et de leur position dans l'espace étudié (centre, périphérie, etc.).** Considérée à travers cette double possibilité de requête, la base de données spatio-temporelle issue du carroyage, apparaît réellement comme un outil d'investigation du territoire, permettant notamment d'étudier, avec la finesse permise la résolution spatiale (ici 50 mètres), la manière avec laquelle les choses ont évolué dans le passé. Mais, au-delà de l'investigation fine qu'elle rend possible, la base de données ouvre de nombreuses possibilités de modélisation, du fait que l'espace qu'elle décrit soit pris en compte de manière cellulaire : le calcul matriciel qu'elle autorise apparaît comme un fondement pour la modélisation. Car en effet, si dès 1967, W. Tobler (1967) avait pu reconnaître l'avantage certain de ce type de représentation de l'espace pour la modélisation (*there are now a number of instances in which geographical data have been collected at regular spatial intervals, for the obvious reason that n umerous analytical investigations are thereby greatly facilitated*), celui-ci peut aujourd'hui bénéficier de l'ensemble du corpus théorique et technique qu'ont apporté les études de télédétection, dont les images s'organisent selon la même structure.

Références bibliographiques :

Antoni J.P., 1997, *Eléments d'histoire pour la cartographie des villes*, mémoire de maîtrise, Université Louis Pasteur, octobre 1997, 114 pages.

Antoni J.P., 2002, "Urban sprawl modelling : a methodological approach", *Cybergeog : European Journal of Geography*, n°207, 1/03/2002, 11 p. (www.cybergeog.presse.fr)

Brunet R., 1987, *La carte, mode d'emploi*, Fayard-Reclus, 270 pages.

Brunet R., Ferras R., Théry H., 1992, *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique*, Reclus-La documentation française, 518 pages.

Burrough P.A., 1986, *Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment*, Clarendon Press.

Burrough P.A., McDonnell R., 1998, *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.

Cauvin C., Rimbert S., 1976, *La lecture numérique des cartes thématiques. Les méthodes de la cartographie thématique*, Fascicule 1, Ed. Universitaires de Fribourg, 172 pages.

Cauvin C., Reymond H., Serradj A., 1987, *Discrétisation et représentation cartographique*, Ed. Reclus, Coll. Reclus Mode d'emploi, 116 pages.

Charre J., Dumolard P., 1988, *Initiation aux pratiques informatiques en géographie*, Masson, 199 pages.

Chassery J.M., Montanvert A., 1991, *Géométrie discrète en analyse d'images*, Ed. Hermès, Coll. Traité des nouvelles technologies, Série Images, 356 pages.

Cheyland J.P., 1997, *Sig et cartographie*, *Comité national de la cartographie*, n° 151-152, Mars-juin 1997.

Collet C., 1992, *Systèmes d'information géographique en mode image*, Presses polytechniques et universitaires romandes, VIII.

Couclecis H., 1985, *Cellular World : a framework for modelling micro-macro dynamics*, *Environment and Planning A*, n°17, 1985, pp. 585-596.

Couclecis H., 1988, *Of mice and men : What rodent population can teach us about complex spatial dynamics*, *Environment and Planning A*, n°20, 1985, pp. 99-109.

Da Silva A., 1988, *Pixels et géographie. Le carroyage. Pour une meilleure prise en compte de l'espace et de son contenu*, Mémoire de DEA, UFR de géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 84 pages.

Dangermond J., 1987, *The maturing of GIS and the new age for geographic information modelling (GIMS)*. In : Aangeenbrug R.T., Schiffman Y. M., 1987, *International Geographic Information System (IGIS) : The research agenda*, NASA Symposium, Arlington, Virginia, vol. 2.

David B., Fasquel P., 1995, *Qualité d'une base de données géographique : concepts et terminologie*, Bulletin d'information de l'IGN, n° 67, 29 pages.

De Almeida C. M. et al., 2002, *Empiricism and stochastics in cellular automaton modelling of urban land use dynamics*, Working paper Series, n°42, Centre for Advanced Spatial Analysis, 37 pages.

Delahaie C., 1987, *Le carroyage : création d'une entité stable*, *L'espace géographique*, n°4, pp. 265-267.

Denegre F., Salge F., 1997, *Les systèmes d'informations géographiques*, PUF, Coll. Que-sais-je ?, 128 pages.

Didier M., Bouveyron C., 1993, *Guide économique et méthodologique des SIG*, Conseil national de l'information géographique, Ed. Hermès, 330 pages.

Dieuaide F., 1991, *Essai de délimitation des agglomérations urbaines. Une approche cartographique par la méthode du carroyage*, Mémoire de DEA, UFR de géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 139 pages.

Dimos P., Donnay J.P., 1996, *La conception de SIG. Méthode et formalisme*, Ed. Hermès, Coll. Géomatique, 343 pages.

Dureau F., Weber C., 1995, *Télédétection et systèmes d'information urbains*, Ed. Anthropos, Collection Villes, 379 p.

Joly F., 1985, 1994, *La cartographie*, PUF, Coll. Que-sais-je ?, 128 pages.

Laaribi A., 2000, *SIG et analyse multicritère*. Ed. Hermès, 190 pages.

Lajoie G., 1992, *Le carroyage des informations urbaines. Une nouvelle forme de banque de données sur l'environnement du grand Rouen*, Publication de l'Université de Rouen, Coll. Nouvelle donne en géographie, Rouen, 238 pages.

Lajoie G., Landa P., Langlois P., 1993, Une chaîne de programmes pour la gestion des carroyages dans SIGUR (Système d'information géographique de l'université de Rouen), *L'espace géographique / Théo Quant*, Sixième colloque européen de géographie théorique et quantitative « Systèmes d'information géographique et systèmes experts », pp. 11-23.

Lardon S., Libourel T., Cheylan J.P., 1999, Concevoir la dynamique des entités spatio-temporelles, *Revue Internationale de Géomatique*, Vol. 9, n°1/1999, pp. 45-65.

Mazurek. H, Dayre. P , 1988, Analyse de l'utilisation du sol par la méthode du carroyage : district urbain de Montpellier, *Mappemonde*, 1988, n°3, pp. 27-30.

Monmonier M.S., 1982, *Computer-assisted cartography. Principles and Prospects*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.

Pornon H., 1990, *Systèmes d'information géographique : des concepts aux réalisations*, Service technique de l'urbanisme, Ed. Hermès, 112 pages.

Pumain D., Saint-Julien T., 1997, *L'analyse spatiale. 1. Localisations dans l'espace*, Armand Colin/Masson, 167 pages.

Rimbert S., 1995, *Carto-graphies*, Ed. Hermès, Série Géographie assistée par ordinateur, 176 pages.

Schwartzman S., 1994, *The words of Mathematics*, The Mathematical Association of America, 262 pages.

Therriault M., Claramunt C., 1999, La représentation du temps et des processus dans les SIG : une nécessité pour la recherche interdisciplinaire, *Revue Internationale de Géomatique*, Vol. 9, n°1/1999, pp. 67-99.

Tobler W. R., 1967, Of maps and matrices, *Journal of regional Sciences (sup.)*, Vol. 7, n°2, pp. 275-280.

Tobler W. R., 1979, *Cellular geography*. In : Gale S., Olsson G, 1979, *Philosophy in geography*, Reidel Pub., Dordrecht, Holland, pp. 379-386.

Würtz M, 1996, *Systèmes d'information géographique*, Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement (ENGEES), Université Louis Pasteur, Strasbourg, 52 pages.

Sites internet :

Forum mathématique :
www.mathforum.org

Conseil national de l'information géographique :
www.cnig.fr

Institut géographique national :
www.ign.fr

Le monde des SIG :
sig.net.free.fr

Chapitre 2.2

Quantifier les dynamiques urbaines : le modèle de transition

On a vu que modéliser l'étalement urbain correspond à modéliser la façon dont les villes évoluent dans le temps. Désormais, cette modélisation peut s'appuyer sur des données cellulaires qui décrivent les changements et les évolutions dans l'espace et dans le temps. On a vu également qu'au départ, la modélisation de la dynamique de l'étalement urbain fait intervenir une hypothèse plus simple, plus précise et plus opérationnelle que celle qui sous-tend le problème général : des changements urbains continueront à se produire avec des conséquences difficiles à prévoir *a priori*, mais on peut chercher à visualiser leurs plus fortes probabilités d'occurrence (hypothèse H), en se posant d'abord la question de savoir quelle proportion ces changements vont représenter. **Ce faisant, on cherche à quantifier l'étalement urbain, ce qui induit l'hypothèse h_1 que les changements varient en quantité en fonction de chacune des occupations du sol qui composent la ville. L'hypothèse correspond ainsi à l'idée qu'il est possible d'évaluer la probabilité pour chacune des cellules constituant le terrain d'étude de passer d'une catégorie d'occupation du sol vers une autre catégorie d'occupation du sol, d'une date à une autre.** Plusieurs méthodes permettent d'atteindre ce but. La méthode des trajectoires, par exemple, souvent utilisée pour suivre l'évolution professionnelle ou résidentielles de personnes (Dureau, 1997) ou pour déterminer des localisations (Drezner *et al.*, 1998), permet de mieux comprendre la dynamique des trajectoires individuelles de chaque cellule ainsi que les logiques auxquelles elles obéissent, en analysant l'évolution typologique de leur occupation du sol. La méthode

consiste en fait à calculer des distances¹ entre des cellules deux à deux, puis à constituer des groupes (ou trajectoires-types), en rapprochant de manière itérative les individus les plus proches, selon un algorithme de classification hiérarchique ascendante. Néanmoins, dans le cas de l'espace de Belfort, la méthode des trajectoires apparaît fortement limitée par le fait que nous ne disposons que de trois dates (permettant de visualiser deux trajectoires seulement), ce qui n'apporte pas de validité suffisante à la modélisation. De surcroît, la méthode s'intéresse surtout à l'étude du passé et il est difficile d'y introduire les éléments stochastiques ou les éléments de scénario, qui pourraient servir à de nombreuses simulations prospectives. Une autre méthode, plus récente (Diappi *et al.*, 2003) consiste alors à utiliser des réseaux neuronaux. Issue directement de l'intelligence artificielle distribuée, l'idée consiste ici à mettre au point un modèle dynamique fondé sur des règles de transition auto-apprises par l'intermédiaire d'un réseaux de neurones. Le modèle étudie alors un certain nombre de changements qui se sont effectués dans l'occupation du sol en fonction de la localisation des cellules concernées, et pour une période déterminée. Un modèle stochastique effectue ensuite des changements dans l'occupation du sol de la période suivante en appliquant les règles apprises. Le même problème que précédemment se pose alors : trois dates ne suffisent pas pour qu'un réseau de neurones apprenne des règles correctes. De surcroît, ce type de modèle s'accompagne obligatoirement d'une fonction stochastique. Or, l'introduction de cette fonction aléatoire empêche souvent de suivre et de paramétrer correctement l'intégralité de la simulation.

Pour l'ensemble de ces raisons, **on privilégiera une autre méthode à celle des trajectoires ou des réseaux neuronaux, à savoir les chaînes de Markov. A partir du carroyage et de la prise en compte matricielle des informations géographiques de la ville de Belfort, les chaînes de Markov permettent en effet de construire un modèle de transition² relevant les probabilités que chaque catégorie d'occupation du sol en devienne une autre entre le temps t et le temps $t+1$.** Ces matrices de transition permettent de visualiser comment l'on est passé de l'image de 1955 à celle de 1975, et de celle de 1975 à celle de 1995. Elles peuvent être reproduites pour simuler une nouvelle image de l'occupation du sol, simulée à court terme (en 2015 par exemple) ; elles peuvent également être très simplement modifiées par l'utilisateur, pour correspondre non plus à une réalité observée, mais à une réalité voulue, construite à travers un scénario prospectif.

1. Le modèle de transition : vers la dynamique urbaine

La base de données spatio-temporelle mise au point pour étudier l'étalement urbain dans la région de Belfort, collectée et stockée dans un Système d'Information Géographique (SIG), peut être interrogée de différentes manières. Nous avons vu précédemment, par exemple,

¹ La distance correspond ici au nombre de fois où deux cellules sont dans des situations différentes.

² Transition : « Passage d'un état à un autre, d'une situation à une autre » (Le Petit Robert, 1993).

qu'elle permet de connaître l'occupation du sol de chaque cellule à chaque date, c'est-à-dire, en quelque sorte, leur histoire. Cette information résulte d'une lecture « verticale » ou « horizontale » des différentes couches de données carroyées de la base de données et des cellules qu'elle contient³. On a vu également que cette « histoire » peut être représentée sous différentes formes : un tableau, une matrice ou une série d'images (Figures 2.1.12 a, b et c). Parmi ces différentes formes, on a vu que seule la matrice permettait de faire des calculs complexes, que les autres représentations ne permettent pas directement. Aussi, il convient d'insister ici sur la forme matricielle de la base de données spatio-temporelle (qui, rappelons-le, a suffi à justifier la forme carrée des carreaux de la grille de carroyage) de manière à voir dans quelle mesure, et par quel intermédiaire, elle va permettre d'« entrer » dans la modélisation, en offrant une vision dynamique de l'espace cellulaire de l'agglomération de Belfort.

1.1. Principe du modèle de transition

Pour ce faire, il est nécessaire de voir comment le carroyage peut s'assimiler à un système d'états, qui met en jeu chacune des trois dates : 1955, 1975 et 1995. Chacun de ces états correspond en fait à une matrice. **Au prix d'une perte du caractère spatial des matrices (c'est-à-dire de la localisation des cellules en lignes et en colonnes), cette même information cellulaire peut se simplifier en vecteurs. Trois vecteurs suffisent alors à synthétiser l'occupation du sol sur l'ensemble de la période étudiée. Leur étude permet ainsi de dégager les changements intervenus entre chaque date ; les vecteurs apparaissent comme un premier moyen pour appréhender les changements urbains, et particulièrement la dynamique de l'étalement urbain.**

1.1.1. Le système des états

Les différentes couches d'information de la base de données spatio-temporelle peuvent donc être considérées comme un système de trois états, qui caractérise la ville de Belfort et l'évolution de son urbanisation. Les transitions entre ces états, c'est-à-dire le passage d'une date à une autre, s'opère donc dans un intervalle de temps discret. Un état est alors défini comme un « stade de l'évolution d'un objet » (Cheylan *et al.*, 1999)⁴. Une telle définition correspond en fait réellement à la structure de la base de données constituée à partir des documents de l'IGN. Aussi, si nous appelons T la dimension temporelle de l'étude du

³ L'idée de lecture « verticale » et « horizontale » fait référence à la Figure 2.1.11

⁴ On peut préciser la définition complète de J.P. Cheylan *et al.* (1999) : « De façon générale, [un état] est une situation considérée dans ce qu'elle a de durable. Appliqué au système spatiaux, au niveau global, l'état du système désigne une configuration qui à une certaine durée. Au niveau élémentaire : il caractérise un stade de l'évolution de l'objet [...] ».

processus d'étalement urbain (soit 1955-1995) et t les indices correspondant aux dates 1955, 1975 et 1995 (avec $t \in T$) nous pouvons écrire un état ainsi :

$$E(t), \forall t \in T$$

E : état du système spatial ; T : dimension temporelle de l'étude ;
 t : date d'observation, temps discret

Ceci indique que chaque état correspond à une date particulière t . Dans notre cas, t ne prend que trois valeurs correspondant aux trois dates d'observation. Dans le mesure où 1955 est le point de départ de l'étude, nous lui affectons la valeur 0. A la suite, 1975 correspond à 1 et 1995 correspond à 2. La base de données carroyée contient donc les trois états $E(0)$, $E(1)$, $E(2)$. De plus, on a vu dans le Chapitre 2.1, que chaque cellule contenue dans les états (en fait dans les matrices) correspond à une portion d'espace carroyé, à laquelle est affectée un code qui indique la catégorie d'occupation du sol qui lui correspond. L'occupation du sol au temps t d'une cellule N_i donnée est notée k . Compte tenu de la méthode utilisée pour coder chaque cellule, chaque occupation du sol est exclusive : à chaque cellule ne correspond qu'une seule valeur. Ceci nous avait permis d'écrire :

$$\forall i, \forall t, N_{i,k}(t) = 1,$$

$$N_{i,l}(t) = 0, \text{ si } l \neq k$$

$$\text{et } \sum_{k=1}^m N_{i,k}(t) = 1$$

$$\text{avec } l \in M \text{ et } l \neq k$$

Mais, si l'on considère que chacune de ces matrices se caractérise par ses cellules et l'occupation du sol qui leur est affectée, il est intéressant de regrouper cette occupation par catégorie, c'est-à-dire de ne plus considérer les cellules comme les unités de base, mais de privilégier les catégories d'occupation du sol. Ainsi, plutôt que de considérer les 90000 cellules⁵ qui composent le terrain d'étude, les valeurs contenues dans les matrices peuvent s'agréger en fonction de la valeur k d'occupation du sol qui leur correspond parmi les treize catégories possibles. Ces agrégats rendent alors compte de l'importance de chacune des

⁵ Rappelons que le nombre de cellules qui composent chacun des états est constant dans le temps. Dans la mesure où elles sont strictement conditionnées par la grille de carroyage qui a servi à la collecte et au codage des informations concernant l'occupation du sol, il n'y a pas de notion de vie ou de mort des cellules : aucune n'est créée, aucune ne disparaît. Elles ne font qu'évoluer (c'est-à-dire changer de catégorie) d'une date d'observation à l'autre, au sein de la même grille.

catégories pour chaque temps t . Leur somme est égale au nombre N de cellules composant chaque état :

$$N_k(t) = \sum_{i=1}^n N_{i,k}(t),$$

avec $k \in M$

$$\text{et : } N(t) = \sum_{k=1}^m N_k(t) ; N_k(t) = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n N_{i,k}(t)$$

sachant que : $N(t) = n = 90000$

Dans sa première partie (a), le tableau 2.2.01 présente les trois états de cette manière, en indiquant le nombre de cellules de chacune des trois catégories d'occupation du sol qui les composent. Cette possibilité de visualisation du terrain d'étude dans le temps apparaît alors synthétique et simple ; elle indique par exemple que la forêt occupait 34595 cellules du terrain d'étude en 1955, 35174 cellules en 1975 et 37389 cellules en 1995. On voit ainsi très rapidement que la tendance générale a été à la reforestation sur toute la durée, mais de façon plus importante dans la deuxième période que dans la première. Pourtant, **si l'on saisit bien l'intérêt de cette manière de prendre en compte les données, on note, en même temps que l'on lit les pourcentages, que toute information spatiale à propos de ces pourcentages est perdue : nonobstant que l'on sache que certaines cellules ont été reboisées, nul ne saurait dire où se situent ces cellules.** Pour faire cette recherche, un recours à la base carroyée et aux requêtes SIG est nécessaire. Couplées, ces deux manières de considérer les données apparaissent fortement complémentaires. Mais, ce couplage n'est possible que parce que la densité de chaque cellule est toujours identique, c'est-à-dire parce que les cellules sont de même taille, sans quoi il serait impossible, par exemple, d'assimiler un nombre de cellules à un pourcentage d'occupation du sol du terrain d'étude. En fait, la densité de n'importe quelle occupation du sol dans le système est la proportion d'occupation du sol $q_k(t)$ définie comme :

$$q_k(t) = \frac{N_k(t)}{N(t)}$$

$$\text{et : } q(t) = \sum_{k=1}^m q_k(t) = 1$$

avec : $0 \leq q_k(t) < 1, \forall t$

Pour chacun des trois états E , on peut ainsi calculer la proportion de chaque occupation du sol. Cette opération nécessite le comptage⁶ préalable des cellules de même catégorie, c'est-à-dire l'utilisation du Tableau 2.2.01a. Mais, ce comptage, qui a préalablement été décrit en nombre de cellules, peut également s'exprimer en hectares (sachant que chaque cellule a une surface identique de 0.25 ha), ou en m². Dans tous les cas, étant donné que toutes les cellules sont de même taille, ces chiffres peuvent également être convertis en pourcentages. La deuxième partie du Tableau 2.2.01b montre donc les mêmes valeurs que la partie du haut, mais en pourcentage de l'occupation du sol pour chaque date.

L'occupation du sol en 1955, 1975 et 1995														TABLEAU
en nombre de cellules (en haut) et en proportions (en bas)														2.2.01
a.	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	N_8	N_9	N_{10}	N_{11}	N_{12}	N_{13}	N
E(1)	42186	34595	2061	2333	2575	113	294	154	953	3638	1093	0	5	90000
E(2)	38311	35174	3758	2759	2948	220	306	215	1175	3958	1125	46	5	90000
E(3)	33195	37389	3677	4104	3451	260	543	304	1744	3990	1194	146	3	90000
b.	$q(1)$	$q(2)$	$q(3)$	$q(4)$	$q(5)$	$q(6)$	$q(7)$	$q(8)$	$q(9)$	$q(10)$	$q(11)$	$q(12)$	$q(13)$	q
E(1)	.46873	.38439	.0229	.02592	.02861	.00126	.00327	.00171	.01059	.04042	.01214	0	.00006	1
E(2)	.42568	.39082	.04176	.03066	.03276	.00244	.00340	.00239	.01306	.04398	.01250	.00051	.00006	1
E(3)	.36883	.41543	.04086	.04560	.03834	.00289	.00603	.00338	.01938	.04433	.01327	.00162	.00003	1
Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1= espaces libres ; 2 = bois et forêts ; 3 = surfaces en eaux ; 4 = maisons individuelles ; 5 = bâti dense ; 6 = bâti collectif ; 7 = équipements ; 8 = structures d'encadrement ; 9 = zones d'activités ; 10 = routes départementales ; 11 = routes nationales ; 12 ; échangeurs autoroutiers ; 13 = gares														
Sources : JP. Antoni (2001)														

A partir de ces proportions, il est possible de représenter la proportion d'occupation du sol à chaque état sous la forme d'un simple graphique, qui l'exprime à la fois en pourcentages et en nombre de cellules (Figure 2.2.01). Ainsi, on voit bien que **si chaque état peut se définir de façon brute comme une matrice, l'agrégation de leurs catégories d'occupation du sol permet de les représenter sous la forme de différents tableaux, qui permettent de considérer les treize catégories d'occupation du sol en nombre de cellules ou en hectares, ou encore les unes par rapport aux autres, en pourcentages. Mais, il est également possible de les formaliser comme des vecteurs, et particulièrement comme des vecteurs de probabilité.** Dans ces vecteurs, chaque agrégat $N_k(t)$ prend la forme d'une probabilité et une position qui fait référence à la catégorie d'occupation du sol à laquelle il appartient. La somme des éléments des vecteurs est alors forcément égale à 1, et la taille des vecteurs est égale au nombre de catégories d'occupation du sol considérées, c'est-à-dire à m , en l'occurrence ici à 13. Ainsi, si l'on note $v(t)$ les vecteurs, on obtient les trois vecteurs suivants :

⁶ Compte tenu de la structure de la base de données spatio-temporelle, cette opération de comptage constitue une fonction de base du SIG.

$$v(0) = (p_1(0), \dots, p_{13}(0))$$

$$= (0.4687, 0.3844, 0.0229, 0.0259, 0.0286, 0.0013, 0.0033, 0.0017, 0.0106, 0.0404, 0.0121, 0.0, 0.0001)$$

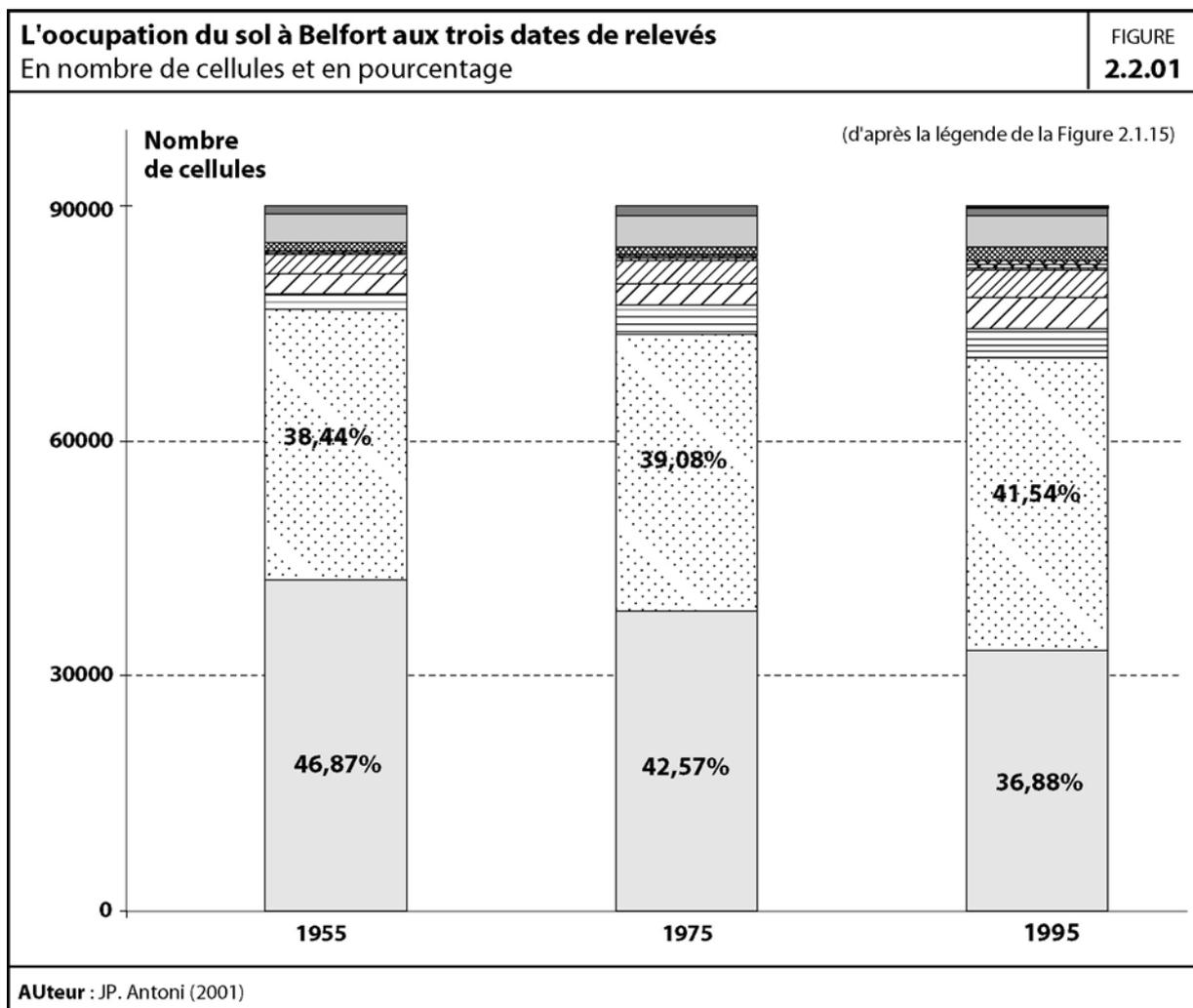
$$v(1) = (p_1(1), \dots, p_{13}(1))$$

$$= (0.4257, 0.3908, 0.0418, 0.0307, 0.0328, 0.0024, 0.0034, 0.0024, 0.0131, 0.0440, 0.0125, 0.0005, 0.0001)$$

$$v(2) = (p_1(2), \dots, p_{13}(2))$$

$$= (0.3688, 0.4154, 0.0409, 0.0456, 0.0383, 0.0029, 0.0060, 0.0034, 0.0194, 0.0443, 0.0133, 0.0016, 0.00003)$$

Ceci montre bien que chaque état du système spatial peut se synthétiser par agrégation et se définir comme un vecteur. De fait, les vecteurs ne font qu'exprimer sous autre forme la valeur de chaque catégorie d'occupation du sol : on pourrait aussi y lire que les forêts représentent 38,44% de la surface étudiée en 1955, 39,08% en 1975 et 41,54% en 1995.



1.1.2. Les transitions entre les états

Les vecteurs présentent les différents états de l'occupation du sol sur le terrain d'étude, donc des changements dans le temps. Pourtant, et même si leur représentation graphique montre une évolution, **ces vecteurs sont des images statiques de chaque temps t . Ils ne témoignent pas d'une évolution, mais informent de façon discrète sur l'état des choses à des moments donnés. On peut donc considérer qu'ils correspondent à des photographies ou à des coupes instantanées renvoyant une image statique d'un phénomène qui, lui, est en évolution dynamique. La question est donc de savoir comment, à partir de ces images, il est possible de retrouver le processus dont elles sont issues.** Nous inversons donc la démarche naturelle des choses : les états sont issus d'un processus ; nous cherchons à déterminer un processus à partir des états.

L'une des possibilités pour lier les états et le processus qui les ont créés, consiste alors à étudier les modifications intervenues entre chaque état. Compte tenu des données et de la structure de la base SIG, cette étude est possible au niveau « micro » : pour chaque cellule, individuellement, on peut connaître la valeur d'occupation du sol dans chaque état, ce qui correspondrait à la lecture verticale des données présentée dans la Figure 2.1.09. On peut savoir, par exemple, qu'une cellule i donnée est codée en « forêts » en 1955, en « espaces libres » en 1975, et en « maison individuelle » en 1995. Cette cellule N_i a donc connu une double transition, d'abord de « forêt » vers « espaces libres » entre 1955 et 1975, ensuite de « espaces libres » vers « maisons individuelles » entre 1975 et 1995. Par la force des choses, on connaît alors également les mutations qu'ont connu chacune des cellules d'une occupation du sol vers une autre. **L'étude agrégée de ces mutations (on considère alors l'ensemble des cellules) peut permettre de dégager les grandes lignes des transitions qui ont permis de passer d'un état vers un autre.** Il ne s'agit pas ici simplement de considérer la catégorie d'occupation du sol des cellules à chaque date (ce que l'on avait déjà fait au chapitre précédent ; Figure 2.1.10a), mais bien de mettre l'accent sur les mutations d'une catégorie d'occupation du sol vers une autre.

1.1.3. Graphes et matrices de transition

Ainsi, nous l'avons vu, en confrontant les états deux à deux et cellule par cellule, et étant donné que celles-ci se superposent strictement, il est possible de connaître la mutation de l'occupation du sol de chaque cellule entre t et $t+1$, afin de saisir ces mutations de façon dynamique. Les mutations théoriquement possibles pour une cellule N_i donnée correspondent alors à la Figure 2.2.02. Cette figure montre douze mutations possibles vers une catégorie d'occupation du sol d'arrivée différente de celle de départ, et une mutation vers une catégorie identique à celle de départ, c'est-à-dire une stagnation. Chaque cellule a donc treize possibilités de transition et la dynamique du modèle peut se présenter comme

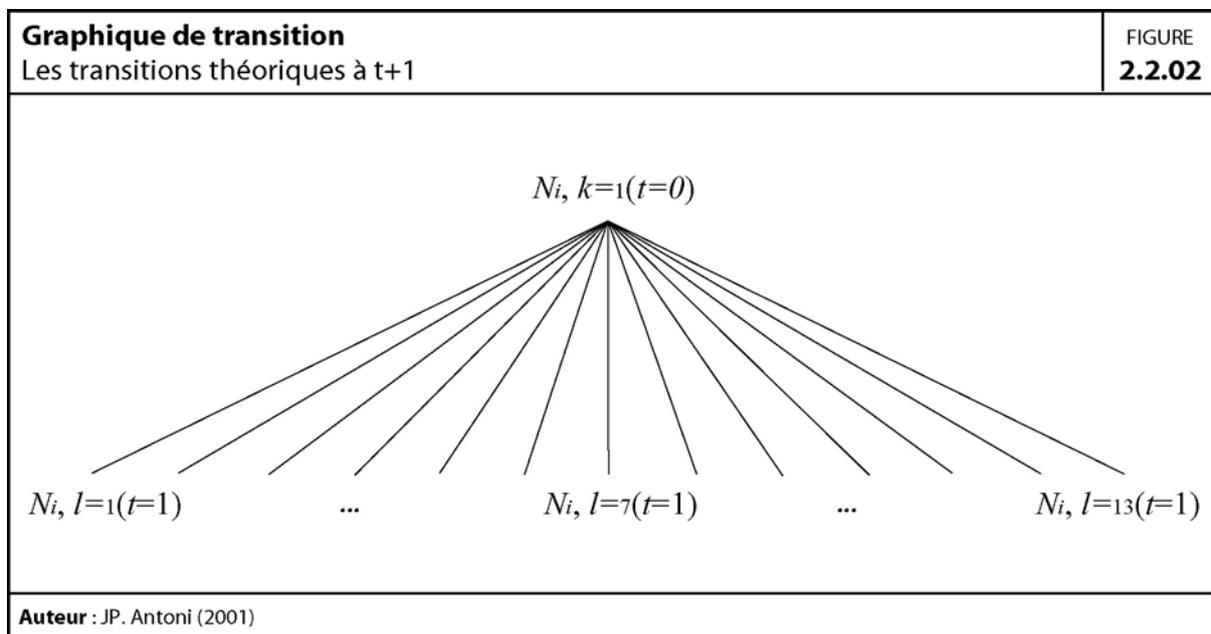
cette série de treize transitions possibles d'une occupation du sol de départ k à une occupation du sol d'arrivée l .

Au niveau d'une cellule N_i donnée, une transition Δ d'une catégorie d'occupation du sol k au temps t vers une catégorie d'occupation l au temps $t+1$ peut s'écrire ainsi :

$$\Delta N_{i,kl}(t) = 1$$

si $N_{i,k}(t) = 1$ et $N_{i,l}(t+1) = 1$

sinon = 0



Dans le cas de la ville de Belfort, un graphique plus complexe permet de visualiser l'ensemble des transitions entre chacune des treize catégories d'occupation du sol entre 1955 et 1975, puis entre 1975 et 1995. Ici, seules les transitions qui ont effectivement été observées dans le passé (cf. l'interrogation de la base de données spatio-temporelle) ont été représentées par un lien (Figure 2.2.03). Cette figure montre bien que sur une période de quarante ans, les transitions observées sont considérables et extrêmement complexes. De manière à simplifier cette complexité, on ne considère plus les mutations au niveau des cellules, mais au niveau des agrégats par catégories d'occupation du sol (ce qui revient à passer du niveau « micro » au « macro »), la transition agrégée pour le système complet est alors :

$$\Delta N_{kl}(t) = \sum_{i=1}^n \Delta N_{i,kl}(t)$$

Compte tenu de cela, il est possible de construire deux tableaux correspondant à des matrices de contingence. Ces matrices relèvent le nombre de cellules qui, dans notre cas, sont passées d'une catégorie d'occupation k à l entre t et $t+1$. L'observation des transitions se faisant par état deux à deux, nous obtenons deux matrices, notées $Q'_{(0,1)}$ et $Q'_{(1,2)}$, correspondant respectivement aux observations liées à la période 1955-1975, et à la période 1975-1995 :

$$Q_{(0,1)} = \begin{pmatrix} q_{1,1(0,1)} & \dots & q_{1,m(0,1)} \\ \dots & & \dots \\ q_{m,1(0,1)} & \dots & q_{m,m(0,1)} \end{pmatrix} \text{ et } Q_{(1,2)} = \begin{pmatrix} q_{1,1(1,2)} & \dots & q_{1,m(1,2)} \\ \dots & & \dots \\ q_{m,1(1,2)} & \dots & q_{m,m(1,2)} \end{pmatrix}$$

Matrice de contingence Mesurée entre 1955 et 1975													TABLEAU 2.2.02
75 55	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	37168	1602	1277	902	448	103	59	53	264	202	91	17	0
2	85	33248	746	81	55	5	6	23	55	282	9	0	0
3	211	93	1709	9	3	0	0	3	13	2	5	13	0
4	419	65	16	1702	47	6	1	6	18	46	5	2	0
5	92	20	2	11	2321	13	0	0	16	87	13	0	0
6	2	0	0	1	13	91	0	0	5	1	0	0	0
7	43	6	4	1	0	2	234	0	4	0	0	0	0
8	16	12	0	0	0	0	0	124	1	0	1	0	0
9	98	27	2	9	5	0	0	0	788	20	4	0	0
10	145	89	0	37	35	0	0	1	7	3316	4	4	0
11	32	12	2	6	21	0	6	5	4	2	993	10	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5

Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1= espaces libres ; 2 = bois et forêts ; 3 = surfaces en eaux ; 4 = maisons individuelles ; 5 = bâti dense ; 6 = bâti collectif ; 7 = équipements ; 8 = structures d'encadrement ; 9 = zones d'activités ; 10 = routes départementales ; 11 = routes nationales ; 12 ; échangeurs autoroutiers ; 13 = gares

Auteur : JP. Antoni (2001)

Ces matrices de contingence lient les états deux à deux. Dans ce sens, elles permettent de considérer la dynamique de l'occupation du sol comme un processus dynamique. Calculées à partir des données de la base carroyée, elles montrent les évolutions suivantes sur l'espace de la ville de Belfort et sont exprimées en nombre de cellules qui sont passées d'une des treize catégories d'occupation du sol de départ vers l'une des treize catégories d'arrivée possibles (Tableaux 2.2.02 et 2.2.03). **La lecture de ces matrices montre bien que**

tous les changements mesurés n’ont pas la même probabilité d’occurrence. Ainsi, pour mieux prendre en compte les processus des changements, il est possible de considérer les transitions par l’intermédiaire de leurs probabilités, c’est-à-dire de manière stochastique. Mais, il est alors nécessaire de définir ce que l’on entend par processus stochastique, et dans cette catégorie de processus, de définir ce qu’est une chaîne de Markov.

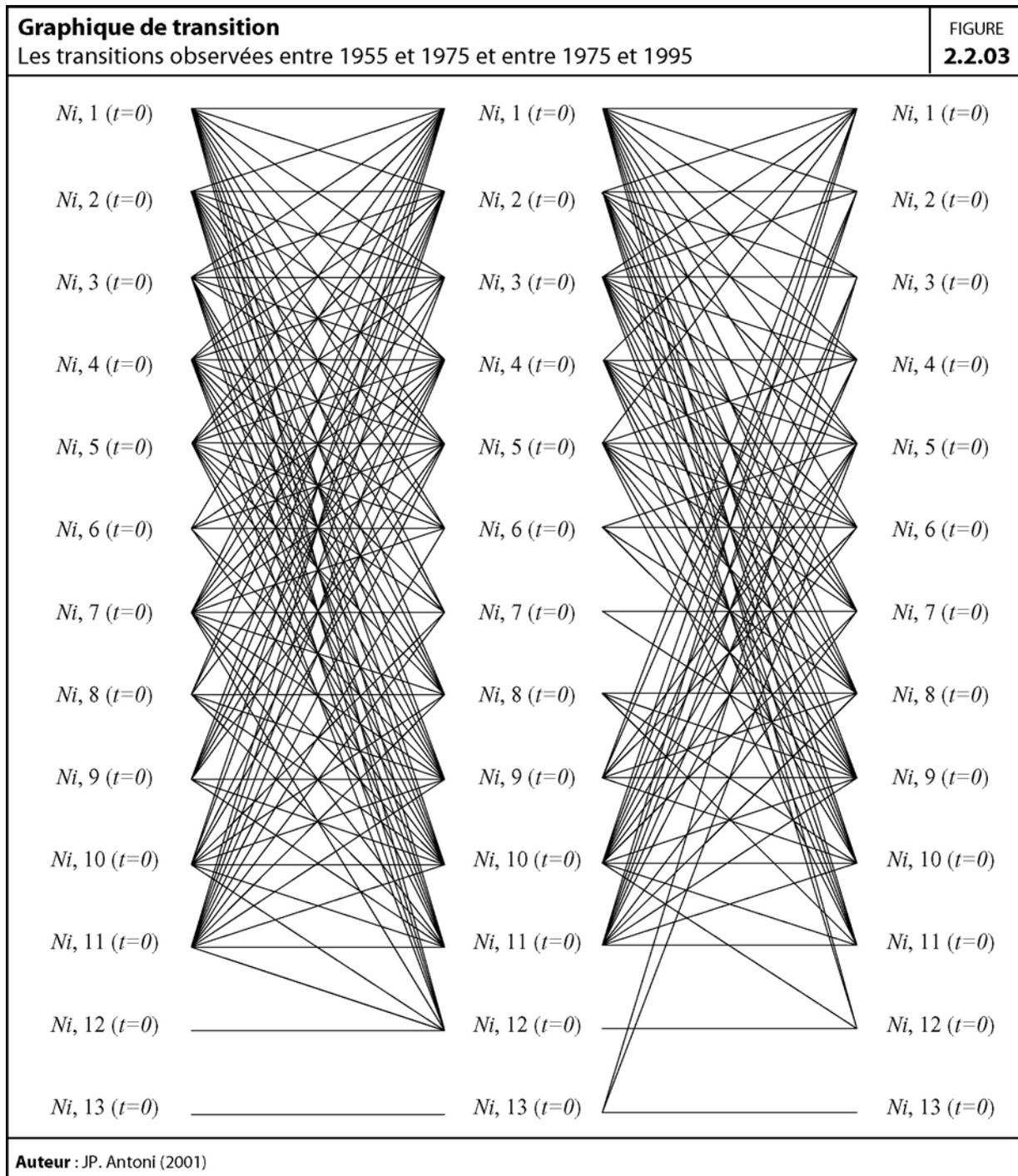
Matrice de contingence Mesurée entre 1975 et 1995													TABLEAU 2.2.03	
95 75	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	31472	4109	55	1185	408	20	198	58	411	183	122	90	0	
2	1625	33021	4	192	83	0	16	20	112	34	65	2	0	
3	25	81	3606	26	2	0	5	3	7	2	1	0	0	
4	2	0	0	2650	37	4	6	2	16	40	2	0	0	
5	2	0	0	7	2868	14	12	5	11	29	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	219	0	0	1	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	305	0	1	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	213	1	1	0	0	0	
9	2	0	0	0	0	2	0	2	1163	6	0	0	0	
10	37	176	10	32	50	1	0	0	20	3617	7	8	0	
11	30	2	1	12	2	0	1	1	1	78	997	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	
13	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	

Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1= espaces libres ; 2 = bois et forêts ; 3 = surfaces en eaux ; 4 = maisons individuelles ; 5 = bâti dense ; 6 = bâti collectif ; 7 = équipements ; 8 = structures d'encadrement ; 9 = zones d'activités ; 10 = routes départementales ; 11 = routes nationales ; 12 ; échangeurs autoroutiers ; 13 = gares

Auteur : JP. Antoni (2001)

1.2. Les chaînes de Markov

Chacune des deux matrices de contingence nous rapproche de l’étude des processus. En effet, si les trois états dont elles sont issues sont bien des images parfaitement statiques de l’espace géographique, ces matrices montrent combien de cellules sont passées d’une image à une autre, en prenant simplement en compte, de date en date, le nombre de cellules qui ont évolué dans chaque catégorie d’évolution du sol, et éventuellement la probabilité que chaque transition se fasse. Cette façon de concevoir les données localisées dans le temps et dans l’espace ne peut véritablement être considérée comme dynamique, mais elle a l’avantage de lier les états dans le temps, deux à deux, et elle se rapproche ainsi de la manière avec laquelle on caractérise généralement un processus stochastique, qui amènera à la considération d’une chaîne de Markov.



1.2.1. Les processus stochastiques

Les problèmes stochastiques sont ceux dans lesquels le hasard intervient généralement comme la difficulté principale. Face à ce type de problèmes, une connaissance statistique du

passé (si toutefois l'on estime que l'avenir ressemblera au passé connu)⁷ permet de ne pas laisser le hasard comme seul maître des choses, mais offre un certain rôle à l'histoire : ce qui se passera dans l'avenir ressemblera à ce qui est arrivé dans le passé. Ce type de problèmes a donné naissance à une théorie des processus stochastiques, dont la thèse d'A. Einstein sur le mouvement brownien (1905) figure la première idée. Elle a ensuite été reprise par A. Markov (qui les a décrits sous forme de chaînes), et A. Kolmogorov (qui formalise les processus stochastiques de façon générale en 1933). Dans l'intervalle ou par la suite, la théorie est développée par des mathématiciens essentiellement : P. Lévy, A. Kintchine, W. Feller, J. Doob, etc. La théorie définit un processus stochastique (aussi appelé processus aléatoire) comme une famille de variables aléatoires, qui peut s'écrire de la façon suivante :

$$\{ X(t), t \in T \}$$

où t parcourt l'ensemble des indices T

On notera la similarité entre cette expression classique des processus stochastiques et celle que nous proposons plus haut pour signifier que, dans notre cas, les états prenaient place dans le temps (cf. § 1.1.1). Dans le cas du système d'états de Belfort, étant donné que les variables ont été relevées à trois dates connues et qu'elles correspondent à treize catégories d'occupation du sol, nous sommes face à un processus stochastique à temps et à espace discrets. Mais, si les processus stochastiques sont des fonctions aléatoires, leur argument est le temps, au déroulement irréversible et inéluctable ($T \in \mathbb{N}$). On note donc temporairement f la fonction stochastique permettant de passer d'un état à un autre, et on peut écrire que cette fonction lie les états entre eux (deux à deux) dans le temps de la manière suivante :

$$E(t+1) = f(E(t))$$

Ici, en guise de processus stochastique de transition d'un état $E(t)$ vers un état $E(t+1)$ (que nous « symbolisons » par la fonction f), nous disposons pour l'instant simplement de deux matrices de contingence. Ces matrices peuvent aisément constituer la base d'un processus markovien (chaînes de Markov), qui deviendra la fonction de transition opérationnelle, permettant la simulation. Pour cette simulation, le temps est déterminant et réduit les possibilités à la prédiction (ou à l'extrapolation), c'est-à-dire à la connaissance du comportement de $X(t)$ pour $t > t_0$ connaissant les valeurs de $X(t)$ pour $t \leq t_0$. C'est bien dans cette optique que nous posons le problème comme un processus stochastique ; afin de pouvoir simuler un état encore inconnu. L'objectif est alors de contraindre le caractère

⁷ Plus loin, cette estimation nous obligera à poser une hypothèse : l'hypothèse de stationnarité.

aléatoire du processus par l'observation du passé, et d'utiliser cette observation pour simuler l'avenir.

Attribuée principalement au mathématicien russe A. Markov (vers 1907), un chaîne de Markov peut se définir brièvement comme « un processus dont les probabilités de transition sont des probabilités conditionnelles au passé » (Feller, 1968 ; Berchtold, 1998). Elles appartiennent à la famille générale des processus stochastiques. Elle exprime l'état de la variable à l'époque t en fonction d'un certain nombre d'observations passées de cette même variable. D'après S. Rimbart⁸ (1995), la « mise en marche » d'une chaîne de Markov nécessite la préparation préalable : **1. D'un vecteur de faits mobiles dont l'observation est exprimée en valeurs relatives de leur masse totale ; par exemple, c'est l'occupation du sol dans sa forme vectorielle (que nous avons décrite plus haut) ; 2. D'une matrice de transition où sont exprimées les probabilités de déplacement des différents groupes d'observations, d'un endroit vers un autre ; 3. D'un opérateur de transformation diachronique, en l'occurrence une multiplication matricielle à itération.** Cela veut dire qu'une simulation de l'état $E(t+1)$ est possible si l'on multiplie le vecteur correspondant à un état E par la matrice de contingence correspondant, après que celle-ci ait été transformée en une matrice de probabilités de transition d'une catégorie d'occupation du sol vers une autre. Pour considérer les transitions comme des probabilités à partir des contingences observées, on pose simplement :

$$p_{kl}(t) = \frac{\Delta N_{kl}(t)}{N_k(t)} \quad \text{et} \quad \sum_{k=1}^m p_{kl}(t) = 1$$

Compte tenu de cela, les transitions d'une occupation du sol k vers une occupation l peuvent s'exprimer sous forme de probabilités de transition. On considèrera alors la chaîne de Markov de la façon suivante :

$$N_l(t+1) = \sum_{k=1}^m p_{kl} \cdot N_k(t)$$

$$\text{où : } p_{kl} = \frac{\Delta N_{kl}(t)}{N_k(t)} = \frac{\Delta N_{kl}(t)}{\sum_l \Delta N_{kl}(t)} \quad \text{et : } \sum_l p_{kl} = 1$$

Une chaîne de Markov consiste en fait, pour chaque catégorie d'occupation du sol donnée k , à multiplier le nombre de cellules de cette catégorie au temps t par la probabilité p_{kl} d'évoluer

⁸ On notera d'ailleurs que la conclusion un peu lapidaire que tire S. Rimbart (1995) à propos de l'utilisation des chaînes de Markov, en qualifiant la démarche d'« irréaliste », est dû à l'exemple qu'elle prend pour l'illustrer. Dans notre cas, les problèmes qu'elle souligne (notamment la possibilité de modifier le nombre d'individus dans le temps), ne peuvent être rencontrés.

vers la catégorie l entre le temps t et $t+1$, afin de déterminer le nombre de cellules de la catégorie l au temps $t+1$. On saisit donc, à la simple lecture de cette phrase, que les résultats sont déterminés alors même qu'ils utilisent des probabilités. La question est alors de savoir si, utilisée comme telle, une chaîne de Markov apparaît comme un modèle de transition stochastique ou bien comme un modèle déterministe.

1.2.2. Modèle stochastique ou modèle déterministe ?

La question du stochastique ou du déterministe peut sembler anodine et n'avoir d'intérêt que sur un plan théorique. Quand il s'agit d'interpréter les résultats obtenus par l'intermédiaire d'une chaîne de Markov, c'est-à-dire le vecteur donnant l'occupation du sol futur et résultant de la multiplication d'un vecteur d'occupation du sol avec une matrice de transition, cette question apparaît pourtant très concrète. Ces résultats sont-ils déterminés par le modèle ou apparaissent-ils comme des probabilités ? Dans le premier cas, on dira en interprétant les résultats que « l'état $E(t+1)$ sera composé de tant et tant de cellules dans chaque catégorie d'occupation du sol » ; alors que dans le deuxième cas, on dira qu'« il y a telle probabilité pour que l'état $E(t+1)$ soit composé de tant et tant de cellules dans chaque catégorie d'occupation du sol ». Les résultats sont donc identiques, mais leur signification, et avec elle celle des simulations, n'est pas la même dans le premier cas que dans le deuxième ; et l'approche prospective se trouve changée si l'on est dans l'un ou dans l'autre. Cette question en soulève néanmoins une autre, plus fondamentale pour la compréhension de la méthode : qu'est-ce qu'une probabilité ?

Une probabilité est le caractère de ce qui est probable, c'est-à-dire « ce dont on peut penser que l'existence, la réalisation, a eu, a ou aura lieu ; qu'il est raisonnable de conjecturer, de présumer, de prévoir » (Petit Robert, 1993). Les éléments relevés dans les matrices de contingence retracent globalement le passé des transitions de l'occupation du sol. Parmi ces transitions, la majorité peut offrir une batterie de probabilités qui servira de corps au modèle. Les probabilités $p_{k,l}(t)$, correspondant aux différentes valeurs possibles de k et l , peuvent toutes être résumées par une matrice $Q_{(t-1,t)}$, de dimension $(M \times M)$, appelée matrice de transition de l'époque $t-1$ à l'époque t . Dans la littérature, cette matrice est souvent appelée matrice stochastique ; ce qui témoigne du fait que les éléments de bases considérés par la matrice (c'est-à-dire les cellules) ne sont pas déterminés en tant que tels à changer d'occupation du sol pour telle ou telle catégorie : elles n'ont qu'une probabilité que ces changements se réalisent. Les éléments de la matrice stochastique donnent donc la probabilité pour chaque cellule de changer de l'état k à l'état l à la prochaine étape. Pour construire ces matrices, il suffit d'interroger la base de données spatio-temporelle, en relevant le nombre de cellules qui a évolué de chaque catégorie d'occupation du sol de départ vers chaque catégorie d'arrivée. On retrouve alors la matrice de contingence écrite plus haut :

$$Q_{(t-1;t)} = [q_{k,l}(t)] = \begin{pmatrix} q_{1,1}(t) & \dots & q_{1,m}(t) \\ \dots & & \dots \\ q_{m,1}(t) & \dots & q_{m,m}(t) \end{pmatrix}$$

Ces deux matrices de contingence deviennent des matrices de transition à partir du moment où elle ne contiennent plus des contingences, mais des probabilités de transition. Or, on a vu précédemment comment transformer une contingence en une probabilité de transition. Dans le cas de la région de Belfort, et compte tenu de la structure des données utilisées, deux matrices expriment toutes les probabilité de passage d'une valeur à une autre pour chaque période (1955-1975 et 1975-1995, soit (0,1) et (1,2)). On notera respectivement $Q_{(0,1)}$ et $Q_{(1,2)}$ ces deux matrices :

$$Q_{(0,1)} = \begin{pmatrix} p_{1,1}(0,1) & \dots & p_{1,m}(0,1) \\ \dots & & \dots \\ p_{m,1}(0,1) & \dots & p_{m,m}(0,1) \end{pmatrix} \text{ et } Q_{(1,2)} = \begin{pmatrix} p_{1,1}(1,2) & \dots & p_{1,m}(1,2) \\ \dots & & \dots \\ p_{m,1}(1,2) & \dots & p_{m,m}(1,2) \end{pmatrix}$$

Chacune des lignes des matrices de transition apparaît alors comme une loi de probabilité : la somme des éléments de chaque ligne est égale à 1. Ici, les deux matrices de transitions peuvent être calculées directement à partir des matrices de contingences construites à l'étape précédente (les Tableau 2.2.04 et Tableau 2.2.05 sont respectivement construits à partir des Tableaux 2.2.02 et 2.2.03). Mais, la lecture de ces deux matrices peut montrer que certaines probabilités $p_{k,l}(t)$ sont nulles. C'est le cas, par exemple, pour la probabilité de passer de la catégorie « surfaces en eaux » (catégorie 3) à la catégorie « équipements » (catégorie 7). Si l'on considère l'espace étudié dans ses treize catégories d'occupation du sol, aucune cellule ne passe de l'une à l'autre de ces catégories entre 1955 et 1975 ; la contingence $\Delta N_{3,7}(0,1)$ est alors égale à zéro. Cet exemple montre bien que, **même si aucune transition n'est a priori impossible (comme le montre la Figure 2.2.02), certaines sont inexistantes, donc de probabilité nulle. Concrètement, elles peuvent alors effectivement être considérées comme impossibles.**

Matrice de transition Mesurée entre 1955 et 1975													TABLEAU 2.2.04	
75 55	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	0,881	0,038	0,030	0,021	0,011	0,002	0,001	0,001	0,006	0,005	0,002	0,000	0,000	
2	0,002	0,961	0,022	0,002	0,002	0,000	0,000	0,001	0,002	0,008	0,000	0,000	0,000	
3	0,102	0,045	0,829	0,004	0,001	0,000	0,000	0,001	0,006	0,001	0,002	0,006	0,000	
4	0,180	0,028	0,007	0,730	0,020	0,003	0,000	0,003	0,008	0,020	0,002	0,001	0,000	
5	0,036	0,008	0,001	0,004	0,901	0,005	0,000	0,000	0,006	0,034	0,005	0,000	0,000	
6	0,018	0,000	0,000	0,009	0,115	0,805	0,000	0,000	0,044	0,009	0,000	0,000	0,000	
7	0,146	0,020	0,014	0,003	0,000	0,007	0,796	0,000	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	
8	0,104	0,078	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,805	0,006	0,000	0,006	0,000	0,000	
9	0,103	0,028	0,002	0,009	0,005	0,000	0,000	0,000	0,827	0,021	0,004	0,000	0,000	
10	0,040	0,024	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,002	0,911	0,001	0,001	0,000	
11	0,029	0,011	0,002	0,005	0,019	0,000	0,005	0,005	0,004	0,002	0,909	0,009	0,000	
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	
13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	

Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1= espaces libres ; 2 = bois et forêts ; 3 = surfaces en eaux ;
4 = maisons individuelles ; 5 = bâti dense ; 6 = bâti collectif ; 7 = équipements ; 8 = structures d'encadrement ;
9 = zones d'activités ; 10 = routes départementales ; 11 = routes nationales ; 12 ; échangeurs autoroutiers ; 13 = gares

Auteur : JP. Antoni (2001)

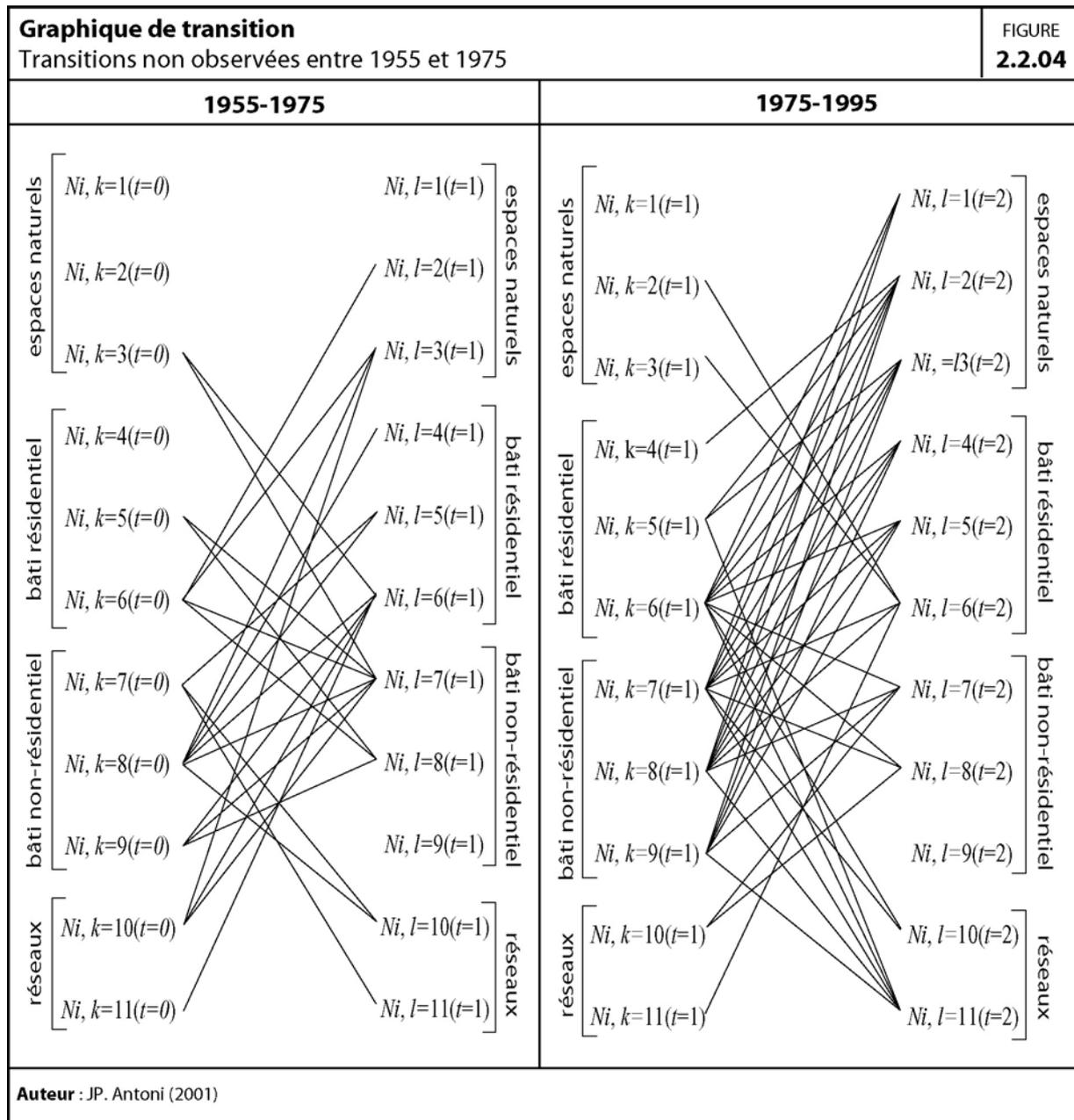
Matrice de transition Mesurée entre 1975 et 1995													TABLEAU 2.2.05	
95 75	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	0,821	0,107	0,001	0,031	0,011	0,001	0,005	0,002	0,011	0,005	0,003	0,002	0,000	
2	0,046	0,939	0,000	0,005	0,002	0,000	0,000	0,001	0,003	0,001	0,002	0,000	0,000	
3	0,007	0,022	0,960	0,007	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	
4	0,001	0,000	0,000	0,960	0,013	0,001	0,002	0,001	0,006	0,014	0,001	0,000	0,000	
5	0,001	0,000	0,000	0,002	0,973	0,005	0,004	0,002	0,004	0,010	0,000	0,000	0,000	
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,995	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,997	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,991	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	
9	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,990	0,005	0,000	0,000	0,000	
10	0,009	0,044	0,003	0,008	0,013	0,000	0,000	0,000	0,005	0,914	0,002	0,002	0,000	
11	0,027	0,002	0,001	0,011	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,069	0,886	0,000	0,000	
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	
13	0,000	0,000	0,200	0,000	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,600	

Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1= espaces libres ; 2 = bois et forêts ; 3 = surfaces en eaux ;
4 = maisons individuelles ; 5 = bâti dense ; 6 = bâti collectif ; 7 = équipements ; 8 = structures d'encadrement ;
9 = zones d'activités ; 10 = routes départementales ; 11 = routes nationales ; 12 ; échangeurs autoroutiers ; 13 = gares

Auteur : JP. Antoni (2001)

Deux figures de transition, représentant la même information pour chacune des deux périodes, permettent de bien visualiser les transitions pour lesquelles $N_{k,l}(t) = 0$ et $\Delta N_{k,l}(t) = 0$, c'est-à-dire les transitions nulles, théoriquement possibles mais pratiquement impossibles (Figure 2.2.03 et Figure 2.2.04). Mais, ces figures montrent également que le comportement des cellules diffère en fonction de leur catégorie d'occupation du sol. Les espaces naturels (notamment les surfaces en eaux et les forêts), peuvent en effet passer vers n'importe quelle catégorie entre t et $t+1$. Le bâti est quant à lui beaucoup plus contraint : de nombreuses impossibilités l'empêchent d'évoluer, surtout quand il s'agit, au départ, d'éléments lourds (bâti résidentiel dense ou collectif, bâti non résidentiel correspondant à des infrastructures économiques ou administratives). Les réseaux, et particulièrement les routes nationales, sont relativement peu contraints. Durant la période suivante (1975-1995), cette tendance semble se renforcer. On notera particulièrement, à la lecture de la Figure 2.2.04, l'augmentation sensible des impossibilités de transition vers ou à partir des catégories d'occupation du sol correspondant au bâti. Il semble bien que durant cette seconde période, ces éléments se stabilisent, c'est-à-dire qu'ils soient moins sujets à une mutation que durant la période précédente. Le bâti évolue donc moins entre 1975 et 1995 qu'entre 1955 et 1975. Mais, le jeu des transitions reste extrêmement complexe et difficile à visualiser.

Sur le plan théorique et méthodologique, **les contingences nulles observées dans les deux matrices et représentées par une absence de lien dans les deux figures ci-dessus, posent un problème : peut-on qualifier de nulles certaines probabilités de transition parce qu'elles n'ont pas été observées durant l'intervalle d'observation, tout en sachant qu'elles sont théoriquement possibles ?** Ces transitions ont pu exister avant 1955 ; rien ne s'oppose théoriquement à ce qu'elles apparaissent après 1995. Nous nous trouvons dès lors dans l'« impossibilité d'observer des événements improbables » décrite par P. Deuhevvels (1982). Comme lui, nous rappellerons alors les trois notes suivantes : 1. Un phénomène aléatoire est par définition impossible à prévoir dans le détail, on ne peut qu'évaluer le caractère plus ou moins probable de certains éléments observables qui lui sont associés ; 2. Si le phénomène est assez complexe, il est possible d'attribuer à certains événements théoriquement observables la probabilité zéro, ce qui en fait des impossibilités physiques ; 3. Si l'on peut dire antérieurement à l'observation d'un phénomène aléatoire que certaines de ses réalisations théoriquement possibles n'auront certainement pas lieu, dans quelle mesure ce phénomène reste-t-il encore aléatoire ? Nous nous trouvons donc face au paradoxe d'obtenir des certitudes à partir de phénomènes aléatoires ... avec le problème d'interprétation que cela entraîne.



Ce paradoxe n'est pas réellement problématique tant que la certitude n'est pas totale. Le fait qu'une catégorie d'occupation du sol k ait une probabilité de passer dans au moins deux catégories d'occupation du sol différentes à $t+1$, ne révèle aucune certitude quant à son évolution future. Par contre, et c'est le cas pour la catégorie 12 (les échangeurs autoroutiers), le problème est plus complexe quand les cellules sont conditionnées vers une catégorie d'arrivée unique, c'est-à-dire quand il existe une catégorie dite « absorbante » (dans le vocabulaire des chaînes de Markov), c'est-à-dire une catégorie impossible à quitter. On lit dans la matrice $Q_{(1,2)}$ que les échangeurs autoroutiers resteront forcément des échangeurs autoroutiers à $t+1$. Leur probabilité est égale à 1 ; c'est donc une certitude totale (et un paradoxe). Dans la réalité, on constate également qu'aucun échangeur autoroutier n'a jamais été détruit. Est-ce pour autant qu'ils ne le seront jamais ?

2. Paramétrer une chaîne de Markov

Cette question des probabilités, de la certitude et du paradoxe questionne donc sur ce que l'on veut faire dire aux éléments contenus dans les matrices. C'est le but des scénarios et de la démarche prospective que de faire dire quelque chose aux observations faites dans le passé et dans la réalité (Chapitre 1.4). Mais, pour que cette démarche réponde réellement à son rôle de test, on peut très bien imaginer, plutôt que de confier le futur aux seules observations du passé, paramétrer presque complètement une matrice de transition pour y voir apparaître non pas les probabilités de passage d'une catégorie d'occupation vers une autre telles qu'elles ont été mesurées, mais telles qu'elles correspondent aux scénarios testés.

2.1. Simulation de la dynamique urbaine

Les probabilités contenues dans les matrices de transition ont en effet une réelle signification, tout à fait intéressante dans le cadre d'études et de simulations liées aux dynamiques urbaines et à l'évolution de la ville en général. **Constater, par exemple, qu'une cellule « échangeur autoroutier » a une probabilité nulle de changer de catégorie est une chose. Mais déclarer que dorénavant la probabilité qu'un champ cultivé ne devienne une maison individuelle est nulle aussi, revient alors à tester une idée dans le cadre d'un scénario prospectif, celle qu'il est interdit de construire une maison individuelle dans un champ ou que ceci ne devrait plus se faire.** Aux observations du passé s'ajoutent alors des modifications d'ordre politique, qui orientent réellement le modèle vers des tests de scénarios. Mais, avant de construire ces matrices prospectives, il faut bien être conscient de deux hypothèses liées à l'utilisation des chaînes de Markov (Collins, 1975) : l'hypothèse de premier ordre, et l'hypothèse de stationnarité.

2.1.1. Les hypothèses de premier ordre et du comportement unique

Théoriquement, les probabilités des matrices de transition peuvent être considérées à travers toute la dimension temporelle T du système spatial, en non seulement entre les états deux à deux. On peut alors utiliser plusieurs états pour déterminer les pourcentages correspondant à chaque catégorie d'occupation du sol, et ceci même dans le futur, ce qui nous intéresse particulièrement dans un cadre prospectif. Déterminer une probabilité de transition consiste alors à déterminer la probabilité qu'une cellule corresponde à une occupation du sol l au temps t , sachant qu'elle correspondait à une occupation du sol k_1 au temps $t-1$, k_2 au temps $t-2$, et plus généralement k_n au temps $t-n$. Pour tenir compte de l'historique des cellules, il faudrait donc écrire :

$$P(N_{i,l}(t) | N_{i,k_1}(t-1), N_{i,k_2}(t-2), \dots, N_{i,k_n}(t-n))$$

Ceci complique un peu les choses puisqu'il est alors nécessaire que l'on intègre l'historique des cellules (par l'intermédiaire de tous les états connus) dans le calcul des probabilités, ce qui tendrait à nous rapprocher d'autres méthodes permettant de définir les transitions, la méthode des trajectoires par exemple, que nous évoquions dans l'introduction. Mais en fait, dans notre cas, il n'est pas réellement nécessaire de tenir compte de l'historique des cellules. Pour nous en convaincre, revenons aux tableaux précédents : ils montrent que chacune des catégories d'occupation du sol est liée en ligne (donc dans le temps), dans le sens où, pour chacune, les valeurs à t_0 , t_1 et t_2 sont de grandeurs comparables. Ils montrent aussi qu'il existe une progression temporelle dans les valeurs et que chacune d'entre elles peut être déduite de sa précédente, sans forcément tenir compte de sa ou de ses sur-précédentes. Une simple soustraction montre bien que les valeurs au temps t sont systématiquement plus proches⁹ des valeurs à $t-1$ que des valeurs à $t-n$ (où $1 < n < \infty$) ou même que la moyenne des valeurs sur la période précédant t : Tableau 2.2.06.

Ecart et ressemblances												TABLEAU 2.2.06	
Entre les états deux à deux (1955, 1975 et 1995)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
E(1)	42186	34595	2061	2333	2575	113	294	154	953	3638	1093	0	5
E(2)	38311	35174	3758	2759	2948	220	306	215	1175	3958	1125	46	5
E(3)	33195	37389	3677	4104	3451	260	543	304	1744	3990	1194	146	3
E(3) - E(2)	-5116	2215	-81	1345	503	40	237	89	569	32	69	100	-2
E(3) - E(1)	-8991	2794	1616	1771	876	147	249	150	791	352	101	146	-2
Auteur : JP. Antoni (2001)													

Le meilleur point de départ pour approcher les valeurs au temps t semble donc bien être les valeurs à $t-1$ et non à $t-n$ (où $1 < n < \infty$). Il est alors peu contraignant d'accepter l'hypothèse de Markov du premier ordre, à savoir qu'un état dépend uniquement de l'état qui le précède, ce qui permet de ne pas prendre en compte l'histoire complète du processus. L'ensemble du passé de l'époque t est en fait résumé par l'époque $t-1$. L'hypothèse revient donc à dire que le futur de la ville de Belfort ne se construit pas à partir des configurations de 1955 ou de 1975, mais bien à partir de la ville actuelle (1995), ce qui, somme toute, est assez logique dans notre cas. Ainsi, connaissant la modalité prise par la variable aux périodes $t-1$ et $t-2$, nous cherchons à calculer la probabilité qu'elle prenne chacune des m modalités possibles au temps t . Compte tenu de l'hypothèse de premier ordre, l'ensemble du passé de l'époque t est résumé par l'époque $t-1$. Nous pouvons donc écrire :

⁹ Sauf dans le cas particulier de la catégorie 13, pour laquelle toutes les valeurs sont identiques.

$$\begin{aligned} P(N_{i,l}(t) \mid N_{i,k1}(t-1), N_{i,k2}(t-2), \dots, N_{i,kn}(t-n)) &= P(N_{i,l}(t) \mid N_{i,k1}(t-1)) \\ &= p_{k,l}(t) \end{aligned}$$

Cette réflexion induit qu'il existe une fonction de transition permettant de lier les états deux à deux. Cette fonction permet le passage d'un état vers un état postérieur, ce qui peut également s'écrire :

$$E(t+1) = f(E(t))$$

ou plus précisément dans notre cas :

$$N_k(t+1) = f N_k(t), k= 1, \dots, 13$$

Ainsi si la fonction f permet d'effectuer la transition vers un état futur, elle permet, à partir de l'état $E(2)$ connu correspondant à la date 1995, de définir un état futur inconnu $E(3)$ et avec lui les valeurs de chacune des catégories d'occupation du sol. **Cette fonction de transition permet alors de calculer la taille de la ville dans l'avenir (en nombre de cellules), et de préciser la composition particulière des treize catégories d'occupation du sol (en nombre de cellules toujours).** $E(2)$ étant connu et étant le seul état hypothétiquement impliqué dans la définition de $E(3)$, le problème consiste à définir la fonction de transition f . Or, contrairement aux états, cette fonction n'est pas « sans mémoire », c'est-à-dire qu'elle ne tient pas forcément compte de la dernière période étudiée uniquement (1975-1995) : elle peut résumer toute l'histoire du processus (1955-1995). L'hypothèse de premier ordre ne la concerne pas. Le problème qui se pose, par contre, est celui de l'homogénéisation et de la stationnarité des matrices de transition.

2.1.2. Le problème de la stationnarité

L'observation des transitions se fait par états deux à deux, c'est-à-dire par périodes $(t, t+1)$. De ce fait, les matrices de transition sont dépendantes du temps t . Ainsi, **dans notre cas, nous générons deux matrices de transition, la première reflétant les probabilités d'évolution sur la période 1955-1975 et la seconde sur la période 1975-1995.** Laquelle de ces

deux matrices est-il préférable d'utiliser pour prévoir la période 1995-2015 ? Faut-il se baser sur la première ou sur la deuxième période ? Dans les deux cas, nous perdons une information historique importante. Car, si l'on peut choisir entre plusieurs états en postulant (ou en montrant) que le passé le plus récent est plus proche du futur que le passé le plus ancien, il est plus difficile de trancher entre deux matrices de transition. Car, les états sont des images figées et statiques. Mais, les matrices de transition témoignent de processus qui, eux, peuvent évoluer plus rapidement. Ainsi, on pourrait penser que les derniers processus sont plus proches du futur que les plus anciens, mais on ferait là un pari à grand risque ... on ne peut être sûr et affirmer que l'avenir ressemblera plus au passé proche qu'au passé lointain. Aussi, pour pallier ce problème (mais ceci n'est qu'un exemple qui sera complété par d'autres exemples présentés dans la troisième partie), **on peut poser l'hypothèse d'homogénéité stationnaire de l'évolution du système spatial, ce qui revient à considérer que :**

- 1. Il est possible d'homogénéiser les deux matrices pour créer une tendance unique sur toute la période T qui tienne compte des deux périodes ;**
- 2. Cette tendance est stationnaire et peut s'appliquer quelle que soit la période $(t,t+1)$ considérée.**

Cette hypothèse nous permet de créer une matrice de transition homogène Q à partir de $Q_{(0,1)}$ et $Q_{(1,2)}$:

$$Q = \begin{pmatrix} p_{1,1} & \dots & p_{1,m} \\ \dots & & \dots \\ p_{m,1} & \dots & p_{m,m} \end{pmatrix} = Q_{(t-1;t)} , \forall t$$

L'ensemble des données des années 1955 à 1995 peut évidemment être utilisé pour construire la matrice de transitions homogène Q . Mais comment, à partir de plusieurs matrices, est-il possible d'en construire une seule ? *A priori*, aucune méthode mathématique n'apparaît pleinement satisfaisante sur ce point. Lors du Workshop « Mathématiques, Modélisation et Dynamiques urbaines » qui s'est tenu à Marrakech en juin 2002, ce problème a été présenté à un bataillon entier de mathématiciens de l'université Cadi Ayyad. Aucune solution concrète n'a été trouvée, hormis la certitude qu'il s'agissait d'un problème complexe, mais presque impossible à traiter correctement. La solution que nous proposons ici a finalement émergée d'une discussion tardive avec J.C. Mulon, chercheur à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Pour uniformiser n matrices en une seule, cette solution consiste à les multiplier les unes par les autres en les pondérant chacune par un coefficient α dont la somme est égale à 1 :

$$p = \alpha \cdot p_{t-n} \cdot \dots \cdot \alpha \cdot p_{t-1} \cdot \alpha \cdot p_t$$

où : p = probabilité de transition de k vers l

avec : $\sum \alpha = 1$

Ceci permet en fait d'affecter des poids aux probabilités de chaque matrice, et donc à chaque période, en fonction de celle que l'on estime la plus importante. A titre d'exemple, on peut considérer ici nos deux matrices correspondant aux périodes 1955-1975 et 1975-1995, en leur affectant à chacune un coefficient $\alpha = 0,5$, ce qui revient à faire la moyenne des deux époques $Q_{(0,1)}$ et $Q_{(0,2)}$. La matrice Q correspond alors à la fonction de transition (itérateur matriciel) nécessaire à l'établissement d'une chaîne de Markov. Elle permet une simulation à l'horizon 2015.

2.1.3. Construction de matrices prospectives

Par définition, le modèle de transition appuyé sur une chaîne de Markov est un modèle lié à la simulation. Rappelons qu'il s'agit ici de quantifier les dynamiques urbaines, c'est-à-dire d'avoir une idée des proportions de l'occupation du sol caractérisant l'espace urbain dans l'avenir. Parallèlement, on a vu également que cette idée ne pouvait s'obtenir que dans un cadre prospectif, ouvert à la simulation de scénarios. (cf. Chapitre 1.4). D'évidence, cela est possible par l'intermédiaire des vecteurs et des matrices de transition. Mais, **si l'on a vu que l'introduction d'un coefficient multiplicateur α permettait d'uniformiser deux ou plusieurs matrices de transition en ne seule, ce même coefficient va pouvoir être utilisé pour affiner la matrice de transition finale dans le cadre des scénarios testés.** En effet, pour chacun de ces scénarios, on peut imaginer une matrice qui en reprenne les grandes lignes, même parfois de façon très ferme. Posons par exemple, qu'un scénario stipule que l'utilisation de l'automobile individuelle régresse face à une généralisation massive des transports en commun. La conséquence logique de cet état de fait est que, si l'on ne peut affirmer qu'une partie du réseau routier ne devienne obsolète (comme les rails du tram ont pu l'être à une époque), il n'est par contre probablement plus nécessaire de construire de nouveaux tronçons. Dans la matrice dédiée au scénario, on pourra alors coder comme nulle la probabilité qu'une catégorie d'occupation du sol, quelle qu'elle soit, ne devienne une route. En allant plus loin, on pourrait également affecter une probabilité assez forte au fait que les routes redeviennent des champs, ou des espaces en friches, etc. Mais pour ne pas construire cette simulation à partir du seul scénario et pour la rendre plus réaliste ou plus proche de la réalité observée, on peut coupler d'autres matrices de transition à celle dédiée au scénario. Disons que trois matrices vont peser à part égale ($1/3 = 0,33$) dans cette construction : la matrice 1955-1975, la matrice 1975-1995 et la matrice du scénario. On affecte alors à chacune d'entre elles un coefficient $\alpha = 0,33$ pour générer une matrice unique

témoignant du fait que la simulation va s'effectuer autant à partir des transitions observées entre 1955 et 1975 que de celles observées entre 1975 et 1995, que de celles spécifiquement préparées pour le scénario à tester. Ainsi, le modèle de transition permet de mettre au point des scénarios complexes, qui incluent plusieurs jeux de données, issus de recueils et d'analyses divers.

Mais, si l'on s'est familiarisé avec l'idée que les matrices peuvent être modifiées par l'utilisateur pour correspondre à un scénario, il convient de voir que les résultats d'une simulation à partir de ces matrices peut s'interpréter de deux manières : à court et à long terme. Ces deux façons d'envisager les simulations sont toutes les deux intéressantes et apportent chacune leur lot d'indications sur le scénario testé. L'hypothèse markovienne de premier ordre et l'hypothèse d'homogénéité stationnaire permettent de dégager, à partir de l'observation du système spatial, les vecteurs et les matrices suffisant à simuler mathématiquement cette évolution dans le futur. Rappelons simplement que nous partons du dernier état connu (1995) pour simuler l'état futur (hypothèse de premier ordre), et que les probabilités de transition permettant le passage d'un état vers un autre sont fixées dans une matrice stationnaire construite à partir des transitions observées entre 1955 et 1975 et entre 1975 et 1995. A partir de l'état de 1995, exprimé sous la forme d'un vecteur, il devient possible, dans un premier temps, de calculer le vecteur correspondant à l'état 2015. Pourquoi 2015 ? Simplement parce que le pas de temps séparant chaque état est de 20 ans. Les matrices de transition montrent donc l'évolution de l'occupation du sol pour une période de 20 ans. Ainsi, connaissant le vecteur $v(t)$ correspondant au temps t et la matrice des transitions Q permettant de passer d'un état à un autre, il devient possible de calculer le vecteur qui définit l'état suivant, c'est-à-dire l'états pour $t+1$. Le calcul consiste à multiplier ce vecteur par la matrice de transition, dans les règles imposées par le calcul matriciel :

$$v(t+1) = v(t) \cdot Q$$

ou encore :

$$v(t) = v(t-1) \cdot Q$$

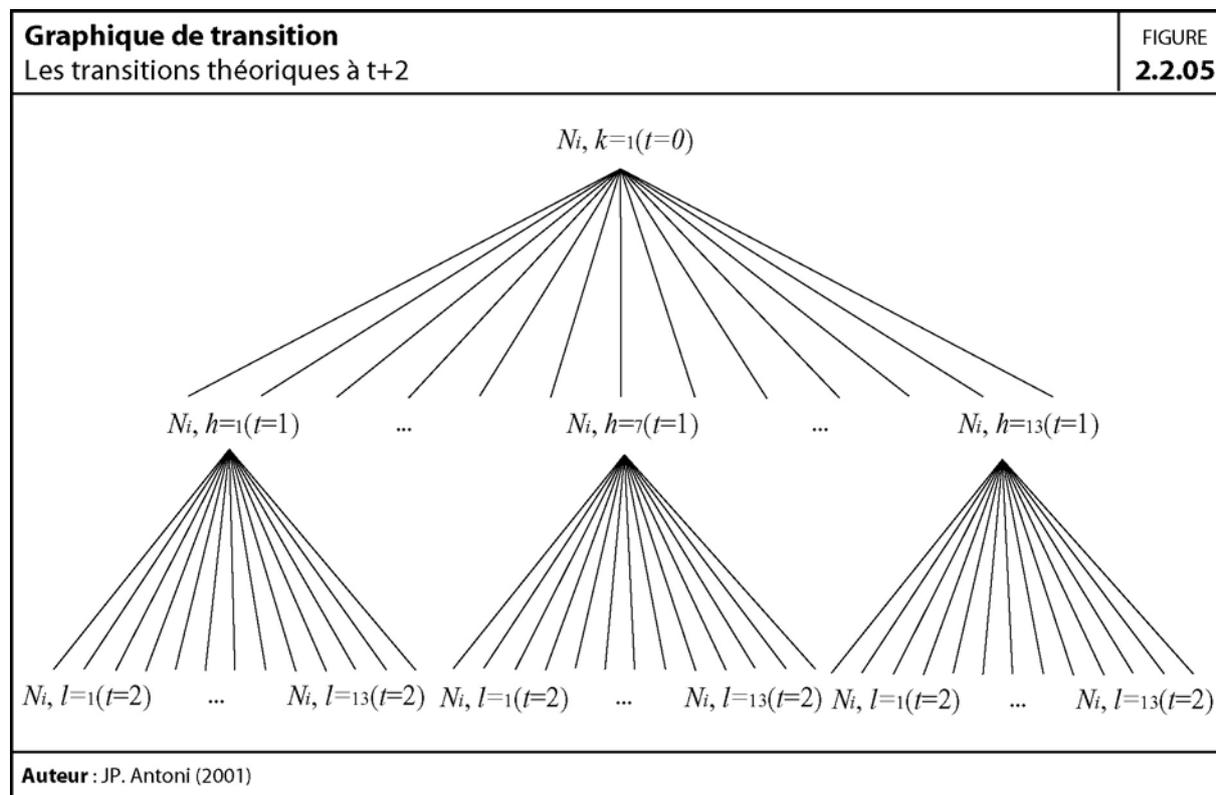
Dans notre cas, effectuons une simulation, à titre d'exemple¹⁰, à partir du vecteur $v_{(2)}$ correspondant à l'état de 1995 et de la matrice construite précédemment par homogénéisation des matrices de transitions mesurées sur les deux périodes (1955-1975 et 1975-1995). En multipliant le vecteur $v_{(2)}$ par la matrice Q , on obtient le vecteur $v_{(3)}$:

¹⁰ Cet exemple sera intégralement repris et développé sur le plan thématique dans le Chapitre 3.2. Il sera notamment complété de plusieurs graphiques.

$$\begin{aligned}
 v_{(3)} &= v_{(2)} \cdot Q \\
 &= (0.3342, 0.4256, 0.0472, 0.0508, 0.0423, 0.0035, 0.0070, 0.004, \\
 &\quad 0.0227, 0.0137, 0.0465, 0.0024, 0.00003)
 \end{aligned}$$

Ce vecteur indique la proportion de chaque catégorie d'occupation du sol sur le terrain d'étude en 2015, ce qui correspond bien aux résultats que l'on cherchait à trouver pour valider l'hypothèse h_1 .

Mais au-delà de ces simulations à court terme (qui nous amènent logiquement en 2015), il est également possible de simuler plus loin dans le temps, en 2035, ou en 2055. Enfin, on peut également utiliser ce type de simulations pour juger de l'évolution de la matrice de transition quand $t \rightarrow \infty$, c'est-à-dire à (très) long terme. En effet, on a vu qu'une chaîne de Markov permettait de passer d'une occupation du sol à une autre au temps suivant le dernier temps connu. Après une période, cette probabilité peut se lire directement sur la matrice de transition Q .



Ainsi, si nous savons qu'au temps t nous nous trouvons dans l'état k correspondant à la ligne u de la matrice, la probabilité de se trouver dans l'état l au temps $t+1$ correspondant à la

colonne v de la matrice est donnée par la probabilité d'indice (u,v) . Par contre, la probabilité de se trouver dans l'état l après deux périodes (et ceci quel que soit l'état à la période 1) est un peu plus difficile à déterminer. En effet, il existe plusieurs chemins différents menant d'une occupation k au temps $t=0$ à une occupation du sol l au temps $t=2$, ceci en fonction de l'état au temps $t=1$. La Figure 2.2.05 montre quelques uns des chemins existant parmi les n^2 , soit $13 \times 13 = 169$ possibilités. Formellement, il faut donc tenir compte de toutes ces possibilités, et l'on peut mathématiquement montrer que les probabilités de transition permettant de passer de t à $t+2$ ne sont autres que les probabilités de passer de t à $t+1$ élevées au carré :

$$\begin{aligned}
 P(N(t+2) = l \mid N(t) = k) &= P(X(t+2) = l, X(t+1) = h \mid X(t) = k) \\
 &= P(X(t+1) = h \mid X(t) = k) \cdot P(X(t+2) = l \mid X(t+1) = h) \\
 &= \sum_{h=1}^m p_{k,h} \cdot p_{h,l} \\
 &= (p_{k,l})^2
 \end{aligned}$$

avec : $X(t)$ = valeur d'occupation du sol au temps t
 $(p_{k,l})$ = matrice d'éléments $p_{k,l}$

et que les probabilités de transition permettant de passer de t à $t+3$ sont celles qui permettent de passer de t à $t+1$ élevées au cube :

$$\begin{aligned}
 P(N(t+3) = l \mid N(t) = k) &= \sum_{s=1}^m P(X(t+2) = s \mid X(t) = k) \cdot P(X(t+3) = l \mid X(t+2) = s) \\
 &= (p_{k,s}) \cdot (p_{s,l}) \\
 &= (p_{k,l})^2 \cdot (p_{k,l}) \\
 &= (p_{k,l})^3
 \end{aligned}$$

Car $(p_{s,l}) = (p_{k,l})$, du fait de l'hypothèse de stationnarité. De façon générale, nous obtenons finalement l'équation de *Chapman-Kolmogorov* :

$$\begin{aligned}
 P(X(t+m+n) = l \mid N(t) = k) &= \sum_{k=s}^m P(X(t+m) = s \mid X(t) = k) \cdot P(X(t+m+n) = l \mid N(t) = s) \\
 &= (p_{k,s})^m \cdot (p_{s,l})^n \\
 &= (p_{k,l})^{m+n}
 \end{aligned}$$

Au niveau des matrices de transition, l'équation de *Chapman-Kolmogorov* implique donc que :

$$Q(t+n) = Q(t)^n, \forall t$$

L'une des propriétés des matrices de transition, et par conséquent des chaînes de Markov, élevées à une puissance très grande, est que ses valeurs convergent en colonnes : au bout d'un moment, les valeurs de probabilités sont donc les mêmes sur chaque ligne de la colonne, ce qui signifie que quelle que soit la catégorie d'occupation du sol de départ, sa probabilité de transition vers telle ou telle autre catégorie est identique. Il est alors intéressant d'étudier cette structure convergente des matrices de transition, qui témoigne d'une tendance générale à long terme. Pour ce faire, nous proposons ici d'étudier les matrices à partir de la puissance suffisante pour que l'ensemble de leurs valeurs ne varie que de 0,0001 par rapport à la puissance précédente¹¹. Pour la matrice homogène Q utilisée ici, la puissance adéquate est 325. Ainsi, pour Q^{325} , les probabilités d'arriver dans une catégorie d'occupation du sol l sont les mêmes quelle que soit la catégorie k de départ. La matrice peut alors se résumer par un vecteur¹² :

$$v_q = (0.17, 0.40, 0.07, 0.05, 0.08, 0.01, 0.01, 0.01, 0.05, 0.08, 0.02, 0.06, 0.00)$$

Ce vecteur, dans lequel l'espace libre ne représente plus que 17% et les forêts 40% de l'espace total, témoigne de la tendance générale de la matrice Q . Les surfaces bâties augmentent par contre considérablement puisque, cumulées, cette matrice les évalue à 21% de l'espace total, alors qu'elles ne représentaient que 6% en 1955, et 10% en 1995. On saisit donc bien ici la tendance insufflée par une considération à valeur égale ($\alpha = 0,5$) des matrices mesurées sur les deux périodes : une augmentation considérable des zones bâties au détriment des espaces cultivés en champs, avec un maintien à l'identique des espaces de bois et de forêts.

¹¹ Ce calcul a été effectué avec Matlab 12. La fonction utilisée a été écrite par G. Vuidel.

¹² En fait, l'application de l'équation de Chapman-Kolmogorov pour la simulation à long terme n'est possible que si l'on utilise des matrices de transition régulières, c'est-à-dire qui ne contiennent pas de valeurs nulles. Or, dans notre cas, certaines probabilités sont nulles. Afin de pouvoir tout de même réaliser les simulation, deux opérations sont possibles : 1. remplacer les valeurs nulles par des valeurs très faibles ; 2. supprimer les lignes et les colonnes contenant des valeurs nulles (ce qui suppose une re-ventilation des valeurs qu'elles contiennent dont les modalités peuvent être complexes à définir). Dans notre cas, nous avons utilisé la première solution.

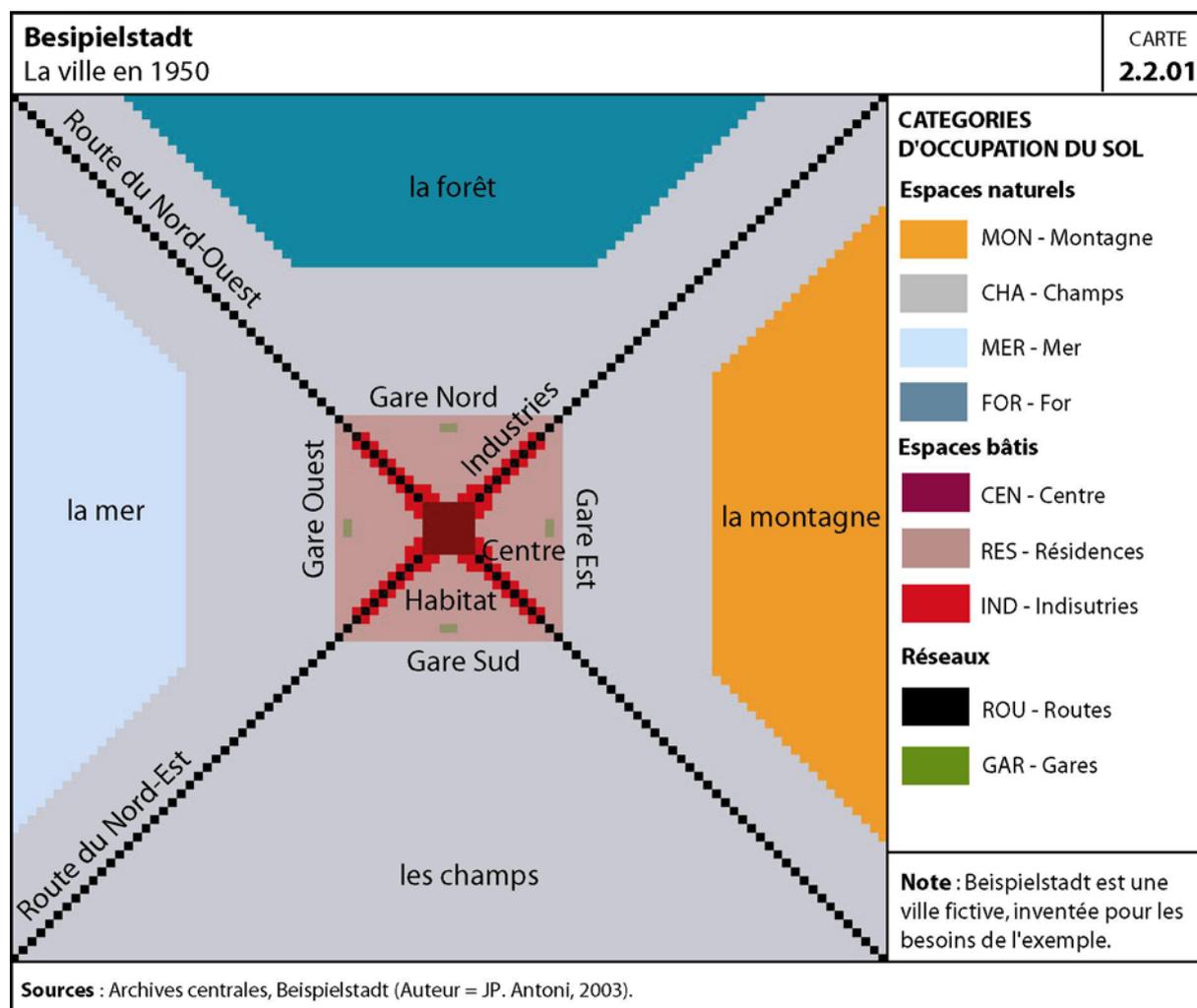
2.2. Transitions : l'exemple de Beispielstadt

Pour bien comprendre les implications ou les complications que peut néanmoins engendrer le modèle de transition, il est important de prendre un exemple simple, à travers lequel on soulignera les différents points qui peuvent poser un problème d'interprétations, et qui apparaissent ainsi comme des limites du modèle, auxquelles il convient de prendre garde. On prendra alors l'exemple de la ville théorique de Beispielstadt, pour voir que certains cas particuliers d'urbanisation, concernant notamment les équipements lourds, de type gare ou aéroport, peuvent influencer et fausser fortement les matrices de transition. Autant de points dont il s'agit ensuite de tenir compte, lors d'une simulation portant un véritable projet politique, par exemple.

2.2.1. Beispielstadt : historique rapide

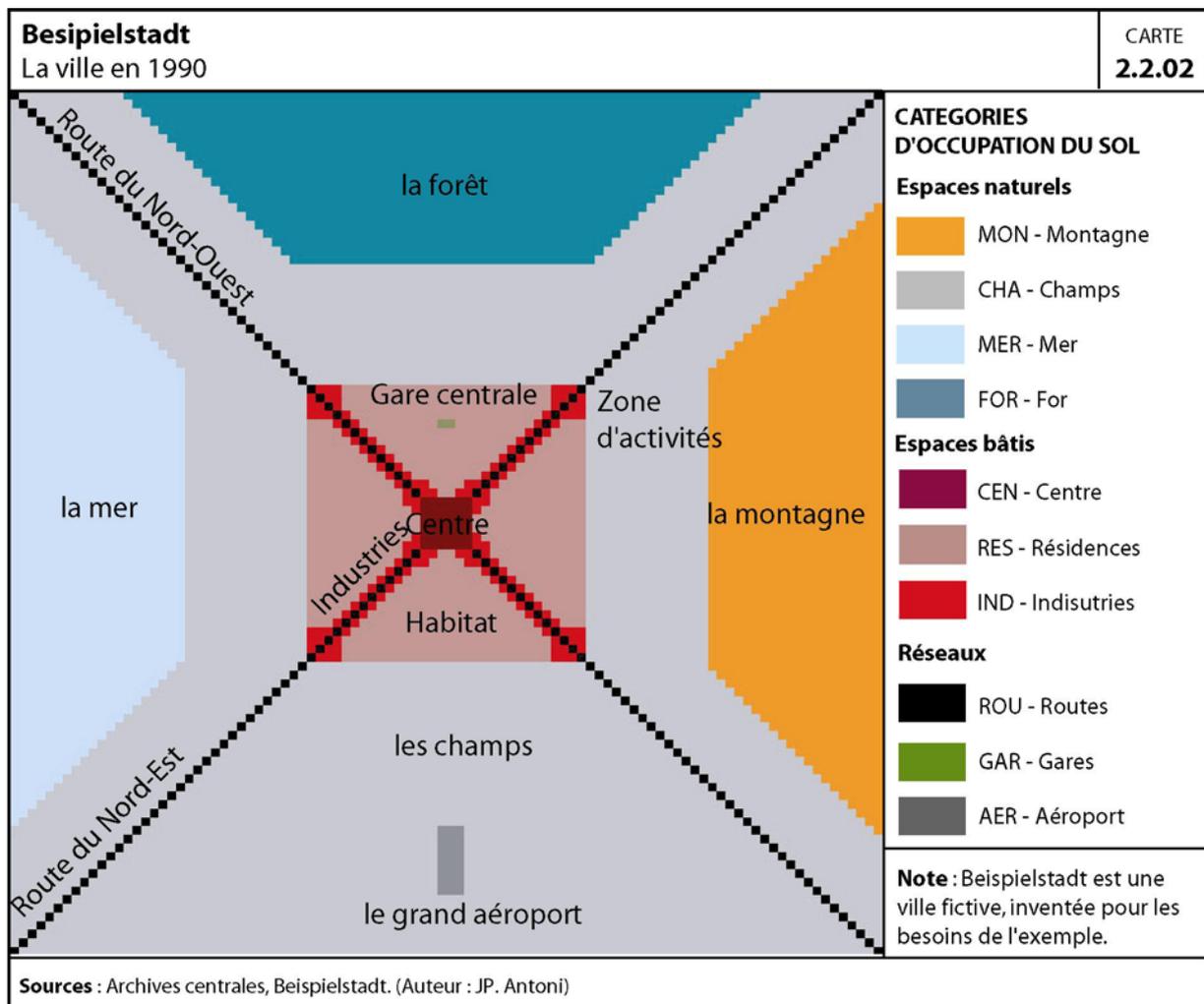
Pour expliquer les diverses implications du modèle de transition, construisons une ville théorique ; baptisons la Beispielstadt. Prenons garde également à disposer de deux images comparables de la ville à des dates différentes, afin de construire des matrices de transition, pour bien comprendre comment certains traits de l'évolution urbaine y sont représentés, et dans quelle mesure ils peuvent justement être considérés comme un modèle correct de cette évolution. Mais, cette évolution n'est finalement rien d'autre que l'histoire de la ville, avec laquelle il est important de se familiariser.

La ville de Beispielstadt se situe dans le Sud de la Slovénie, sur le bassin méditerranéen. C'est une ancienne colonie allemande, qui garde aujourd'hui encore un contact culturel fort avec l'Allemagne, mais qui a acquis son autonomie politique au cours des années 1930, dans un contexte assez trouble. Elle est donc aujourd'hui reconnue comme une ville libre, enclavée entre les Alpes italiennes, la mer Méditerranée, et les terres de l'ex-Yougoslavie, ce qui lui offre un site sans comparaison : Beispielstadt est construite selon une géométrie sans faille, qui prend pied sur un carré et ses diagonales. La ville originelle (qui correspond aujourd'hui au centre historique) prend forme sur le croisement de deux routes, autour duquel elle se développe selon une forme carrée. A proximité des deux routes s'installent les industries et les zones d'activités ; ailleurs, l'habitat est résidentiel. Dans les années 1950, quatre gares permettent à la ville de relier les quatre coins de l'Europe, et desservent ses quatre quartiers : Nord, Est, Sud et Ouest (Carte 2.2.01). Dans les années 1990, la configuration spatiale de la ville reste à peu près identique, mais la ville s'est agrandie, et accueille plus d'habitants.



C'est aux périphéries de l'ancien espace occupé par le bâti résidentiel que ces nouveaux habitants se sont installés, profitant de la croissance industrielle qu'a connue la ville durant la même période. L'industrie et les zones d'activités induites ont d'ailleurs elles aussi continué de s'installer comme précédemment, le long de routes. Mais, elles se sont vite rendues compte qu'il n'était pas toujours nécessaire de privilégier un accès rapide au centre, et que dans le cas où des camions viennent les livrer, il leur est préférable de s'installer aux limites de la ville, afin d'éviter tout trafic urbain gênant et pas forcément nécessaire. Ainsi, des zones d'activités se créent le long des routes, aux quatre extrémités de la ville. Parallèlement, les moyens de transports disponibles et utilisés par les habitants ont considérablement évolués. D'une part, la voiture individuelle s'est généralisée à toute la population, rendant obsolète une partie de l'ancien chemin de fer, ce qui a conduit à la fermeture de trois de quatre gares (seule la Gare du Nord subsiste). D'autre part, l'augmentation considérable de la demande de voyages à destination lointaine a nécessité l'investissement lourd d'un aéroport, qui permet aujourd'hui de relier Bespielstadt avec les principales capitales européennes et mondiales (Carte 2.2.02).

Au total sur les deux dates, on visualise donc 10 occupations du sol composant la ville de Beispielstadt et sa périphérie proche : 1. le centre historique (CEN) ; 2. le bâti résidentiel (RES) ; 3. les zones d'activités et industrielles (IND) ; 3. les gares (GAR) ; 4. l'aéroport (AER) ; 5. les routes (ROU) ; 6. les champs (CHA) ; 7. les montagnes (MON) ; 8. la forêt (FOR) ; 9. la mer (MER). Pour chacune des deux configurations spatiales correspondant à la ville en 1950, puis en 1990, on peut alors calculer les vecteurs de l'occupation du sol, qui donne en pourcentage la proportion de chacune (Tableau 2.2.07).



2.2.2. Le problème des gares et de l'aéroport

Ces deux vecteurs montrent que la majorité des catégories d'occupation du sol n'ont pas évolué. Les principaux espaces naturels, par exemple, restent identiques (FOR, MER, MON), tout comme le réseau routier (ROU) et le centre historique (CEN). Les champs par contre, on légèrement diminués, passant d'une occupation du sol de 59,56% à 55,96%. On voit sur les

deux cartes, en effet, que ce sont les champs qui ont principalement accueilli la nouvelle urbanisation, c'est-à-dire le bâti résidentiel (RES) et les nouvelles industries et zones d'activités (IND), ainsi que le nouvelle aéroport (AER). Pour mieux visualiser ces modifications, on peut alors construire les matrices de contingence qui permettront de calculer les matrices de transition indiquant en termes de probabilités, les chances pour chaque cellule d'une catégorie d'occupation donnée au temps t , de passer dans une autre catégorie au temps $t+1$ (Tableau 2.2.08). C'est là que les choses se compliquent...

L'exemple de Beispielstadt										TABLEAU
Proportion de l'occupation du sol en 1990										2.2.07
	CHA	ROU	CEN	IND	RES	GAR	FOR	MER	MON	AER
Proportion de l'occupation du sol en 1990 (%)	52.58	1.88	0.36	2.14	10.37	0.01	10.80	10.60	10.80	0.47
Variation en nombre de cellules (1950 - 1990)	0	0	0	+ 69	+ 247	- 2	0	0	0	+ 22

Auteur : JP. Antoni (2003), logiciel CamDeus (développement G. Vuidel)

Matrice de transition 1950 - 1990										TABLEAU
L'exemple de Beispielstadt										2.2.08
	CHA	ROU	CEN	IND	RES	GAR	FOR	MER	MON	AER
CHA	93.96			0.81	4.84					0.40
ROU		100.00								
CEN			100.00							
IND				100.00						
RES				3.13	96.88					
GAR					75.00	25.00				
FOR							100.00			
MER								100.00		
MON									100.00	
AER										100.00

Avec :
 CHA : Champs ; ROU : Routes ; CEN : Centre-ville ;
 IND : Industries ; RES : Bâti résidentiel ; GAR : Gares ;
 FOR : Forêts ; MER : Mer ; MON : Montagnes ; AER : Aéroport

Auteur : JP. Antoni (2003)

Les chiffres indiqués en gras dans la diagonale de la matrice sont les probabilités qu'une cellule positionnée dans une catégorie d'occupation du sol n'évolue pas, et reste dans cette catégorie. Pour la majorité, et particulièrement pour celles que nous citons plus haut pour leur stabilité, les valeurs sont égales à 100. Une cellule du centre historique, par exemple, a donc 100% de chance de rester une cellule de centre historique. Mais, comme nous l'avons déjà signalé, une probabilité de 100% de chance n'est plus une probabilité mais une certitude. A la lecture de cette matrice de transition, nous avons donc la certitude que le centre ville, comme la forêt ou la montagne, resteront des catégories identiques à elle même, dans le sens

où elles ne diminueront pas en superficie. Pourquoi ? Tout simplement parce que sur la période étudiée, à partir de laquelle la matrice de transition est calculée, ces transitions n'ont pas été observées. Ce problème ayant déjà été évoqué précédemment, nous le signalons simplement au passage. On peut mettre l'accent ici sur un autre point problématique, qui demande à ce que l'on porte une attention particulière à certaines valeurs de probabilité, notamment, dans le cas de Beispielstadt, à celles qui concernent les gares et les aéroports.

Le cas de la gare est en effet très particulier. Entre 1950 et 1990, à Beispielstadt, compte tenu des modifications du système général des transports, notamment de la généralisation de l'automobile individuelle, trois gares sur quatre ont été supprimées. Ces gares ont subi des opérations de reconversion qui ont permis de les réhabiliter en logements d'habitation pour répondre à une demande importante. Alors qu'elles représentaient 0,08% de l'occupation du sol en 1950, elles en représentent quatre fois moins en 1990, soit 0,02%. La matrice de transition a parfaitement bien enregistré ces péripéties de l'histoire : elle indique qu'une gare a dorénavant 75% de chance de se transformer en bâti résidentiel. Ceci n'est évidemment pas sans poser de problème quand on sait qu'aujourd'hui il ne reste plus qu'une seule gare à Beispielstadt. Si l'on utilise alors cette matrice pour calculer le prochain état comme dans une chaîne de Markov, on condamne cette unique gare à une réduction à 0,01% de l'occupation du sol à la prochaine itération, et on la supprime complètement à celle d'après. La matrice de transition a donc inéluctablement inscrit la suppression programmée de l'ensemble des gares, pour la simple raison que celles-ci ont effectivement fortement diminué à un moment particulier de l'histoire, qui faisait écho à un contexte particulier pour le système de transports. Ceci pose d'autant plus de problèmes que, comparées aux autres catégories d'occupation du sol, les gares sont des objets de petite surface : en 1995, la gare ne représente que deux cellules. Théoriquement, à l'itération suivante, elle ne devrait donc plus en représenter que 0,5, ce qui a été arrondi à 1 (0,01%), et à 0,125 à l'itération suivante, ce qui a été arrondi à 0 (0,00%). En plus de l'inéluctable disparition des objets, la matrice des transitions remet donc en cause le principe du carroyage, en stipulant, par les probabilités qu'elle contient, qu'un objet peut ne plus être que la moitié ou le quart de lui-même, même si cela n'a plus aucune forme de correspondance avec l'espace cellulaire à partir duquel l'ensemble a été calculé.

Un problème similaire, mais inverse, se pose avec les aéroports de Beispielstadt. On a vu en effet qu'entre 1950 et 1990, un aéroport a été construit sur les champs, ce qui représente 0,24% de l'occupation du sol en 1990. Cette évolution est également inscrite dans la matrice de transition et condamne les aéroports à augmenter dans le futur. La probabilité que des champs se transforment en aéroport est en effet de 0,40%, ce qui fait qu'à la prochaine itération, l'aéroport (ou les aéroports) représentera 0,48% de l'occupation du sol, 0,68% à la seconde itération, 0,88% à la troisième, etc. En continuant à utiliser l'équation de Chapman-Kolmogorov qui nous permet de simuler dans le long terme, on peut alors prévoir qu'après

la centième itération¹³, la surface occupée par les aéroports devrait représenter 3,96% de l'occupation du sol, soit presque autant que la superficie du bâti résidentiel en 1950, qui était de 5,12%, soit l'équivalent de près de 17 aéroports. Le problème est donc ici identique au précédent : la modification historique et plus ou moins brutale d'un élément de l'occupation du sol, comme cela a pu être le cas à Beispielstadt, est définitivement inscrite dans les matrices de transition, et sera reproduite en tant que tel à chaque itération, même si cela conduit à terme à des scénarios improbables et particulièrement irréalistes. Il apparaît donc important ici de modifier ces matrices de transition, de manière à limiter ce type de problèmes. Mais, on peut également les modifier pour que leurs valeurs expriment un réel scénario politique.

2.2.3. Vers un scénario politique

Utilisées comme telles, c'est-à-dire sans aucune modification, les probabilités de transition relevées entre 1950 et 1990, et reproduites à partir de l'état de 1990, auraient tendance à produire le vecteur présenté dans le Tableau 2.2.07, ce qui correspond à une augmentation significative (dans certains cas) du nombre de cellules dans chaque catégorie d'occupation du sol (Tableau 2.2.07). Au total, ce sont donc 22 cellules d'aéroport, 69 cellules d'industrie et 247 cellules de bâti résidentiel qui seront créées, alors que dans le même temps, 2 cellules de gare devraient disparaître. Mais, d'une part, on sait qu'il est très peu probable que les choses se passent entre 1990 et 2030 comme elles se sont passées entre 1950 et 1990. D'autre part, étant donné que ces transitions se sont passées, elles ont une certaine validité historique dont il faut tenir compte. Enfin, l'état vers lequel mènent ces probabilités ne correspond pas forcément au futur que l'on souhaiterait pour la ville de Beispielstadt, et il est d'ores et déjà possible aujourd'hui de prendre les mesures nécessaires pour que le scénario qui a eu lieu entre 1950 et 1990, ne se reproduise pas dans le futur, avec les conséquences que l'on sait, puisqu'il est possible de les visualiser sous la forme d'un vecteur indiquant la future occupation du sol.

Ceci veut bien dire qu'il existe au moins trois manières de paramétrer une matrice de transition pour qu'elle corresponde réellement à un scénario prospectif porteur d'enseignements à propos de ce que le futur peut être. Dans un premier temps, on peut utiliser de façon brute la matrice de transition issue de l'observation des évolutions passées (Tableau 2.2.09a). Mais, on a vu plus haut que cette matrice comporte des erreurs et des aberrations, notamment en ce qui concerne les équipements de transport lourds comme les

¹³ On peut noter qu'après cette centième itération, la matrice de transition, qui a donc été élevée à la puissance 100 comme d'après l'équation de Chapman-Kolmogorov, est stabilisée, c'est-à-dire qu'elle n'évolue plus dans des itérations ultérieures. C'est bien là l'une des propriétés de chaînes de Markov, qui permette de voir dans cette centième itération, le stade ultime qui peut être atteint à partir d'une matrice de transition.

gares et les aéroports. Dans un deuxième temps, on peut donc corriger ces erreurs en fonction de ce que l'on pense savoir du futur. On partira par exemple du principe que les gares ne diminueront pas, c'est-à-dire qu'il restera toujours au moins une gare (composée de deux cellules) à Beispielstadt, et que l'aéroport à atteint dès sa construction une taille suffisante pour fonctionner correctement sans qu'il soit nécessaire de prévoir des extensions, voire la construction d'un deuxième aéroport. On peut ainsi modifier plusieurs valeurs de la matrice, en remplaçant les probabilités passées par la valeur 0, ce qui contribue à annuler toute possibilité de transition d'une catégorie d'occupation du sol donnée vers une autre. En l'occurrence, on inscrit donc 0 dans les cases marquant la transition des gares vers le bâti résidentiel, et des champs vers l'aéroport. Mais, la somme des lignes d'une matrice d'une transition étant toujours égale à 1, il est nécessaire de reporter cette valeur remplacée par 0.

En l'occurrence, il est judicieux de l'ajouter à la probabilité de la catégorie de rester elle-même. Ainsi, dans notre exemple, si l'on retranche 0,40 à la probabilité qu'un champ ne devienne une gare, il est nécessaire de rajouter 0,40 à la probabilité qu'un champ reste un champ (soit une nouvelle probabilité de 94,36) de manière à ce que la somme des probabilités de la catégorie champs reste égale à 1. On obtient ainsi une nouvelle matrice, corrigée selon la volonté de l'utilisateur, mais qui correspond globalement toujours à une répétition des processus passés dans le futur (Tableau 2.2.09b). Or, ces processus ne seront probablement pas reconduits à l'identique, mais feront l'objet de modifications notables que l'on peut partiellement prévoir et simuler. C'est ici qu'intervient réellement une volonté politique, qui donne un avis sur la validité des probabilités de transition inscrite dans les matrices. Cette opération consiste en fait à créer une nouvelle matrice de toute pièce dans laquelle vont s'inscrire les probabilités souhaitées dans le cadre du scénario que l'on veut tester.

Pour l'exemple, imaginons un scénario rapide qui, s'il n'a aucune validité thématique, permettra au moins de montrer comment une telle matrice peut être construite. Imaginons par exemple, que la municipalité de Beispielstadt, inquiète de voir la ville se diluer dans un tapis de maisons individuelles installées toujours plus loin du centre, sensibilise la population à des opérations de densification dans les zones proches du centre ville. Accompagnée par une opération architecturale d'ampleur, cette opération devrait avoir pour conséquence d'agrandir le centre ville dense, plutôt que les périphéries peu denses. Pour simuler un tel scénario, on peut créer une probabilité (jusqu'ici nulle, donc inexistante) que les maisons individuelles se densifient pour devenir des cellules de type centre historique. Mais, quelle valeur de probabilité convient-il d'affecter à ces transitions ?

On peut *a priori* se baser sur les observations passées pour trouver un ordre de grandeur plus ou moins réaliste. La matrice originelle montre qu'une transition du même type, en l'occurrence du bâti résidentiel (RES) vers l'industrie et les zones d'activité (IND), a atteint une

Construction d'une matrice prospective L'exemple de Beispielstadt											TABLEAU 2.2.09	
a. Observation des transitions passées (période 1950-1990)	1950	1990										
			CHA	ROU	CEN	IND	RES	GAR	FOR	MER	MON	AER
		CHA	93.96			0.81	4.84					0.40
		ROU		100.00								
		CEN			100.00							
		IND				100.00						
		RES				3.13	96.88					
		GAR					75.00	25.00				
		FOR							100.00			
		MER								100.00		
		MON									100.00	
		AER										100.00
Avec : CHA : Champs ; ROU : Routes ; CEN : Centre-ville ; IND : Industries ; RES : Bâti résidentiel ; GAR : Gares ; FOR : Forêts ; MER : Mer ; MON : Montagnes ; AER : Aéroport												
b. Corrections des abérations et des improbabilités présumées	Etat de départ	Etat d'arrivée										
			CHA	ROU	CEN	IND	RES	GAR	FOR	MER	MON	AER
		CHA	94.36			0.81	4.84					0.00
		ROU		100.00								
		CEN			100.00							
		IND				100.00						
		RES					96.88					
		GAR						100.00				
		FOR							100.00			
		MER								100.00		
		MON									100.00	
		AER										100.00
Avec : CHA : Champs ; ROU : Routes ; CEN : Centre-ville ; IND : Industries ; RES : Bâti résidentiel ; GAR : Gares ; FOR : Forêts ; MER : Mer ; MON : Montagnes ; AER : Aéroport												
c. Construction de nouvelles probabilités liées à une vision politique du futur	Etat de départ	Etat d'arrivée										
			CHA	ROU	CEN	IND	RES	GAR	FOR	MER	MON	AER
		CHA	100.00									
		ROU		100.00								
		CEN			100.00							
		IND				2.00	98.00	2.00				
		RES				5.00	95.00					
		GAR						100.00				
		FOR							100.00			
		MER								100.00		
		MON									100.00	
		AER										100.00
Avec : CHA : Champs ; ROU : Routes ; CEN : Centre-ville ; IND : Industries ; RES : Bâti résidentiel ; GAR : Gares ; FOR : Forêts ; MER : Mer ; MON : Montagnes ; AER : Aéroport												
Auteur : JP. Antoni (2003)												

probabilité de 3,13 sur la période 1950-1990 (Tableau 2.2.09a). On peut estimer que la nouvelle transition sera un peu supérieure à celle-ci et poser 5,0 comme valeur pour la transition. Il reste donc 95% de chance au bâti résidentiel standard (RES) de rester bâti résidentiel standard.

Mais, au delà de la valeur de la probabilité, c'est surtout le nombre de cellules de la catégorie CEN qui sera créé sur lequel il convient de se concentrer. Ce nombre ne dépend pas

uniquement de la probabilité, mais aussi de l'effectif auquel cette probabilité s'applique : une probabilité de 0,5 appliquée sur 1 000 cellules produira 50 cellules alors qu'appliquée sur 100 cellules elle n'en produira que 5... ce qui n'a pas le même sens sur le plan de l'évolution de la ville. Aussi, et dans la mesure du possible, il est important de confronter la valeur de la probabilité au nombre de cellules qu'elle produit *in fine*, de manière à juger la cohérence de l'ensemble, et à valider effectivement la probabilité retenue. Mais parallèlement à cette modification du bâti résidentiel, le scénario indique que l'industrie peut également subir quelques opérations de reconversion, notamment en ce qui concerne les bâtiments anciens et obsolètes les plus proches du centre. Ils peuvent alors servir de base à la construction de nouveaux logements, qui, en fonction de leur densité et de leur valeur architecturale seront considérés comme appartenant au centre historique ou au bâti résidentiel plus standard. Cette idée nous conduit à créer deux transitions supplémentaires : de la catégorie IND vers la catégorie CEN et vers la catégorie RES. Comme précédemment, on se basera sur les valeurs observées dans le passé pour affecter la valeur 2 à chacune de ces transitions, ce qui laisse 96% de chance au bâti industriel et d'activité de rester dans sa catégorie. Il est cependant nécessaire de vérifier la cohérence du nouveau nombre de cellules ainsi obtenu. Ces différentes idées et les paramètres qui en découlent permettent de construire une troisième et dernière matrice, parfaitement liée au scénario testé (Tableau 2.2.09c).

Au total, ce sont donc trois matrices qui nous intéressent ici pour la simulation du scénario (matrices a, b et c du Tableau 2.2.10). Parmi celles-ci, les matrices a et b sont similaires dans le cadre de la simulation d'un scénario, dans la mesure où b a été construite par correction des aberrations et des improbabilités relevées dans a. Seules les matrices b et c doivent donc être considérées dans la simulation. Mais, leur prise en compte simultanée nécessite leur homogénéisation en une matrice de transition unique. On a vu que cette homogénéisation était rendue possible grâce au coefficient α qui permettait de déterminer dans quelle proportion chacune des matrices originelles devait intervenir pour créer la matrice finale. Ici, de manière à rendre l'exemple le plus simple possible, on peut poser que α est le même pour chaque matrice, c'est-à-dire qu'il est égal à 0,5. En appliquant ce coefficient, on obtient la matrice de transition finale. Elle indique la proportion de chaque catégorie d'occupation du sol sur l'espace total (c'est-à-dire le vecteur de l'occupation du sol) à la prochaine itération, duquel on déduit le nombre de cellules à créer dans chacune d'entre elles. Ce dernier tableau permet alors effectivement de quantifier les dynamiques urbaines, et d'achever la première étape de la modélisation : les changements sont quantifiés ; on sait combien de cellules évolueront.



Malgré une démonstration mathématique assez complexe qui peut décourager celui qui voudrait approfondir la méthode, les chaînes de Markov apparaissent concrètement comme une méthode simple pour paramétrer et simuler une certaine quantité de cellules qui changeront de catégorie d'occupation du sol dans le futur. De plus, cette simulation peut s'entendre à court terme, si l'on teste concrètement les conséquences d'un scénario sur la croissance urbaine. Mais, elle peut également s'entendre à long terme, si les tendances du scénario sont extrapolées jusqu'à l'extrême, pour révéler le stade finale vers lequel elles mènent. **Ainsi, il est possible de confirmer l'hypothèse h_1 , c'est-à-dire d'évaluer la probabilité pour chacune des cellules constituant l'espace de passer d'une catégorie d'occupation du sol vers une autre catégorie d'occupation du sol.** De surcroît, la manière de le faire apparaît extrêmement simple, puisqu'un tableau unique (en fait une matrice carrée asymétrique) synthétise l'ensemble des informations concernant les transitions d'occupation du sol. Cependant, comme on l'a signalé au début du chapitre, la prise en compte de la dynamique de l'étalement urbain par le biais des chaînes de Markov, ne peut se faire qu'au prix d'une perte de l'information spatiale concernant ces changements : on sait combien de cellules vont évoluer, mais on ne sait pas où sont ces cellules. Or, on a vu dans la première partie que le processus d'étalement urbain apparaît avant tout comme un processus spatial, un cas particulier d'urbanisation qui ré-arrange les lieux de la ville et les distribue entre le centre et la périphérie selon de nouvelles logiques. Aussi, la seule quantification des changements ne suffit pas à modéliser la dynamique de l'étalement urbain : elle doit être complétée d'une seconde étape qui répond plus particulièrement à la question « où ? ».

Références bibliographiques

Adams J.W., 1971, *Elements of finite probabilities*, Kaedmon Publishing Company, New-York, 194 pages

- Almeida C.M. et al., 2002, Empiricism and stochastics in cellular automaton modeling of urban land use dynamics, Centre for Advanced Spatial Analysis, *Working Paper series*, n°42, Feb. 2002, 38 pages
- Berchtold A., 1998, *Chaînes de Markov et modèles de transition. Application, aux sciences sociales*, Hermes, 284 p.
- Brunet R., Ferras R., Théry H., 1992, *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique*, Reclus-La documentation française, 518 pages
- Cheyland J.P. et al., 1999, *Les mots du traitement de l'information temporelle*, Revue internationale de géomatique, vol. 9, n° 1/1999, pp. 25-44.
- Collins L., 1975, An introduction to Markov chain analysis, *Catmog*, n°1, 36 p.
- Deuheuvels P., 1982, *La probabilité, le hasard et la certitude*, PUF, Que sais-je ? 128 pages.
- Diappi L., Bolchi P., 2003, *Land use dynamics: a stochastic model based on knowledge from SOM neural networks*, Paper presented at the 13th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography, 5-9 september 2003, Lucca, Italy, 13 pages.
- Drezner, Z., Wesolowsky G.O., 1978, A Trajectory Method for the Optimization of the Multi-Facility Location Problem with l_p Distances, *Management Science*, n°24, pp.1507-1514.
- Dureau F., 1997, Trajectoires résidentielles et recompositions urbaines à Bogota, Colombie, *Cahiers des Amériques Latine*, 1997, n° 22, pp. 181-200.
- Faure R., 1979, 1996, *Précis de recherche opérationnelle*, Dunod, 466 pages.
- Feller W., 1965, *An Introduction to Probability Theory and its Applications* (2nd ed.), John Wiley & Sons, 461 pages.
- Girault M., 1995, *Processus stochastiques*, Encyclopædia Universalis
- Kemeny J.G., Snell J.L., Thompson G.L., 1966, *Introduction to finite mathematics* (2nd ed.), Prentice-Hall ed., 421 pages.
- Kreweras G., 1972, *Graphes, chaînes de Markov et quelques applications économiques*, Dalloz, 152 pages
- Memin J., Crepel P., Raugi A., 1995, *Théorie des martingales*, Encyclopædia Universalis, CD Rom
- Norris J.R., 1997, *Markov Chains*, Cambridge University Press, Cambridge series in Statistical and probabilistic Mathematics, 237 pages.

Pellaumail J., 1992, *Graphes, simulations, L-matrices*, Ed. Hermès, 335 pages.

Rimbert S., 1995, *Carto-graphies*, Ed. Hermès, Série Géographie assistée par ordinateur, 176 pages.

Robinson M.R., 1998, *Methods and techniques in human geography*, John Wiley & Sons, 572 pages.

Chapitre 2.3

Localiser les changements urbains : le modèle de potentiel

Les chaînes de Markov sont une méthode (parmi d'autres) qui répond à la problématique de la quantification de l'étalement urbain, lorsque une ville est décomposée sous forme de cellules. Pour autant, elles ne disent rien sur la localisation de ces changements : leurs lieux d'occurrence restent inconnus. **Aussi, cette première étape, qui a répondu à une première hypothèse h_1 , demande à être complétée par une seconde étape, à laquelle s'associe l'hypothèse opérationnelle h_2 : les changements urbains ne se répartissent pas également dans l'espace mais suivent une logique en lien avec la forme de la ville et ses réseaux. En d'autres termes, il s'agit ici de localiser les résultats de la quantification opérée à la première étape.** Travailler sur les localisations nécessite de s'intéresser à l'espace. On ne s'étonnera pas, alors, que la géographie dispose de nombreux modèles pour le faire, souvent dédiés en particulier aux localisations résidentielles (Putman, 1979). Les modèles de diffusion, par exemple, sont des modèles spatiaux, qui permettent de localiser certains éléments en partant du principe qu'ils sont issus de la diffusion d'autres éléments. Les modèles fractales sont d'autres modèles qui permettent également de simuler la croissance urbaine. L'étude de E. Bailly, par exemple, sur la ville de Marseille a montré qu'il était possible de reproduire les digitations de la ville à partir d'une structure fractale, contrainte par le relief et l'hydrographie. Cependant, tous ces modèles ne sont pas égaux sur le plan théorique, et certains se justifient plus que d'autres, tant sur le plan des résultats qu'ils permettent d'obtenir que sur celui des motifs pour lesquels ils ont été privilégiés. Dans le cas de la dynamique de l'étalement urbain et de sa modélisation, la première partie a montré que deux éléments au moins pouvaient théoriquement être pris en compte. Premièrement, on a dit en effet que la ville pouvait être considérée à la manière de P. Claval (1981) ou de L.

Mumford (1961), comme un système tourné vers la maximisation des interactions. Deuxièmement, on a vu que la notion de proximité, et l'existence supposée d'un seuil proximal, soulignaient l'importance de la distance dans ces interactions : les interactions diminuent au fur et à mesure que la distance augmente. Sur le plan de la modélisation en géographie, il existe justement une famille de modèles qui part de principes identiques : les modèles d'interaction spatiale. Adapté à la problématique et au cas particulier de Belfort qui nous préoccupe ici, un modèle d'interaction spatiale permet facilement de concevoir l'idée que les espaces quantifiés à la première étape prennent place à l'endroit où ils sont complémentaires de ceux qui les environnent, en minimisant les distances qui les en séparent. Ils apparaissent ainsi comme une solution possible pour localiser les zones dont la probabilité de changer est la plus importante. Toutefois, les modèles de potentiel sont nombreux, et ils s'utilisent autant pour calculer des zones d'achalandage ou d'influence, que pour estimer des localisations industrielles, ou pour modéliser la diffusion des pièces de monnaie européenne dans toute l'Europe (Grasland *et al.*, 2002a, 2002b, 2003). Il est donc nécessaire de présenter ces modèles, avant de mettre l'accent sur la manière avec laquelle ils peuvent être adaptés pour modéliser la dynamique de l'étalement urbain.

1. Le modèle de potentiel : un outil d'analyse multicritères

Une des questions sur laquelle les géographes s'interrogent consiste à savoir pourquoi les objets et les hommes se déplacent à la surface de la terre ? Cette question très générale a donné lieu à de nombreuses études et a permis de construire un corpus théorique important sur les principes qui sont à l'origine des migrations, des mouvements de biens et de personnes sur l'espace terrestre. Aujourd'hui, elle peut se décliner sous une forme qui nous intéresse particulièrement ici : **pourquoi les hommes choisissent-ils d'habiter ici plutôt que là, et, en particulier, dans les régions périurbaines qui accueillent le processus d'étalement urbain ? La réponse à cette question n'est évidemment pas simple ; elle fait intervenir une multitude de critères parmi lesquels l'aspiration à un confort de vie meilleure peut être mise en regard de la localisation de l'habitat, et, de façon plus générale, de la notion de proximité. On retrouve alors une partie du problème qu'insuffle la prise en compte de la dialectique entre éloignement et proximité** dans ces choix de localisation, et qui contribue à expliquer les mouvements et les migrations.

1.1. Principes du modèle de potentiel

Dans un monde théorique imaginaire, dans lequel aucune migration ni aucun mouvement de personnes n'aurait eu lieu, R. Abler *et al.* (1972) imaginent assez bien que les populations se distribueraient selon un ensemble défini de lieux. Le potentiel qu'une migration se crée

entre ces différents lieux dépendrait alors de ce que l'on pourrait trouver dans chacun d'entre eux, qui satisfasse aux besoins des personnes. Les migrations sont donc ici conditionnées par un ensemble de points d'origine et de points de destination et chaque mouvement de population dépend des besoins et des désirs des personnes, et de la réponse qu'offre chaque lieu à ces désirs et ces besoins. Cette idée est à la base du principe de l'interaction spatiale.

1.1.1. Le principe de l'interaction spatiale

Certains mouvements et certaines migrations apparaissent très fortement contraints et ne résultent pas d'un libre choix : certaines migrations sont liées au climat, à la guerre, aux coûts fonciers, etc. Mais de façon générale, on peut estimer que la majorité des déplacements résidentiels est parfaitement volontaire, du moins dans les choix majeurs¹. La contrainte n'apparaît souvent qu'à un deuxième niveau, entre deux lieux de destination choisis, mais pour lesquels les contraintes ne sont pas les mêmes. Ainsi, **si l'on admet que les mouvements humains sont volontaires, on peut penser qu'ils dépendent de l'information que les personnes ont des lieux, et qui va déterminer leurs choix et leurs préférences, en fonction de leurs besoins et de leurs désirs.** Cette acception globale du mouvement nous intéresse particulièrement dans le cadre du processus d'étalement urbain et de l'étude de sa dynamique.

A l'intérieur des aires urbaines actuelles, les possibilités de mouvements et de migrations augmentent en effet parallèlement à la taille de l'aire urbaine : plus une ville est grande, plus on pourra y trouver d'endroits différents susceptibles de répondre à des attentes différentes, parfois très spécialisées. Les populations et les activités peuvent alors se spécialiser en même temps que la ville se généralise en accueillant des activités de plus en plus diverses : les diverses attentes provoquent finalement la non-spécialisation (généralisation) du tout. Les différentes activités spécialisées se localisent alors à l'intérieur de la ville de manière à pouvoir communiquer et travailler ensemble, les unes avec les autres. Mais, à l'échelle générale de l'aire urbaine, le trafic généré par ces communications et ces mouvements commence et s'achève souvent au niveau de l'habitation des personnes. En effet, quelle qu'elle soit, une activité a besoin d'hommes pour l'exercer ; et, ces hommes habitent quelque part, dans un lieu choisi pour que l'exercice de leur activité soit possible avec un minimum d'effort, dans la mesure où chaque jour, ils se déplacent vers le ou les lieux où ils exercent leur activité. **La base des migrations quotidiennes de personnes dépend donc de la structure des localisations d'activités différentes mais complémentaires, parmi lesquelles**

¹ En effet, on estime ici que les populations ont globalement le choix du type de lieu dans lequel elles veulent habiter, même si, à l'échelle de l'appartement, elles n'ont évidemment pas le choix : on choisit sa commune, sa zone géographique, mais rarement son immeuble, ne serait-ce que pas qu'il n'y a pas d'appartements vacants.

l'habitation joue un rôle primordial, même si cette structure apparaît souvent fortement contrainte par l'existence d'un réseau de communication et d'équipements permettant la mise en œuvre concrète et efficace des migrations.

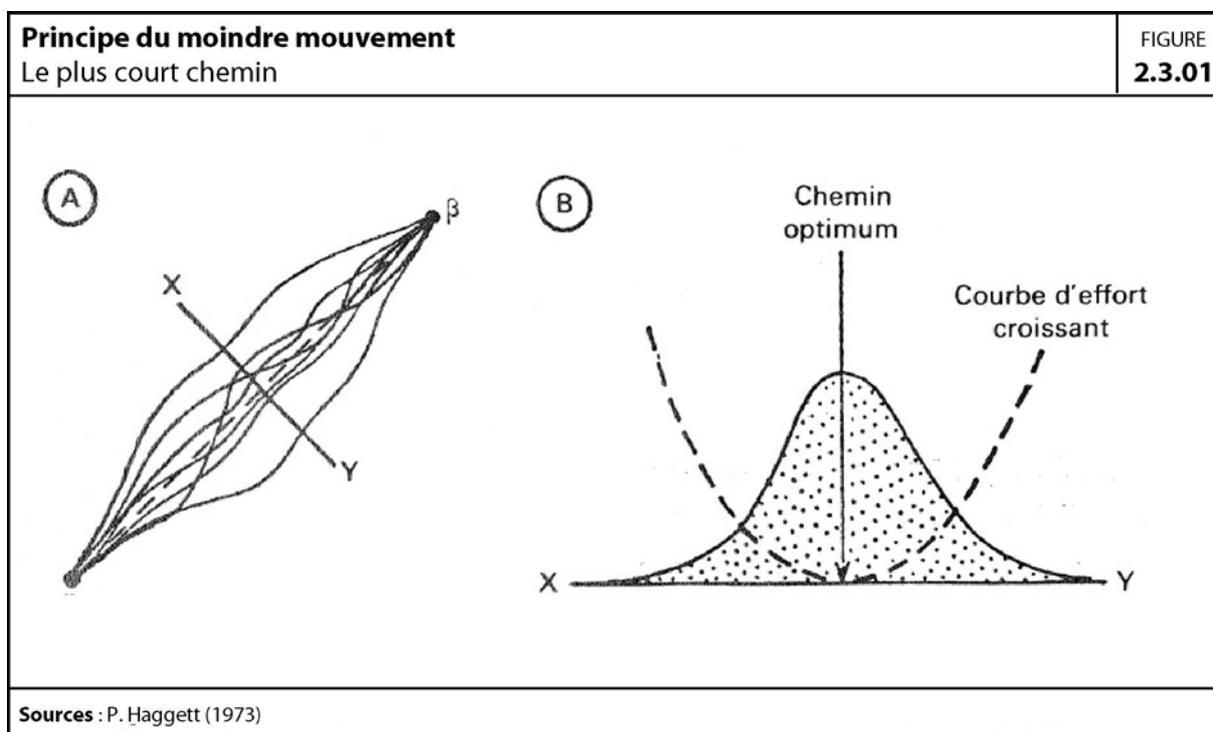
En reprenant l'exemple de P. Haggett (1973) pour expliquer ces localisations, et de façon plus générale pour expliquer le mouvement, on peut avoir recours au « principe du moindre mouvement » comme « modèle explicatif » pour illustrer, comme de nombreux auteurs l'ont montré (cf. Haggett 1973), la géométrie des formes de peuplement à la surface de la Terre. La répartition des industries ou des zones agricoles obéissent en effet à des distributions régulières et souvent symétriques, qui suivent en partie ce principe du moindre mouvement. En fait, avant 1945, A. Lösch (1954)² avait insisté sur la *lex parcimoniae*, encore appelée « loi du moindre effort », un concept suggérant que les « les évènements naturels atteignent leur but par le plus court chemin »³ (Haggett, 1973). Son idée est alors similaire à celle qu'a pu soutenir E. Mach (1942) en 1883, à savoir qu'en termes de mécanique, des formes régulières correspondent à un maximum ou à un minimum de travail. P. Haggett (1973) présente une illustration intéressante de ce principe (Figure 2.3.01). Il pose en fait que, sur un plan supposé uniforme, le chemin du moindre effort entre le point *i* et le point *j* correspond à une droite. Cependant, il estime que pour toute une série de raisons⁴, rationnelles et irrationnelles, les itinéraires réels s'écartent du chemin du moindre effort, et forment un faisceau de lignes reliant *i* et *j*. Sur la seconde partie de la figure, une coupe de ce faisceau (entre A et B) perpendiculaire au chemin du moindre effort, montre que plus l'on s'éloigne de ce chemin, plus la quantité de travail à fournir, mesurée en distance parcourue, augmente et prend la forme d'une parabole. P. Haggett soupçonne alors que cette parabole pourrait prendre la forme d'une distribution gaussienne (loi normale), centrée sur le chemin du moindre effort. Au niveau d'une ville en entier, combien peut-il exister de paraboles centrées sur des chemins de ce type ? Une multitude indénombrable certainement, que la notion d'interaction spatiale aide à prendre en compte. Le lien HyperGeo du site CyberGeo⁵ propose une définition concise et complète des interactions en général et des interactions spatiales en particulier. **Une interaction spatiale apparaît alors comme « une action réciproque (rétroaction) entre deux ou plusieurs acteurs ou lieux dans un système. Tous les échanges (de matière, de personnes, d'information), par exemple au niveau individuel entre producteurs et clients, entre partenaires, ou au niveau agrégé entre des villes et des régions (ce sont les interactions spatiales), sont des interactions dans la mesure où ils provoquent des changements interdépendants dans les comportements ou dans les structures ».** L'expression d'interactions spatiales a été introduite par E.L. Ullman (1957).

² Les travaux de A. Lösch ont été publiés en 1954, mais ils datent d'avant-guerre.

³ Avant les travaux de A. Lösch, un concept similaire existe en physique avec les travaux de L. de Lagrange, en tant que « principe de moindre action », puis dans l'analyse des systèmes en tant qu'« énergie potentielle minimale » et que « chemins optimaux de mouvement », et dans les sciences sociales en tant que principe du moindre effort avec les travaux de K.G. Zipf (1949).

⁴ Il s'appuie notamment sur les travaux de D.W. Meinig (1962).

⁵ www.cybergeogeo.presse.fr



1.1.2. Intégration de variables multiples

A partir d'une étude portant sur le trafic ferroviaire et fluvial, E.L. Ullman a également proposé trois conditions, théoriques et synthétiques, pour prendre en compte et caractériser les interactions spatiales : la complémentarité, la substitution et la friction de la distance. Il convient de reprendre ces trois indicateurs pour bien cerner ce qu'ils recouvrent : leur prise en compte théorique offre un cadre intéressant pour définir plus précisément les interactions spatiales.

Complémentarité (*complementarity*) : L'interaction est le résultat du fait que les différents lieux qui couvrent l'espace terrestre sont des lieux différents dans la mesure où ils offrent des lieux différents. Mais, leur différence seule ne suffit pas à produire une interaction. Pour qu'une interaction existe entre deux lieux, il faut qu'il y ait une demande de l'un et une offre de l'autre, ce qui veut dire qu'une complémentarité spécifique est nécessaire pour qu'une interaction spatiale se produise. Pour expliquer cela, R. Abler *et al.* (1972) prennent un exemple très simple : ce n'est pas parce qu'il y a une demande de viande à New York et une offre de bois en Géorgie qu'une interaction (un mouvement, une migration) se fera entre ces deux lieux. Il n'y aura pas échange entre New-York et la Géorgie parce que leur complémentarité n'est pas spécifique. Ceci veut bien dire que l'interaction ne nécessite pas une offre de n'importe quoi en regard avec une demande de n'importe quoi, mais une réelle

complémentarité entre des attributs demandés à un endroit et présents à un autre endroit. Précisons que nous parlons bien d'attributs et non uniquement d'objets ou de produits comme le font R. Abler *et al.* (1972) ou P. Haggett (1973) car dans ces cas, l'idée d'interaction sert à introduire un mouvement de produits (transportés par camions, par exemple, dans l'exemple de M. Helvig (1964)). Mais, l'interaction peut également s'interpréter comme une migration de personnes, migration qui peut s'avérer définitive, si une complémentarité spécifique existe entre des gens qui veulent disposer d'un certain cadre pour habiter, et des lieux qui disposent de ce cadre. En France, par exemple, de telles complémentarités existent entre des personnes et des lieux dans l'exemple de la Côte d'Azur, qui est devenue la destination résidentielle privilégiée de personnes cherchant à profiter de leur retraite sous un climat clément.

Substitution (*intervening opportunity*) : Mais, une complémentarité, même très spécifique entre deux lieux, ne générera une interaction qu'en cas d'absence de substitution, comme a pu le montrer S.A. Stouffer (1940), en plaçant les modèles de substitution au cœur de la problématique de la l'interaction spatiale. En effet, comme le font remarquer R. Abler *et al.* (1972), si l'on considère une interaction possible entre un lieu i et un lieu j , il est nécessaire de considérer simultanément tout autre lieu k , qui pourrait également apparaître comme une origine ou une destination possible pour ce mouvement, et de tester s'il n'est pas finalement une « meilleure » origine ou destination. Pour bien comprendre le principe de ces substitutions, prenons l'exemple d'une personne (Bob le bricoleur) habitant au lieu i , qui, a besoin d'acheter des clous pour clouer une planche. A 500 mètres de chez lui, au lieu j , se situe justement une quincaillerie qui vend des clous. Les conditions de complémentarité spécifique sont réunies et, *a priori*, l'interaction peut se faire. Sauf si, à 100 mètres de chez lui (lieu i), au lieu k , se situe un magasin de bricolage qui, en plus d'être plus proche, propose un choix supérieur à un prix inférieur. Il y a fort à parier alors que l'interaction se fera entre i et k , et non entre i et j . Cet exemple montre que pour estimer une interaction spatiale, il est nécessaire de ne pas considérer les lieux deux à deux, mais de les prendre en compte tous simultanément de manière à tester les éventuelles substitutions.

Friction de la distance (*transferability*) : Après la complémentarité et l'absence de substitution, la troisième condition dont dépend l'interaction spatiale est la « transférabilité », c'est-à-dire la friction de la distance. Cette friction se mesure généralement en temps ou en coût : si le temps ou l'argent dépensé pour parcourir la distance qui sépare i et j est trop important, l'interaction ne se fera pas, même si il n'y a aucune substitution, et même si la complémentarité est parfaite. R. Abler *et al.* (1972) estiment alors que si les choses ne peuvent bouger d'un lieu à un autre à cause du coût de déplacement, en argent ou en temps, on les remplacera par d'autres choses (*ersatz*), ou bien on s'en passera.

Ainsi, on voit bien que sur le plan théorique, les « systèmes » d'interaction spatiale sont influencés par trois facteurs : 1. La complémentarité qui dépend de la différence existant

entre deux lieux et qui résulte de la rencontre d'une offre en un lieu et d'une demande en un autre lieu ; 2. Les possibilités de substitution qui peuvent exister entre ces lieux ; 3. La friction de la distance estimée entre ces lieux. Si une interaction spatiale existe, c'est que ces trois conditions sont réunies et satisfaites. Si elle ne se fait pas, la raison est probablement l'absence de l'une ou l'autre, voire de plusieurs de ces conditions. On voit donc bien également qu'une prise en compte ou une modélisation des interactions spatiales nécessite l'intégration de variables multiples. **Le modèle de potentiel apparaît alors justement comme l'un des modèles qui permet de toutes les prendre en compte, dans un sens qui satisfait particulièrement aux préoccupations de ceux qui s'intéressent à l'étalement urbain.**

1.2. La notion de potentiel

Car, qu'est ce que le processus d'étalement urbain, sinon une interaction spatiale qui pousse les personnes à une migration entre le lieu dans lequel ils vivaient, vers le lieu dans lequel ils veulent vivre et que constituent les couronnes périurbaines dans le cadre de la problématique de l'étalement urbain. Mais pourquoi rallier ces couronnes ? Le principe de l'interaction spatiale permet également de répondre à cette question. En effet, les couronnes périurbaines apparaissent à une distance limitée (friction de la distance faible) de la ville et de l'ensemble des complémentarités, spécifiques ou non, qu'elle peut entretenir avec les populations. Mais, elles sont également proches de la campagne, qui dispose de complémentarités propres. Ainsi, à mi-chemin entre les deux, la zone périurbaine qui accueille aujourd'hui l'étalement, apparaît comme une parfaite zone de substitution, qui minimise les interactions vers le monde urbain comme vers le monde rural, pour s'accorder les meilleurs potentiels. L'ensemble de ces idées est très bien pris en compte par le modèle de potentiel, un modèle dérivé du modèle gravitaire.

1.2.1. Le faux principe « gravitaire »

Le modèle de potentiel apparaît en effet comme l'un des nombreux dérivés de la loi de la gravitation universelle de I. Newton⁶. Généralement, sa première application en sciences sociales est attribuée à J. Stewart et W. Warntz (1949) qui l'ont utilisé pour modéliser la répartition de la population aux Etats-Unis. Néanmoins, un certain nombre de travaux plus anciens font référence au même principe, notamment les travaux précurseurs de E.G. Ravenstein (1885) et ses « lois de migration⁷ » qui datent du siècle dernier (entre 1885 et

⁶ Cette acceptation des choses pose néanmoins un certain nombre de problèmes d'interprétation sur lesquels nous reviendrons plus bas.

⁷ On peut à ce propos rappeler les dix lois de migration de E.G. Ravenstein mises au point entre 1885 et 1889 : 1. Le nombre de migrants diminue avec la distance ; 2. Les migrations se font par étapes et remplacements en chaîne ; 3. La migration, surtout à longue distance, est proportionnelle à la

1889), ou encore ceux de S.A. Stouffer (1940) ou de K.G. Zipf (1946). Dans chacun de ces travaux, **la notion de potentiel peut être considérée comme une sorte d' « énergie » créée en un point par un ou plusieurs autres points**. Néanmoins, si le modèle de potentiel est souvent assimilé à un modèle gravitaire, en référence à la découverte de I. Newton, il ne correspond pas, sur le plan théorique, à l'idée qu'il a exprimé. A l'heure actuelle, il est donc préférable, pour suivre une logique théorique plus proche des préoccupations de la géographie de l'associer à la famille des modèles d'interaction spatiale. Pour bien comprendre la différence qui sépare ces deux familles de modèles, il est important de revenir sur le modèle de I. Newton, et de voir comment, historiquement, il a été utilisé et réinterprété pour l'analyse et la modélisation spatiale.

Vers la fin du 17^{ème} siècle, I. Newton a introduit le produit *masse x vitesse* (qu'il appelle alors « quantité de mouvement du corps »), et, par voie de conséquence, il a placé la notion de masse au cœur d'une théorie sur la gravité. Il travaillera ensuite sur le « principe d'actions réciproque » qui lui permettra de montrer empiriquement que deux corps agissent l'un sur l'autre de manière égale et s'attirent de la même façon : le soleil attire autant la Terre que la Terre attire le soleil. La force exercée apparaît comme une fonction symétrique des masses des deux corps. Le secret de la gravitation est alors percé, et se résume en une seule formule :

$$F = G m_1.m_2 / r^2$$

Avec : m_1 et m_2 : masses des planètes 1 et 2
 r : distance séparant les deux planètes
 G : constante de proportionnalité

Le succès de cette loi est en grande partie dû à sa simplicité, mais également au fait qu'elle s'applique aussi bien aux corps célestes qu'à un corps pesant et terrestre. Ainsi (et le problème est très bien résumé dans l'article sur les modèles gravitaires que D. Pumain présente dans les liens de CyberGeo), si la découverte de I. Newton est intéressante pour calculer plein de choses relatives aux planètes dans le système solaire, « l'analogie avec le modèle newtonien ne constitue pas une explication pour la géographie, et on n'a encore établi que des interprétations partielles du modèle gravitaire ». Savoir que deux corps s'attirent mutuellement avec une force dépendant de leur masse divisée par leur distance au carré n'apprend rien quant aux processus et aux comportements en œuvre au sein de l'espace géographique, encore moins quand il s'agit d'un espace urbain ou périurbain. Néanmoins, l'analogie peut être creusée si l'on admet, en se calant sur la formule de la gravitation

population de la zone d'accueil ; 4. Un courant de migration génère toujours un contre courant ; 5. Les citadins migrent moins que les ruraux ; 6. Les femmes ont une plus forte mobilité que les hommes sur les longues distances ; 7. Les migrations de familles - moins fréquentes - se font surtout à l'intérieur d'un pays ; 8. La population des grandes villes s'accroît plus par la migration que par les naissances ; 9. La migration augmente avec le progrès ; 10. La cause majeure de la migration est d'ordre économique.

universelle, que : « 1. Le produit des masses $P_i.P_j$ représente une probabilité conditionnelle pour un élément de i d'interagir (ou d'échanger sa localisation) avec un élément de j ; 2. La diminution très rapide des interactions avec la distance s'explique d'une part par le coût qu'implique son franchissement, et d'autre part, parce qu'elle représente un élargissement considérable du nombre des interactions potentielles autour d'un lieu donné : dans un espace qui serait homogène du point de vue des localisations possibles, migrer à une distance double signifie prospecter quatre fois plus de destinations potentielles, neuf fois plus si la distance est triple, vingt-cinq fois plus si elle est quintuple. On conçoit que la probabilité de détenir des informations sur tous ces lieux, d'une qualité suffisante pour décider de s'installer, décroisse très vite et plutôt comme le carré de la distance que proportionnellement à elle ». Or, c'est bien dans le sens de ces deux postulats de base que s'interprète la multitude de travaux géographiques qui font référence au modèle gravitaire, mais qui n'est que rarement interprétée comme telle, et plutôt comme un modèle d'interaction spatiale, c'est-à-dire un modèle capable d'évaluer les interactions que des lieux peuvent entretenir les uns avec les autres. **Dans la littérature anglo-saxonne, l'interaction spatiale est en effet souvent définie très simplement comme un phénomène de décroissance des flux avec la distance, et correspond dès lors aux principes mis en place empiriquement par E.G. Ravenstein dès le 19^{ème} siècle, et qui n'ont été rapprochés par analogie aux modèles gravitaires que bien plus tard.** Son utilisation est alors très intéressante pour étudier les flux, et sa formulation mathématique prend généralement la forme simple suivante :

$$I_{ij} = K \frac{P_i \cdot P_j}{d_{ij}^b}$$

Avec : I_{ij} = interaction entre lieu i et le lieu j
 P_i = population de la cellule i
 P_j = population de la cellule j
 d_{ij} = distance entre i et j
 K = facteur d'échelle
 b = facteur d'échelle

Cette formule, sous sa forme simple ou après modification ou introduction de coefficients complémentaires, a été très largement utilisée, et a fait l'objet de nombreuses études, de compléments et de modifications. On peut citer par exemple les modèles de W.J. Reilly et de J.O. Huff qui apparaissent comme des dérivés directs, permettant de déterminer la limite d'attractivité d'une ville ou d'un centre commercial :

$$R_i = \frac{P_i}{d_{ij}^2}$$

Avec : R_i = Limite de gravitation du lieu i
 P_i = population du lieu i
 d_{ij} = distance entre i et j

A la différence des modèles d'interaction classiques, le modèle de W.J. Reilly a cependant cette particularité de ne pas s'intéresser aux flux qui lient une paire de lieux, mais de s'intéresser à un seul lieu, pour déterminer, à partir des autres lieux, si il appartient à une aire d'influence particulière. Il vise ainsi à déterminer, par exemple, des aires de marché théoriques pour un ensemble de lieux, et peut se rattacher à la famille des modèles d'interaction spatiale de position dans la mesure où il décrit des lieux et non des relations entre des lieux. Le modèle de potentiel est également un modèle de position permettant de décrire la position relative d'un lieu par rapport aux autres.

1.2.2. Le modèle de potentiel

Le modèle de potentiel se fonde effectivement sur la prise en compte d'une hypothèse d'interaction spatiale signalant que la probabilité de relation entre les lieux décroît en fonction de la distance. Fondamentalement, il permet de mesurer une « accessibilité » visant à « évaluer la variation de la quantité d'opportunité de relation en fonction de la position » (CyberGeo, HyperGeo) relative de tous les lieux. Généralement, en effet, **le potentiel d'un point est calculé à partir de l'analyse de l'importance de tous les autres points du système, importance que l'on appelle « masse » en référence au modèle gravitaire newtonien. Le potentiel d'un point est généralement la somme de tous les potentiels créés en ce point par l'ensemble des masses individuelles qui composent le système. Le calcul du potentiel de chaque point consiste donc à leur appliquer une formule tenant compte simultanément de la valeur de masse de tous les points localisés sur une aire géographique, en fonction de la distance qui sépare ces points de celui pour lequel on effectue le calcul.** La formule opératoire est donc la suivante :

$$P_i = \sum_{j=1; j \neq i}^n \frac{m_j}{d_{ij}}$$

Avec : P_i = potentiel de la cellule i
 m_j = masse de la cellule j ;
 d_{ij} = distance entre la cellule i et la cellule j

Cette formule signifie simplement que le potentiel de chaque lieu est égal à la somme des masses des lieux de son voisinage, divisées par la distance qui les sépare de ces lieux. A la suite des travaux de D. Meinke (1970), il convient pourtant, avant d'utiliser le modèle de potentiel, de postuler que : 1. Il existe nécessairement des interactions entre tous les lieux, interactions qui se caractérisent par leur masse et par leur position dans l'espace ; 2. La probabilité d'interaction est la même entre toutes les paires de lieux ; 3. L'intensité de l'interaction entre chaque paire de lieux est fonction inverse de la distance qui sépare ces paires de lieux.

Ainsi, on voit bien que la formule du modèle de potentiel permet de prendre en compte le principe de l'interaction spatiale, ainsi que les trois conditions formulées par E.L. Ullmann (1957) : la complémentarité, l'absence de substitution et la friction de la distance. En effet, chacun des paramètres correspond à l'une de ces conditions. La complémentarité est prise en compte par la masse m . En effet, pour chaque lieu pour lequel un potentiel est calculé on associe une masse à tous les autres lieux. Cette masse correspond alors à la complémentarité qui les lie. La friction de la distance, ensuite, est prise en compte par l'expression d_{ij}^{-1} : le fait de diviser la masse par la distance contribue en effet à l'affaiblir à mesure que la distance augmente, et donc à tenir compte d'une friction que l'on pourrait également estimer en termes de coûts ou de temps. Enfin, la présence ou l'absence de substitution est prise en compte par le fait que le potentiel se calcule par une somme de tous les éléments. Cette somme Σ correspond en quelque sorte à une recherche des substitutions (*intervening opportunities*) : elle prend nécessairement en compte tous les autres lieux pour tester si des opportunités interposées existent. Elle contribue également à tester toutes les possibilités d'interaction, et à privilégier les meilleures, c'est-à-dire celles pour lesquelles les complémentarités sont les plus fortes, et les frictions de la distance les plus faibles.

La précédente formule indique bien également que le lieu pour lequel le calcul est effectué n'intervient pas dans son propre calcul. Or, on peut tout à fait admettre qu'un lieu, par ce qu'il est, peut s'influencer lui-même, au même titre que son voisinage l'influence. Sur le plan mathématique, cela pose néanmoins le problème que l'intégration d'un tel auto-potentiel nécessite une division par zéro, dans la mesure où la distance qui sépare un lieu de lui-même est nulle. Pour pallier ce problème, certains auteurs (Donnay, 1992 ; Weber *et al.*, 1997) ont proposé de prendre en compte une zone circulaire autour de chaque point i et de postuler que l'auto-potentiel d'un cercle uniforme vaut la masse divisée par la moitié du rayon du cercle de même surface que la zone située autour du point i . A la première formule, on ajoute donc le terme de l'auto-potentiel comme suit :

$$P_i = \sum_{j=1; j \neq i}^n \frac{m_j}{d_{ij}} + \frac{m_i}{(1/2\sqrt{S_i/\pi})}$$

Avec : S_i = surface de la cellule i .

Dans notre cas, les cellules étant carrées et de taille constante, on peut simplifier la formule en intégrant directement la résolution spatiale. On obtient alors la formule opérationnelle suivante :

$$P_i = \sum_{j=1; j \neq i}^n \frac{m_j}{d_{ij}} + \frac{m_i}{1/2rs}$$

Avec : rs = résolution spatiale des cellules

Ainsi, le modèle de potentiel permet bien de tenir compte du fait que tout lieu de l'espace géographique est fortement déterminé par une certaine forme de dépendance spatiale, qui provoque son hétérogénéité. Dépendance et hétérogénéité sont deux variables qui permettent de caractériser la localisation des lieux, ce que L. Anselin et A. Getis (Anselin *et al.*, 1993) appellent l'« impact spatial ». Pour caractériser cet impact, ils font alors référence à l'expression de W. Tobler qui implique que l'on peut s'attendre à trouver des relations plus fortes entre des éléments spatialement proches qu'entre des éléments éloignés : « *everything is related to everything, but near things are more related than distant things* » (Tobler, 1976). Mais ils annoncent également que l'importance des relations entre les lieux est fonction de la nature des unités spatiales que sont ces lieux, comme de la nature des variables retenues pour les décrire. Or, dans notre cas, disposant d'une image cellulaire de l'espace géographique, qu'est-ce qu'un lieu ? Plusieurs travaux ont été confrontés aux mêmes problèmes de définition, en tentant d'adapter un modèle de potentiel non pas à un carroyage, mais à une image satellite (Weber, 1998). Généralement chaque pixel de l'image (ce qui correspond à chaque cellule de l'espace carroyé) est assimilé à un lieu. Le modèle de potentiel peut alors très facilement s'adapter aux espaces cellulaires en considérant chacune de leurs unités de base comme équivalant des entités ponctuels. Néanmoins, si cette acception est classique, elle contribue à transformer considérablement les résultats obtenus par l'intermédiaire d'un modèle qui est pourtant identique au départ. En effet, le fait d'assimiler chaque cellule à un lieu revient à inclure la surface de chaque unité géographique dans le calcul des potentiels. Il est donc clair que les résultats obtenus par C. Grasland (1994) par exemple, à l'échelle de l'Europe, pour évaluer un potentiel migratoire, sont peu comparables avec ceux que peut produire le même modèle pour évaluer les potentiels de l'étalement urbain. Cette différence n'est pas due tant au fait que les deux thématiques n'aient rien à voir, qu'au fait que les

calculs ne se font ni à la même échelle, ni sur le même type d'espace : la première échelle est continentale, la deuxième urbaine ; l'espace urbain est cellulaire (par construction), l'autre ne l'est pas. Ainsi, dans un cas, une forêt est représentée par un point correspondant à une masse, et dans l'autre, elle est représentée par n cellules ayant chacune leur masse propre. On saisit bien également qu'à masses identiques, la forêt carroyée sera n fois plus importante dans un cas que dans l'autre, ce qui ne va pas sans troubler les résultats obtenus. **Ce problème pose alors la question de la valeur des masses à utiliser, et avec elle, celle du paramétrage d'un modèle de potentiel, qui devront tenir compte de ces spécificités.**

2. Paramétrer un modèle de potentiel

Le paramétrage du modèle de potentiel est certainement l'opération la plus complexe qui conditionne son utilisation, et la cohérence ainsi que la bonne compréhension des résultats obtenus. En effet, si en lisant la formule, on comprend bien le principe qui sous-tend le modèle, ce principe n'est rien sans les valeurs et les paramètres, les coefficients, qu'on lui associe. **Ces coefficients peuvent alors s'utiliser dans plusieurs cadres. On peut, par exemple, les définir pour qu'ils correspondent à une situation observée dans le passé, ou au contraire, les imaginer par rapport à des scénarios prospectifs, dont les résultats apparaissent comme des simulations,** comme précédemment (Chapitre 2.2), on a pu utiliser des matrices de transition issues de l'observation du passé, et d'autres construites pour correspondre à un scénario.

2.1. Les coefficients du modèle

Pour bien comprendre ce à quoi correspondent les paramètres du modèle de potentiel, et donc pour les définir correctement, il est nécessaire de les rapprocher de la thématique que l'on compte traiter, en l'occurrence celle de l'étalement urbain. Dans ce cadre, que signifie exactement une masse, et quelle valeur peut-on envisager d'attribuer à m ? De même, on peut se poser la question de savoir à quelles cellules ces masses doivent être affectées, et si des pondérations doivent être envisagées, en fonction de tel ou tel critère. Ces masses doivent encore correspondre à la réalité du terrain, c'est-à-dire proposer une simulation réaliste de l'étalement urbain, ce qui oblige à les confronter à un paramètre reflétant la réglementation en matière d'urbanisme.

2.1.1. A propos de la masse m

L'opportunité d'interaction entre chacun des éléments qui composent l'espace géographique, c'est-à-dire, dans notre cas, de chaque cellule de l'espace carroyé, peut s'évaluer par rapport à la volonté présumée, pour deux cellules de type d'occupation du sol différentes, de « collaborer » compte tenu des complémentarités spécifiques qui les lient. Ainsi, pour une catégorie donnée, on peut estimer que chaque autre catégorie représente un certain potentiel attractif, qui correspond à la masse m du modèle de potentiel. **Le paramètre m du modèle de potentiel, que l'on associe généralement à une masse, peut donc être interprété ici comme un coefficient d'attraction, indiquant pour chaque catégorie d'occupation du sol, la volonté que l'on peut avoir de s'en rapprocher.** Sur le plan théorique, on peut donc le mettre en lien direct avec l'idée de seuil proximal (Chapitre 1.2), et plus généralement avec la dialectique entre éloignement et proximité. Pour l'habitat résidentiel, par exemple, on peut poser que le réseau routier, par l'accessibilité qu'il permet à tous les autres points dans le contexte actuel de la généralisation de l'automobile individuelle, représente un potentiel attractif fort. Les différents équipements et les structures d'encadrement relèvent du même principe, et constituent également une catégorie d'occupation du sol de laquelle il peut être jugé intéressant de se rapprocher, de manière à se tenir en-deçà du seuil proximal, du côté « proche ». Pour des raisons de nuisance et de paysage, *a contrario*, on peut également poser que les zones d'activités représentent un potentiel plutôt faible : l'habitat résidentiel ne cherche pas à s'en rapprocher ; dans certains cas, il privilégiera même l'éloignement de ces zones, de manière à se tenir en-deçà du seuil proximal, du côté « éloigné ».

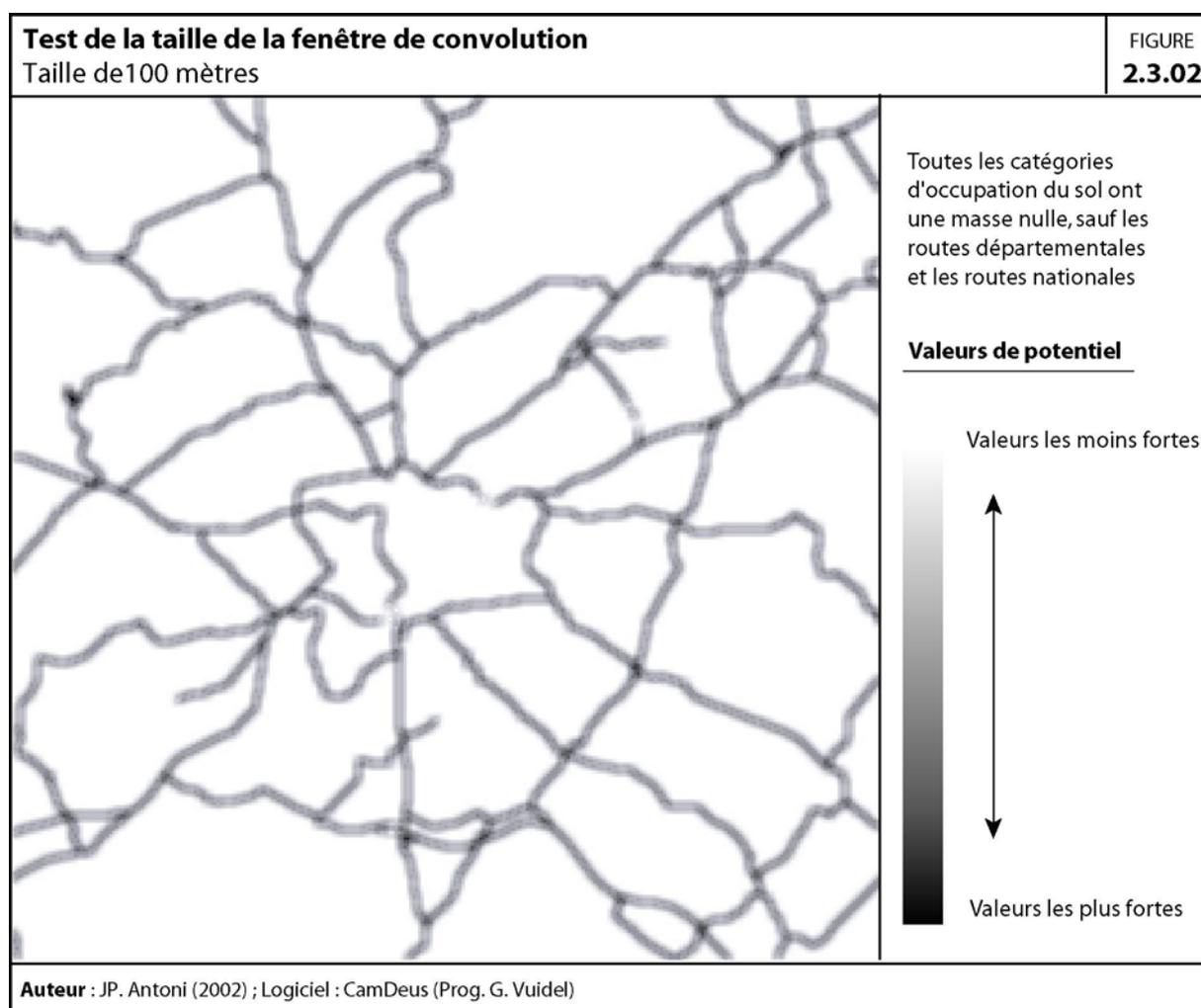
Quoi qu'il en soit, l'attraction de chaque catégorie d'occupation du sol vis à vis d'une autre est assez difficile à déterminer, d'autant plus que les valeurs de m peuvent théoriquement varier de 0 à l'infini. Or, compte tenu de la manière avec laquelle le modèle peut être utilisé et paramétré, c'est plus le rapport séparant une catégorie d'occupation du sol d'une autre qui est intéressant que leur valeur de m en tant que tel. Si l'on pose par exemple qu'une route départementale a une masse de 80 alors qu'une route nationale n'a qu'une valeur de 50, on signale simplement que la première est environ 1,6 fois plus attractive que la seconde. L'intérêt du paramétrage, et son interprétation n'est réellement compréhensible que si les valeurs relatives de chaque catégorie peuvent être comprises. Ainsi, pour reprendre le même exemple, on aurait pu évaluer la masse de la départementale à 0,8 et celle de la nationale à 0,5 pour conserver un rapport de 1,6. Ceci ne change rien sur le plan des masses affectées, mais contribue néanmoins à modifier sensiblement les résultats globaux. En effet, la valeur de potentiel de chaque cellule étant calculée à partir des valeurs de masse de son voisinage, plus ces valeurs de masses sont faibles, plus les valeurs de potentiels seront petites, avec éventuellement un nombre important de décimales. Si par commodité on arrondit ces valeurs de potentiel, plusieurs cellules peuvent être associées à une valeur arrondie similaire, si bien que l'on ne peut plus dire laquelle est supérieure à l'autre, même si mathématiquement l'une a effectivement une valeur supérieure à l'autre. Pour pallier ce

problème, on peut proposer de fixer une échelle pour les valeurs de masse m , qui ne soit pas trop grande, de manière à ce que leur choix se fasse dans un panel réduit, mais pas trop petite, de manière à éviter des décimales trop importantes. On posera alors que les masses m sont comprises entre 0 et 10, la valeur 0 représentant une attractivité nulle, et la valeur 10 l'attractivité maximale pour une catégorie d'occupation du sol. Pour pallier le problème des arrondis, on multipliera ensuite les valeurs de potentiel par 1 000 de manière à ce que chaque cellule puisse être discriminée sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir les décimales.

Néanmoins, comme on l'a vu, et compte tenu des coefficients d'attractivité définis par les masses m , le modèle de potentiel permet de tester toutes les possibilités en recherchant les éventuelles substitutions : théoriquement, chaque cellule contribue à déterminer le potentiel de tous les autres points. Il n'apparaît cependant pas forcément nécessaire de déterminer ces valeurs à partir de l'ensemble des données en présence. Il est au contraire judicieux de n'utiliser la formule du modèle que dans un voisinage précis, et ceci pour plusieurs raisons. Généralement, le premier argument en faveur de cette limitation est un argument technique : le nombre de calculs engendrés par la prise en compte de toutes les cellules est extrêmement important et, même avec des machines de calcul puissantes, le décalage dans le temps entre la proposition des coefficients et l'affichage de la carte résultante est très long. Ensuite, compte tenu de la manière dont la distance est prise en compte dans les calculs (friction de la distance), plus les cellules sont éloignées les unes des autres, moins elles s'influencent les unes les autres. Au delà d'un certain seuil, l'influence des cellules diminue tellement qu'elle devient négligeable, et qu'il n'est plus réellement nécessaire de la prendre en compte. Enfin, on proposera également un argument thématique pour limiter les calculs des potentiels à un certain voisinage, en lien avec les caractéristiques de l'espace cellulaire considéré. On peut en effet se demander jusqu'à quelle distance une cellule peut en influencer une autre en tant qu'attracteur. L'implantation de bâti résidentiel par exemple doit-il tenir compte du fait qu'une route départementale se situe à 10 kilomètres, ou bien doit-il au contraire focaliser sur les routes qui se situent dans un rayon réellement proche, disons dans les 500 mètres ou le kilomètre alentours ? Sans doute, un choix de localisation, si il se fait par rapport à des éléments qui couvrent l'espace selon un maillage relativement fin, dépend essentiellement d'un petit rayon de proximité. **Ces trois arguments permettent d'envisager la mise en place, dans le calcul du potentiel, d'une fenêtre de convolution, qui devrait permettre : 1. De ne tenir compte que des proximités réellement influentes ; 2. D'éliminer les éléments dont la prise en compte est négligeable ; 3. De réduire les temps de calcul, et donc de faciliter les simulations.**

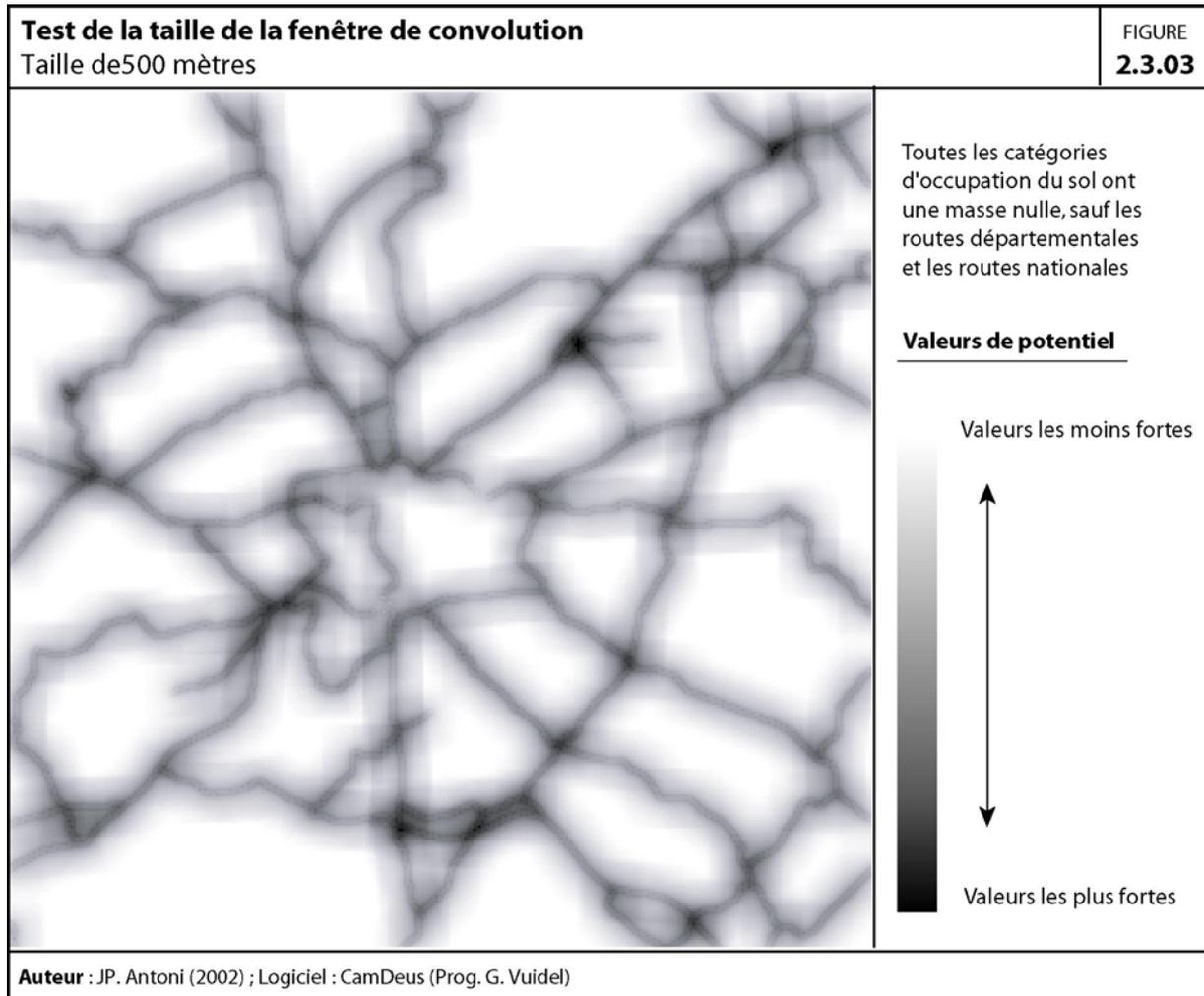
Une fenêtre de convolution est un ensemble de cellules réduit et de forme carré, centré sur chaque cellule, à partir desquelles vont être effectués les calculs. Si l'on utilise une fenêtre de convolution de 10 cellules, par exemple, on calculera la valeur de potentiel de la cellule centrale à partir des $(10 \times 2)^2 = 400$ cellules de son voisinage, sans tenir compte du reste de l'espace. Si une cellule (comme dans notre cas) a une résolution spatiale de 50 mètres, les

valeurs obtenues auront été calculées à partir des masses présentes dans les 500 mètres autour de chaque cellule. Mais, si sur le principe on peut reconnaître l'intérêt d'une telle fenêtre, il est plus délicat de définir sa taille. Celle-ci influence pourtant très fortement les résultats obtenus. Par simple raisonnement, on peut en effet comprendre que plus la fenêtre est grande, plus le lissage des résultats sera important, et plus les valeurs de potentiel obtenues seront importantes, puisque le calcul s'opère alors à partir d'un nombre plus important de chiffres. A partir d'un exemple très simple faisant intervenir uniquement le réseau de routes dans la région de Belfort, auquel on associe une masse de 10, la Figure 2.3.02 montre les différences obtenues selon que l'on utilise une fenêtre de convolution, de 100 mètres, de 500 mètres, de 1000 mètres, de 1500 mètres, ou pas de fenêtre de convolution du tout (Figures 2.3.02, 2.3.03, 2.3.04, 2.3.05, et 2.3.06).



A partir d'exemples similaires, C. Rousselet (1998) estime alors que pour l'analyse d'un phénomène urbain, la taille de cette fenêtre doit dépendre de deux critères. D'une part, la fenêtre doit contenir suffisamment de cellules pour que les valeurs de potentiel ne soient pas calculées à partir d'une seule catégorie d'occupation du sol. Ceci évite notamment la création de plateaux dans les images de potentiel, le terme de « plateau » désignant ici une « zone

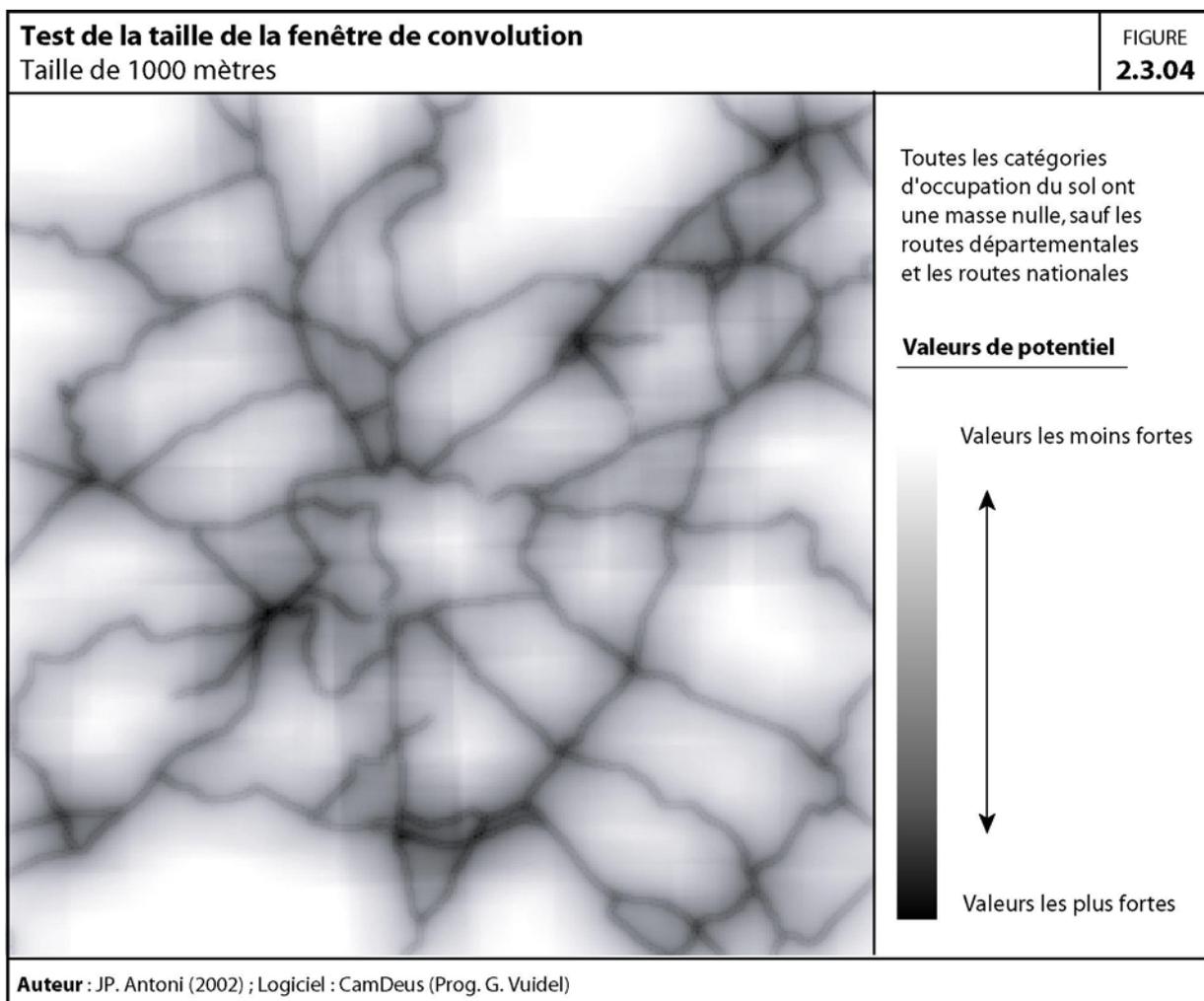
continue rassemblant les valeurs maximales de potentiel » (Rousselet, 1998). D'autre part, la fenêtre doit être suffisamment petite pour bien prendre en compte la limite entre la ville et sa périphérie dans le cas d'une recherche focalisant sur l'étude des espaces périurbains. C. Rousselet (1998), estime ainsi qu'une taille deux fois plus grande que celle prise par la classe d'habitat la plus importante au sein de l'agglomération peut donner de bons résultats, même s'ils restent par ailleurs influencés par la dimension, la forme et le plan de l'agglomération.



2.1.2. A propos de la pondération v

Ainsi, la considération simultanée par le modèle de toutes les masses et de toutes les distances entre tous les lieux de l'espace étudié permet de construire une carte des potentiels, indiquant les cellules les mieux positionnées les unes par rapport aux autres, notamment quant à la minimisation des efforts de déplacement que leur localisation permet. Mais, on a vu que ces potentiels sont calculés en fonction de masses m , déterminées de façon unique pour chaque catégorie d'occupation du sol : si l'on accorde une masse de 5

aux zones d'activité, elle sera égale à 5 dans le calcul, quelle que soit la nature de la zone d'activité étudiée. Un problème similaire a déjà été rencontré pour la modélisation des transitions (chaînes de Markov) et avait nécessité une prise de position préalable à l'utilisation du modèle de transition, baptisé « hypothèse du comportement unique ». Faute de pouvoir faire mieux, on postulait alors effectivement, préalablement à l'utilisation des chaînes markoviennes, que chaque catégorie d'occupation du sol relevait exactement du même comportement, indépendamment des spécificités des cellules dans leur catégorie. Mais, si dans ce premier cas, ce problème n'avait pu trouver de solution intéressante, la formule de calcul du modèle de potentiel va quant à elle permettre d'**introduire des nuances intra-catégorielles permettant de distinguer individuellement le comportement de chaque cellule au sein d'une même catégorie, par l'intermédiaire du coefficient de pondération v .**



Comme son nom l'indique, le coefficient de pondération v a pour but de pondérer la masse m définie pour une catégorie d'occupation du sol, en fonction de la nature de chacune des

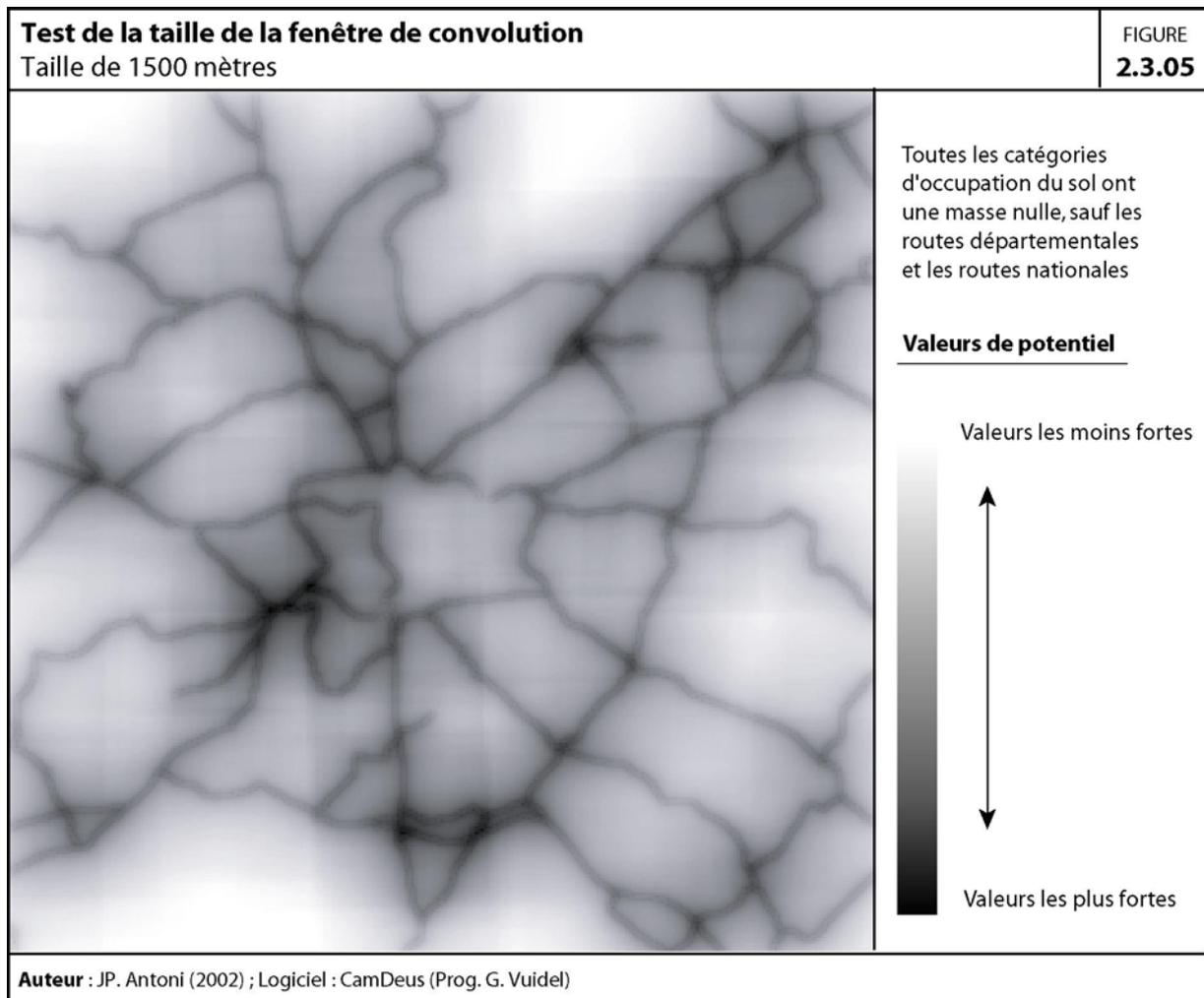
cellules contenues dans cette catégorie. Thématiquement, la pondération v a donc exactement la même signification que la masse : c'est une sorte de coefficient d'attractivité. Mais, elle n'intervient pas au même niveau, puisqu'elle donne une information particulière à chaque lieu, qui vient modifier l'information connue pour ces lieux au niveau de leur catégorie d'occupation du sol. Mathématiquement, elle prend donc place à côté de la masse qu'elle multiplie ; on obtient alors la formule complétée suivante :

$$P_i = \sum_{j=1; j \neq i}^n \frac{v_j \cdot m_j}{d_{ij}} + \frac{v_i \cdot m_i}{1/2rs}$$

Avec : v_j = pondération de la cellule j

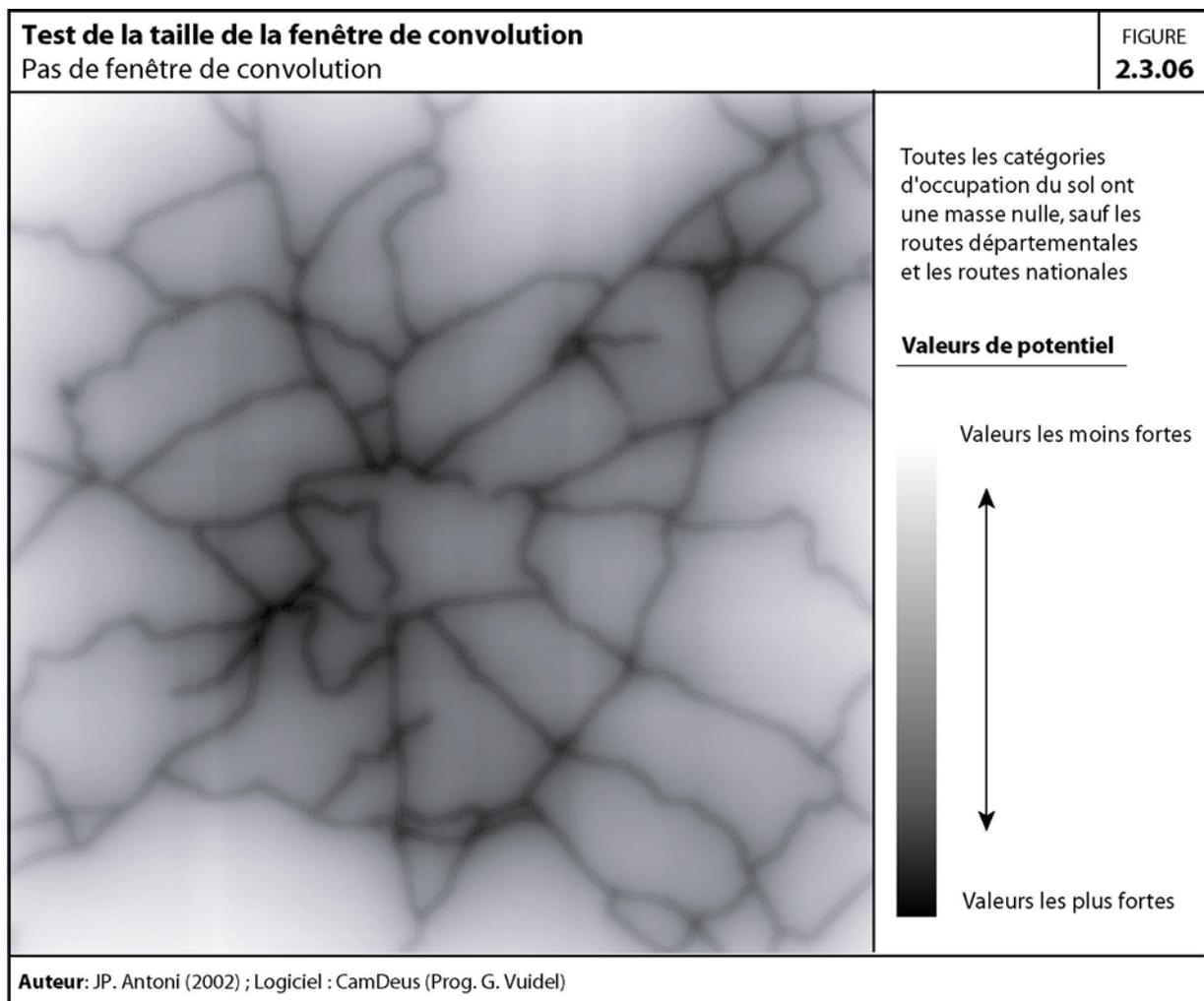
v_i = pondération de la cellule i

Et : $v_j \cdot m_j$ et $v_i \cdot m_i$ = masses pondérées des cellules j et i .



Pour bien comprendre l'intérêt du coefficient v , il convient de prendre un exemple. Imaginons que sur l'ensemble de l'espace étudié existe une catégorie d'occupation du sol nommée « zone d'activités » regroupant l'ensemble des cellules indistinctement assimilées à des zones d'activité. Le calcul des potentiels demande à ce que l'on associe une masse m à ces

catégories. Disons qu'elles sont moyennement attractives et affectons leur une masse de 5. On commet alors l'erreur d'affecter une masse de 5 autant à une usine de traitement des déchets ménagers, particulièrement peu attractive compte tenu des nuisances qu'elle produit, qu'à un parc tertiaire, souvent plus attractif compte tenu de l'aménagement paysager qui a accompagné sa construction. La pondération v permet de pallier ce problème en associant à l'usine une valeur $v = 0$, cas auquel la masse de la cellule devient nulle ($5 \times 0 = 0$), et au parc une valeur $v = 2$, cas auquel sa masse est égale à 10 ($5 \times 2 = 10$). Pour toutes les autres cellules, c'est-à-dire celles pour lesquelles il n'est pas possible de faire une distinction intra-catégorielle permettant de savoir si elles correspondent ou non à la valeur d'attractivité de la catégorie, on partira du principe que $v = 1$, de manière à ce que les valeurs de masse prises en compte soit effectivement celles qui ont été accordées au départ ($5 \times 1 = 5$).



Mais, s'il est aisé de saisir l'intérêt de la pondération v dans la calcul des potentiels, il est plus ardu de la calculer sur le plan pratique. En effet, jusqu'à présent, l'espace utilisé, c'est-à-dire le carroyage de n cellules ne contient qu'une information unique : la catégorie d'occupation du sol. Or, si le fait d'affecter une valeur de masse m à chaque catégorie ne pose pas de

problème, il est plus délicat, en conservant le même espace, de doubler cette information d'un coefficient v , qui de surcroît n'intervient plus au niveau des catégories, mais bel et bien au niveau individuel de chaque cellule. Ce problème nous oblige à ne plus considérer l'ensemble des informations sur une couche unique indiquant l'occupation du sol, mais à construire une seconde couche d'information contenant les valeurs de v pour chaque cellule. Par défaut, l'ensemble des valeurs de cette couche est égal à 1, ce qui revient à ne faire aucune modification quant aux résultats obtenus lors du calcul des potentiels. Ponctuellement, cette couche pourra ensuite être modifiée avec des valeurs de pondération, afin de mieux exprimer l'attractivité présumée de chaque cellule, en fonction de sa nature ou de son type à l'intérieur de sa catégorie d'occupation du sol.

Néanmoins, si ce coefficient peut s'avérer utile dans de nombreux cas (comme en témoigne l'exemple utilisé plus haut), il ne manque pas de complexifier largement la démarche de modélisation en multipliant de façon exponentielle les possibilités de paramétrage des masses m . Si l'on pose en effet que les valeurs prises par les coefficients de pondération v peuvent varier entre 0 (cas auquel l'attractivité est rendue nulle), 1 (cas auquel l'attractivité n'est pas pondérée) et 2 (cas auquel l'attractivité est multipliée par deux), il existe non plus 10 valeurs de masse m pour chaque cellule, mais $10 \times 3 = 30$ valeurs pondérées $v.m$ possibles. Si l'on ne se contente pas de nombres entiers pour paramétrer la pondération, mais que l'on utilise des nombre réels de manière à travailler avec plus de nuances, on obtient une infinité de possibilités ... ce qui peut amener à perdre le fil de la modélisation, en ne comprenant plus bien la signification des résultats obtenus. Aussi, il convient de ne pas abuser de ces possibilités intervenant au niveau de la cellule, et de limiter le nombre de valeurs de pondération. Parallèlement, précisons que, sous réserve que les données existent et soient disponibles, la pondération peut également se faire par rapport à des variables thématiques. La masse d'une route, par exemple, pourrait très bien être modifiée en fonction du nombre de véhicules qui l'emprunte tous les jours, comptabilisés par la Direction Départementale de l'Équipement. Des zones bâties pourraient également être pondérées par la population qui y habite, etc. L'introduction de la variable de pondération v offre donc un large panel de possibilités qui démultiplie les considérations thématiques et les hypothèses que l'on pourra formuler à propos du processus étudié.

2.1.3. A propos de la contrainte k

Jusqu'ici, le paramétrage du modèle de potentiel a fait intervenir des critères d'attractivité, présumés par les utilisateurs du modèle. Mis à part pour l'occupation du sol, qui est issue des cartes topographiques, le modèle ne tient donc pas compte de la réalité du terrain, et des possibilités de modification qui y sont prévues. On peut lui reprocher, par exemple, de faire fi de la réglementation applicable à l'espace que l'on modélise. Or, dans le cas d'une simulation portant sur la croissance urbaine, et donc sur la construction des zones

périurbaines, la réglementation en matière d'urbanisme joue un rôle fondamental, puisqu'en France, sauf contre-ordre, une interdiction de construire s'applique dans plusieurs cas. On peut en effet estimer avec A.M. Mesnard (1991), malgré les problèmes que pose l'étalement urbain, que le cadre juridique utile à la prévision et à la gestion du développement urbain est aujourd'hui « complet et bien établi », même si la réflexion sensée le mettre en place ne peut se dispenser d'un exercice de modélisation prospective. Par l'intermédiaire des permis de construire et la qualification des terrains à bâtir (dont découle pour une part leur valeur foncière ; cf. code de l'expropriation), par exemple, mais aussi par l'intermédiaire des POS et PLU et des schémas directeurs ou des SCoT lorsqu'ils existent, le droit de l'urbanisme permet aux acteurs territoriaux de se porter garants d'une construction urbaine cohérente. On peut insister, par exemple, sur le fait que certains équipements, notamment les voies de desserte, doivent être suffisants pour qu'un terrain soit classé constructible (article R. 111-4 du code de l'urbanisme) , tout comme ses équipements publics et ses réseaux divers (article L. 13-15 du code de l'expropriation), sa proportion d'espaces verts (article R. 111-7) et son alimentation en eau potable, sa connexion au réseau d'évacuation, d'épuration et de rejet des eaux usées.

Trois documents majeurs éclairent généralement sur les restrictions réglementaires à prendre en compte : les servitudes d'utilité publique, les plans d'occupation du sol (POS) devenus plan locaux d'urbanisme (PLU), et en l'absence de POS ou de PLU (ce qui est rare pour les agglomérations importantes), le règlement national de l'urbanisme (RNU). Les servitudes d'utilité publiques⁸ visent à permettre, quelles que soient les décisions prises en matière d'urbanisme, à certaines institutions d'intérêt public de pouvoir fonctionner (canalisation souterraines pour la distribution d'eau par exemple). Ces servitudes sont assez nombreuses sur le territoire ; elles interdisent tout type de construction, interdiction qui est généralement reprise dans les PLU, s'ils existent. Les POS contribuent ensuite à zoner le territoire en fonction de la destination prévue des terrains. Plusieurs zones prévues par les POS sont remarquables et l'on peut citer trois exemple : 1. Les zones NC sont des zones de richesses naturelles, « à protéger en raison notamment de la valeur agricole des terres ou de la richesse du sol ou du sous-sol, à l'intérieur desquelles seules les constructions liées directement à l'activité agricole ou l'agrandissement et l'amélioration des bâtiments existants pourront être autorisées » (Liard, 1985) ; 2. Les zones ND sont des « zones à protéger en raison de l'existence de risques ou de nuisances, de la qualité des sites, des milieux naturels, des paysages et de leur intérêt, notamment du point de vue esthétique ou écologique, qu'ils appartiennent à des zones naturelles ou des zones urbaines » (Liard, 1985) ; 3. Enfin, les POS inscrivent également des zones d'urbanisation future, les zones NA, qui « touchent essentiellement les terrains rendus, au moment de l'élaboration des POS, inconstructibles du

⁸ Les servitudes d'utilité publiques sont des limitations administratives du droit de propriété et d'usage du sol. Elles sont visées par l'article L. 126-1 du code de l'urbanisme. Mises en œuvre par les services de l'Etat, elles s'imposent aux autorités décentralisées lors de l'élaboration des documents d'urbanisme. Il y a obligation pour le POS de respecter les servitudes.

fait de l'absence ou de l'insuffisance d'équipements publics (voirie et réseaux divers, eau, assainissement, etc.) » (Liard, 1985). Ces zones correspondent donc à des réserves de terrain qui seront bâties en priorité quand les infrastructures nécessaires y auront été développées. On voit donc bien à travers ces exemples, que comme pour le précédent cas de la pondération et son coefficient v , trois cas sont globalement possibles dans le cadre des contraintes de la réglementation : **soit la construction est interdite, soit elle est favorisée, soit aucune mesure particulière ne s'applique. Pour tenir compte de ces trois cas de figure, on peut introduire un nouveau coefficient dans la formule du potentiel : le coefficient de contrainte réglementaire k .** Néanmoins, comme v , k n'intervient plus ici en lien avec les catégories d'occupation du sol, mais est directement lié aux cellules en fonction de leur classement au POS. On peut donc le faire intervenir comme un coefficient final, qui multiplie la valeur de potentiel préalablement calculée. On obtient alors la formule suivante :

$$P_i = \left(\sum_{j=1; j \neq i}^n \frac{v_j \cdot m_j}{d_{ij}} + \frac{v_i \cdot m_i}{1/2rs} \right) \cdot k_i$$

Avec : k_i = contrainte réglementaire de la cellule i

Ainsi, on posera que k peut prendre trois valeurs différentes. Tout d'abord, $k = 1$ signifie qu'aucune contrainte réglementaire n'est prise en compte pour la cellule i concernée. Sa valeur de potentiel est alors multipliée par 1, ce qui, comme précédemment, ne change rien au calcul. Ensuite, $k = 0$ signifie qu'une contrainte réglementaire forte interdit toute construction sur la cellule i . La valeur de potentiel de cette cellule est alors multipliée par zéro et annulée, ce qui contribue à ne pas la prendre en compte dans une simulation portant, par exemple, sur l'expansion bâtie des zones urbaines périphériques. Enfin, cas le plus complexe, on a vu que le POS prévoyait l'urbanisation prioritaire de certaines zones (zones NA). Dans ce cas, il ne s'agit plus, comme précédemment d'annuler les valeurs finales de potentiel, mais au contraire de les augmenter de façon à ce que deux cellules parfaitement comparables sur le plan des masses pondérées des cellules voisines et des distances qui les séparent ne se retrouvent pas avec la même valeur de potentiels, mais que celle qui se situe en zone NA soit privilégiée, avec un potentiel plus fort. Dans ce cas, on déterminera pour ces cellules un coefficient $k > 1$. **La contrainte k est donc le dernier coefficient du modèle de potentiel, qui permet d'affiner son paramétrage afin de prendre en compte la réglementation en vigueur.**

2.2. L'exemple de Beispielstadt

Pour bien comprendre le modèle de potentiel, ses options, ses implications et les problèmes qu'il pose, on peut reprendre l'exemple de la ville de Beispielstadt tel qu'il avait été laissé au

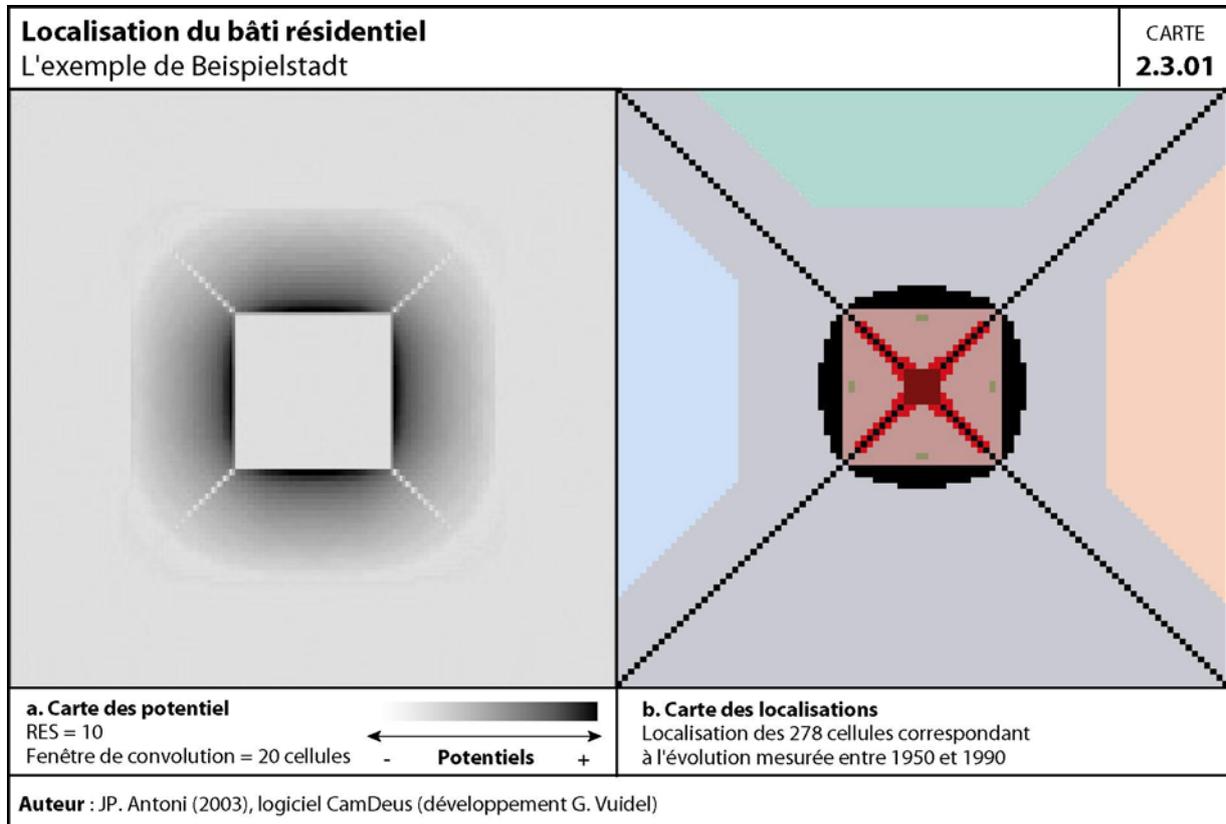
Chapitre 2.2, c'est-à-dire juste après que le modèle de transition ait été paramétré. Ce modèle avait justement montré, que si l'on suit, dans le futur, les tendances observées dans le passé, en les pondérant par une volonté politique de limiter l'expansion urbaine sous la forme de maisons individuelles périphériques au profit d'une reconsidération du centre historique, 278 nouvelles cellules d'habitat résidentiel devraient être créées à la prochaine itération, c'est-à-dire à l'horizon 2030. Cet exemple n'a évidemment que peu de signification thématique ; il est surtout intéressant pour l'illustration qu'il offre de l'utilisation du premier modèle. Sans plus de prétention, on peut alors l'utiliser également pour illustrer le modèle de potentiel, qui peut servir à localiser les 278 cellules RES ou les 64 cellules IND déterminées lors de la première étape. Comme précédemment, l'idée consiste à construire des scénarios qui serviront à paramétrer le modèle.

2.2.1. Continuation de tendance

Le premier scénario est un scénario du type « continuation de tendance ». Il postule donc que les évolutions futures seront sensiblement identiques aux évolutions passées. L'historique et la comparaison des deux cartes présentant la ville de Beispielstadt vont alors apparaître très intéressants pour déterminer les paramètres du potentiel. En effet, on a vu (chapitre 2.2) que l'évolution spatiale de la ville suivait une forme géométrique, et que chaque catégorie d'occupation du sol suivait une logique propre. Les industries et les zones d'activités, par exemple, ont dès le départ cherché à se rapprocher des voies de communication. Celles qui ont suivi se sont rapprochées de celles qui étaient déjà installées, jusqu'au moment où la congestion et le manque de place en ville ont favorisé la création de zones d'activités en périphérie. Dans le cas des industries et des zones d'activités, ce sont donc trois catégories d'occupation du sol qui apparaissent déterminantes dans les choix de localisation : les routes (ROU), les industries et zones d'activités elles-mêmes (IND), et les périphéries, que l'on peut prendre en compte ici en considérant les champs (CHA). Il est donc important d'affecter des coefficients de masse m importants à chacune de ces catégories. Mais, il est important également de tenir compte du fait que les cellules CHA sont beaucoup plus nombreuses que les cellules ROU ou IND. On ne peut donc leur accorder la même valeur, dans la mesure où ceci contribuerait à surestimer très largement l'importance des champs dans les choix de localisation (c'est la conséquence de la prise en compte obligatoire de la surface des objets géographiques, due au fait que l'espace considéré soit un espace cellulaire). Aussi, pour tenter de reproduire ce qui s'est passé entre 1950 et 1990 à Beispielstadt, on peut proposer de tester les coefficients $IND = 10$, $ROU = 10$ et $CHA = 1$, pour tenter de localiser les 64 cellules localisées par la chaîne de Markov.

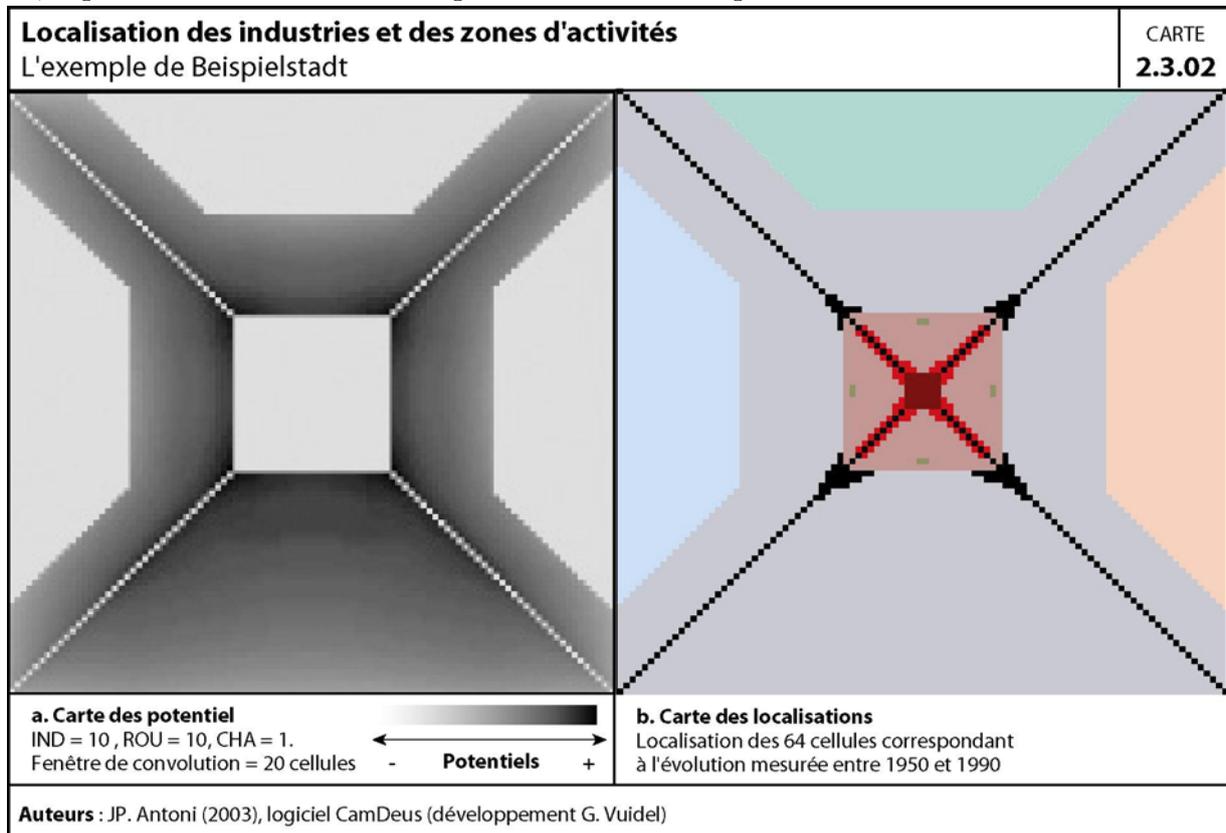
Les résultats de ces coefficients sont présentés sur la carte des potentiel (Carte 2.3.01), qui correspond aux localisations figurées en noir sur la Carte 2.3.01. Si l'on compare cette dernière carte à la carte de la ville en 1990, on constate que les cellules IND y sont

relativement bien localisées puisqu'elle correspondent à la fois à l'emplacement et à la configuration que présente la carte de Beispielstadt en 1990 (Carte 2.2.02).



On peut également tenter le même type de localisations pour les cellules de bâti résidentiel, c'est-à-dire les cellules codées RES. La tâche est néanmoins plus ardue. On voit bien en effet en comparant les cartes de 1950 et de 1990, que l'évolution du bâti résidentiel suit une tendance bien plus géométrique que les industries et qu'il est difficile de visualiser l'élément duquel elles cherchent à se rapprocher, si ce n'est le bâti résidentiel lui-même. Mais, en utilisant uniquement une masse forte liée aux cellules RES, il est très difficile de reproduire ce qui s'est passé à Beispielstadt (Carte 2.3.02) : la localisation prend nécessairement une forme circulaire, qui est directement liée au fait que les potentiels tiennent compte de la friction de la distance. Reproduire une forme géométrique carrée apparaît donc comme une gageure pour ce modèle, ce qui peut s'expliquer par le fait que finalement, la forme de Beispielstadt ne soit pas une forme « naturelle », mais une forme liée à une volonté ou un état d'esprit, celle de construire une ville selon la forme d'un carré, inspirée par la tradition allemande fortement présente chez les édiles de la ville. Aussi, tout ce passe comme si une certaine contrainte poussait la ville à se circonscrire dans un carré faisant partie de l'imaginaire des habitants. Le modèle de potentiel dispose justement d'un coefficient permettant de tenir compte de ce type de contrainte. Ainsi, si nous connaissons le modèle originel, c'est à dire le carré, il est tout à fait possible de le superposer aux résultats du modèle de potentiel, de manière à ce que les seconds tiennent compte du premier. Pour ce faire, on crée alors une

sorte de masque carré sur une nouvelle couche d'information géographique. Les valeurs de ce masque vont correspondre aux coefficients de contrainte k , c'est-à-dire qu'elles vont multiplier les valeurs de potentiel. On pose alors que toutes les valeurs de la couche sont égales à 1 (ce qui ne change rien aux résultats), sauf celles du masque carré qui sont égales à 2 (et qui contribueront donc à amplifier les valeurs de potentiel des cellules contenues dans



le carré correspondant au plan projeté de la ville).

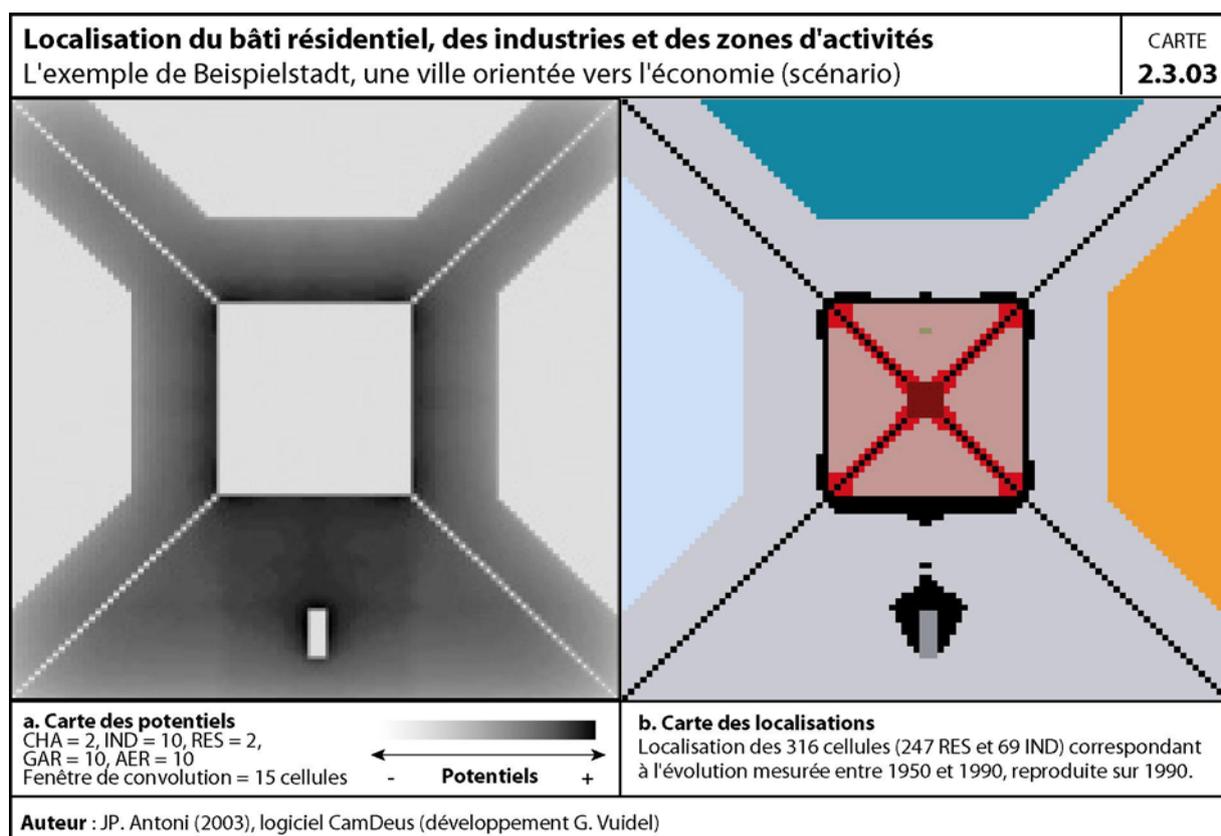
Dans sa version complète, c'est-à-dire avec l'ensemble de ses coefficients, notamment la contrainte k , le modèle de potentiel est donc capable de reproduire une forme ou une localisation, en fonction des valeurs de masse m affectées à chaque catégorie d'occupation du sol. Mais, si le cas de Beispielstadt est relativement simple, ces masses m sont parfois très difficiles à déterminer, et il n'est pas toujours aisé de reproduire ainsi des formes passées. De nombreux essais empiriques successifs sont souvent nécessaires, et ils ne reproduisent que très rarement la forme souhaitée avec exactitude.

2.2.2. Beispielstadt : une ville orientée vers l'économie

Théoriquement, ce problème ne se pose pourtant pas si l'on ne cherche pas à reproduire une forme passée, mais si l'on cherche le résultat d'un scénario prospectif imaginé parce qu'il peut correspondre à une éventuelle réalité future. C'est dans ce cadre que l'on peut

essayer de voir, par exemple, quelle serait la forme que la ville prendrait si soudainement, ses habitants oubliaient la forme carrée habituelle, pour localiser leur habitat selon de nouveaux critères. Dans un premier scénario, on peut alors imaginer que ces nouveaux critères sont exclusivement liés au monde de l'économie, et donc au monde du travail. La ville de Beispielstadt re-concentre ses forces vives en matière de production agricole et industrielle, et contribue ainsi à générer une forte demande d'habitat à proximité des sources de travail, c'est-à-dire essentiellement des zones d'activités, des industries et des champs.

Pour simuler un tel scénario à l'aide du modèle de potentiel, posons alors que seules quelques catégories d'occupation du sol ont une masse significative. Ce sont d'abord les industries (IND) et les champs (CHA), parce qu'ils concentrent les activités économiques. Ce sont ensuite les différents moyens de communications rapides permettant l'exportation des marchandises produites à Beispielstadt, c'est-à-dire essentiellement la gare (GAR) et l'aéroport (AER). Pour les mêmes raisons de surface incomparable que précédemment, on ne peut cependant leur accorder la même valeur de masse : il est nécessaire de privilégier les champs. On évaluera alors à 10 la masse des cellules IND, et à 2 la masse des cellules CHA. L'aéroport et la gare ont quant à eux une surface suffisamment faible pour qu'on leur accorde également la masse maximale de 10. Ainsi, quatre coefficients de masse suffisent théoriquement à paramétrer le modèle de potentiel pour une simulation liée à un scénario « économique ».



Mais, ces seuls paramètres ne suffisent pourtant pas à créer une image cohérente : ils ne tiennent pas compte du facteur important qu'est la ville en elle-même. Car en effet, il est délicat de tenter de localiser des cellules d'habitat résidentiel ou de zones d'activités sans tenir compte des cellules qui appartiennent déjà à cette catégorie, ne serait-ce que pour la simple nécessité d'agglomération à laquelle oblige le nécessaire raccordement aux réseaux. Pour ces problèmes, essentiellement techniques, il est impossible de construire sur une parcelle au milieu des champs ; les raccordements ne sont possibles qu'à proximité de zones déjà construites. Ainsi, pour que le modèle de potentiel ne positionne pas les cellules n'importe où dans l'espace, en simple regard avec les proximités indiquées par les masses précédemment déterminées, on peut ajouter une masse à l'habitat résidentiel, qui aura pour effet de contraindre l'urbanisation à rester groupée autour de ce qui est déjà construit, et ainsi, pour une part au moins, à assurer la continuité de la forme urbaine pré-établie. Compte tenu du fait que les cellules RES sont relativement nombreuses, et qu'elles sont codées plus pour caler le modèle que pour l'attractivité qu'on leur accorde, il est possible de se contenter d'une masse relativement faible, disons de 2. Les résultats de cette simulation sont présentés sur la Carte 2.3.04. Cette carte montre bien la logique qui existe entre les paramètres choisis et les résultats cartographiques obtenus.

En effet, on voit bien sur la Carte 2.3.03 que les 316 cellules nouvellement positionnées (correspondant à 247 cellules de catégorie RES et 69 cellules de catégorie IND obtenues en utilisant la matrice de transition mesurée entre 1950 et 1990 sur la configuration de la ville de 1990) prennent effectivement majoritairement place à proximité des éléments à forte masse. L'évolution de l'urbanisation se fait donc principalement à trois endroits. D'abord, les quatre angles correspondant aux zones d'activités accueillent le plus petit nombre de cellules nouvelles ; ceci montre bien que la proximité recherchée est bien une proximité liée à ces zones et à l'industrie. Ensuite, le Sud de la ville apparaît bien plus urbanisé que le Nord, pour tenir compte de la proximité des nouvelles cellules avec les champs, majoritairement situés au Sud. Enfin, la zone de l'aéroport est également urbanisée de façon importante, ce qui montre bien l'importance à la fois des champs et de l'aéroport en lui-même. Ainsi, on apprend en découvrant ce scénario que **le modèle de potentiel se révèle efficace pour localiser des cellules en tenant compte d'une multitude de proximités et de cas de figures, tous résumés dans les trois conditions propres aux interactions spatiales : la complémentarité, l'absence de substitution et le friction de la distance. La réunion de ces trois conditions permet alors de déterminer des localisations, choisies en fonction de proximités à plusieurs éléments**, qui correspondent soit à des éléments qui ont été déterminants dans le passé, soit à des éléments que l'on pense déterminants dans l'avenir. Dans ce cadre, le modèle permet bien de tester des scénarios, et s'apparente à un outil de prospective territoriale.



Utilisé dans le cadre de la localisation de l'étalement urbain, le modèle de potentiel montre que, par l'intermédiaire d'une équation très simple, il est possible de faire correspondre la considération théorique d'un phénomène avec une formule mathématique dont chaque élément a une signification concrète. Ici, l'idée d'interaction est introduite par les valeurs de masse m , et le seuil de proximité par une friction de la distance, qui consiste à diviser l'interaction par la distance qu'il est nécessaire de parcourir pour la réaliser. Par cet intermédiaire, on confirme alors l'hypothèse h_2 que **les changements urbains ne se répartissent pas aléatoirement dans l'espace : ils sont contraints par les structures existantes, notamment le bâti et les réseaux, qui interviennent avec des forces différentes⁹ ; les trois notions de complémentarité, de friction de la distance et de modèles de substitution (*intervening opportunities*) permettent de prendre en compte ces contraintes**. Ainsi, le modèle de potentiel présente l'avantage d'être fortement lié à la théorie qui le sous-tend, et également d'être facilement interprétable, même par des personnes ne disposant que d'un bagage mathématique réduit ; sa simplicité, particulièrement s'il est expliqué par l'intermédiaire de la notion d'attractivité¹⁰ le rend utilisable par des aménageurs et des élus. Il apparaît alors comme une plate-forme possible pour une discussion sur la manière de concevoir l'espace urbain, ses interactions et ses potentiels. Il ressort ainsi réellement comme un modèle opérationnel. De surcroît, si le modèle de potentiel est efficace pour révéler la logique des localisations de l'étalement urbain, il possède également un caractère prospectif qui rend les simulations possibles. Le modèle peut en effet être paramétré avec des coefficients de masse variés, qui correspondront à l'attractivité présumée des différents éléments urbains, en accord avec tel ou tel scénario qu'il convient de tester. Mais, dans ce cadre prospectif, les simulations ne peuvent se soustraire à certain nombre de cas de figures particuliers liés à la réglementation de l'urbanisme. Ainsi, le modèle final est complété d'un coefficient k qui tient compte de documents réglementaires, notamment des PLU, de manière à interdire l'expansion de l'urbanisation dans les zones où le règlement l'interdit, et à la favoriser dans les zones où il la favorise. Mais, *in fine*, si le modèle de potentiel permet effectivement de localiser les changements urbains, il ne dit rien sur la nature de ces changements, exactement comme précédemment, les chaînes de Markov informaient sur la quantité de changements, sans préciser leur localisation. Il demande donc également à être complété par une étape supplémentaire.

⁹ La confirmation de cette hypothèse sera encore renforcée dans la troisième partie, dans laquelle des tests effectués sur la ville de Belfort montrent que le modèle de potentiel permet de reproduire correctement l'expansion urbaine mesurée entre 1975 et 1995 si les coefficients de masse m sont affectés de façon différentielle aux différentes catégories d'occupation du sol.

¹⁰ de type : « la zone au plus fort potentiel est celle qui est la plus proches des zones les plus attractives, toutes confondues »

Références bibliographiques

- Abler R., Adams J.S, Gould P., 1972, *Spatial Organization. The Geographer's View of the World*, Prentice / Hall International, 587 pages.
- Akwawua S., Pooler J.A., 2001, The development of an intervening opportunities model with spatial dominance effects, *Journal of geographical systems*, vol. 3, n°1, pp. 69-86.
- Anselin L. Getis A., 1993, *Spatial statistical Analysis and geographical Information Systems*. In : Fischer M.M., Nijkamp P. (ed.), 1993, *Geographical Information System, Spatial Modelling and Policy Evaluation*, pp. 35-49.
- Chorley R.J., Haggett P. (ed.), 1967, *Models in Geography*, Methuen and Co Ltd., 816 pages.
- Claval P., 1981, *La logique des villes. Essai d'urbanologie*, Ed. Litec, 633 pages.
- De Vries J.J., Nijkamp P., Rietveld P., 2001, Alonso's Theory of movements : developments in spatial interaction modelling, *Journal of geographical systems*, Vol. 3, n° 3, pp. 233-256.
- Donnay J.C., 1992, *Développement urbain*, Université de Liège.
- Elliott P., Wakefield J., 2000, *Spatial Epidemiology. Methods and Applications*, Oxford University Press.
- Garner B., 1967, Models of urban geography and settlement location. In : Haggett P., Chorley R.J., 1967, *Models in Geography*, The Trinity Press, pp. 303-360.
- Gould P., 1992, *Epidémiologie et maladie*. In : Bailly A., Ferras R. Pumain D., 1992, *Encyclopédie de géographie*, Chapitre 53, Economica, pp. 949-969.
- Grasland C., 1994, *Limites politiques et barrières migratoires : l'exemple de l'ex-Tchécoslovaquie de 1961 à 1990*. In : Gallusser W., 1994, *Political Boundaries and Coexistence*, UGI.
- Grasland C., Guérin-Pace F., 2003, *A simulation model of Euro Coins Diffusion*, Paper presented at the 13th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography, 5-9 september 2003, Lucca, Italy, 19 pages.
- Grasland C., Guérin-Pace F., Garnier B., Tostain A., 2002a, *L'euro gagne du terrain*, *Pour la science*, n° 381, pp. 10-11.
- Grasland C., Guérin-Pace F., Tostain A., 2002b, *La circulation des euros. Reflet de la circulation des hommes*, *Population et société*, INED, n° 384, 4 pages.

- Haggett P., 1973, *L'analyse spatiale en géographie humaine*, Armand Colin, Coll. U, 390 pages.
- Haggett P., Cliff A., Frey A., 1965, *Locational Analysis in Human Geography*, Second edition, Edward Arnold Ltd., 605 pages.
- Hamilton F.E.I, 1967, Models of Industrial Location. In : Chorley R.J., Haggett P. (ed.), 1967, *Models in Geography*, pp. 361-424.
- Harvey D., 1967, *Models of the Evolution of Spatial Patterns in Human Geography*. In : Chorley R.J., Haggett P. (ed.), 1967, *Models in Geography*, pp. 549-608.
- Helvig M., 1964, *Chicago's external Truck Movements : Spatial Interactions between the Chicago Area and its Hinterland*, University of Chicago, Department of Geography, Research paper n° 90, 132 pages.
- Liard J.J., 1985, *La pratique du POS décentralisé*, Edition du Moniteur, 175 pages.
- Lösch A., 1954, *The Economics of Location*, New Haven.
- Mach E., 1942, *The science of Mechanics*, La Salle, Illinois.
- Maury J.P., 1990, *Newton et la mécanique céleste*, Gallimard, Coll. Découverte, 144 pages.
- Meinig D.W., 1962, A comparative historical Geography of two Railnets : Columbia Basin and South Australia. In : *Annals of the Association of American Geographers*, n° 52, pp. 394-413.
- Meinke D., 1970, Gravitations und Potentialmodelle. In : *Adwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung*, Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Gebrüder Jänecke Verlag, Vol. 1, pp. 1048-1060.
- Mesnard A.H., 1991, Prévoir et gérer le développement urbain, *Territoires*, n° 318, mai 1991, pp. 41-44.
- Mumford, L., 1961, 1964, *La cité à travers l'histoire*, Seuil, 777 pages.
- Putman S.H., 1979, *Urban residential location models*, Martinus Nijhoff Publishing.
- Ravenstein E.G. , 1885, 1989, The laws of migration, *Journal of the Royal Statistical Society*, 48, pp. 241-305.
- Rousselet C., 1998, *Calibrage du modèle de potentiel aux images de télédétection. Applications urbaines et régionales*, Mémoire de licence, Université de Liège, Faculté des Sciences, Sciences géographiques, 90 pages.

Sheppard E.S., 1979, Gravity Parameter Estimation, *Geographical Analysis*, vol. 11, n°2, april 1979, pp. 120-132.

Stewart J.Q., Wantz W., 1949, Some parameters of the geographical distribution of population, *Geographical review*.

Stouffer S.A., 1940, Intervening Opportunities : A theory relating to Mobility and Distance, *American Sociological Review*, V, n°6, pp. 845-867.

Stouffer S.A., 1960, Intervening opportunities and competing migrants, *Journal of regional science*, n°2, pp. 1-26.

Tobler W., 1976, Spatial interaction patterns, *Journal of Environmental Systems*, Vol. 6, 4, pp. 271-301.

Ullman E.L., 1957, *American Commodity Flow. A geographic Interpretation of Rail and Water Traffic based on Principles of Spatial Interchange*, University of Washington Press, Seattle.

Weber C., 1998, *La croissance urbaine de Kavala. Evolutions et perspectives*, Société française de photogrammétrie, n° 151, pp. 29-39.

Weber C., Hirsch J., 1997, Potential model applications in planning issues, *Proceedings of the 11th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography*, Durham Castle, City of Durham, UK, September 3-7, 1999.

Zipf K.G., 1949, *Human Behaviour and the Principle of Least Effort. An introduction to Human Ecology*, Hafner P. (reprinted 1965), 573 pages.

Chapitre 2.4

Différencier les changements urbains : les automates cellulaires

A cette étape de la modélisation, les changements urbains sont quantifiés et localisés selon leurs plus fortes probabilités d'occurrence, en correspondance avec un scénario testé qui détermine les valeurs des coefficients de chaque paramètre. Toutefois, une question reste en suspens : de quelle nature sont ces changements ? Autrement dit, quelle est la catégorie d'occupation du sol des cellules quantifiées et localisées ? Pour répondre à cette question, on pose l'hypothèse h_3 **que les cellules ainsi déterminées se différencient par un changement de leur occupation du sol : elles peuvent correspondre à du bâti collectif, du bâti individuel, à des équipements, des structures d'encadrement, etc. Ainsi, la dernière étape de la modélisation consiste à différencier les dynamiques de l'étalement urbain en déterminant la catégorie d'occupation de sol de chacune des cellules qui n'a pas encore été identifiée.** Or, la définition théorique de l'étalement urbain insiste sur l'importance du voisinage pour ce type de choix. On a vu, par exemple, que l'un des facteurs de choix de localisation propre à l'étalement urbain consistait à se situer à la fois proche de la nature et de la ville, ou d'une infrastructure permettant d'y mener ; on a vu également que le syndrome NIMBY (*Not in my Backyard*) consistait à sélectionner son voisinage selon un mode ségréatif. Le problème consiste donc ici à permettre à une cellule dont la catégorie d'occupation de sol n'est pas encore déterminée d'en choisir une en fonction de son voisinage. La récente famille d'outils issus de l'intelligence artificielle distribuée, et en particulier les systèmes fonctionnant selon des processus parallèles, semblent tout à fait à même de résoudre ce type de problèmes. Généralement, on estime qu'il existe trois types de systèmes de ce type, que l'on désigne par l'expression *Neurocomputing* dans le monde anglo-saxon (Fischer *et al.*, 2001) : les réseaux de neurones (NN pour *Neural Networks*), les

automates cellulaires (AC) et les systèmes multi-agents (SMA). Le principe des réseaux de neurones, que l'on appelle également réseaux neuronaux, permet aux objets de construire eux-mêmes les règles qui détermineront leur comportement, à partir de l'observation de leur voisinage. Dans notre cas, ils sont certainement le moins bien adaptés des trois outils de la famille *Neurocomputing*. En effet, d'une part, la base de données dont nous disposons n'est constituée que de trois dates, et n'offre pas la matière suffisante à l'auto apprentissage de règles. D'autre part, s'il est intéressant de constituer de telles règles issues de l'observation du voisinage, celles-ci peuvent également se déduire d'un scénario. On se retrouve donc dans un cas de figure à peu près identique à celui qui nous avait amené à privilégier les chaînes de Markov par rapport à la méthode des trajectoires (Chapitre 2.2). Ici, les systèmes multi-agents paraissent en effet plus adaptés pour traiter le problème que les réseaux de neurones, notamment parce qu'ils prennent en compte le voisinage de manière plus spontanée, et fonctionnent à partir de règles énoncées par l'utilisateur. Toutefois, l'espace de travail fourni par la base de données est un espace cellulaire. Chacune des cellules peut être considérée comme un agent avec un degré minimum d'intelligence donné par une règle, en l'occurrence une règle de transition, qui l'oblige, le cas échéant, à changer de catégorie d'occupation du sol. L'ensemble « cellule + voisinage + règle » permet alors de différencier les dynamiques de l'étalement urbain. Mais, la position des agents dans l'espace est déterminée au départ par la grille cellulaire (que nous appellerons configuration) et aucun n'est censé se déplacer. Seules les catégories d'occupation du sol qui leur sont affectées peuvent évoluer. Aussi, plutôt qu'un système multi-agents, il est tout à fait possible d'utiliser des automates cellulaires dans la mesure où ceux-ci ne sont finalement rien d'autre que des SMA localisés qui, justement, n'ont pas la possibilité de déplacer leurs agents.

1. Les automates cellulaires : nouvelle génération de modèles

On peut lire ce texte sur Internet, qui introduit les travaux du groupe Cassini-Sigma (thème 2), coordonnés par L. Sanders et D. Josselin¹ : « à côté des approches mathématiques classiques se sont développés des modèles fondés sur la théorie du jeu et l'intelligence artificielle dont l'objectif est de simuler des automates ou des agents autonomes et évolutifs en situation d'interaction mutuelle. Ces nouveaux outils ont souvent été appliqués en remplacement des plus classiques alors qu'il s'agit aujourd'hui de mieux utiliser leurs complémentarités par des combinaisons adéquates [...]. Dans la simulation de la dynamique d'un système spatial on peut associer des systèmes d'équations différentielles, des automates cellulaires et des systèmes multi-agents suivant la nature du processus et des interactions en jeu. Ici encore l'enjeu le plus important n'est pas seulement de résoudre les questions techniques d'interface, mais de les lier aux questions conceptuelles et thématiques que de

¹ <http://cassini.univ-lr.fr/Pages/theme2.htm>

telles combinaisons nécessitent de régler ». Ce texte correspond pleinement aux principes et aux enjeux de la démarche que nous développons ici.

1.1. Les automates cellulaires : des modèles riches

Dans notre cas, en effet, les chaînes de Markov, comme le modèle de potentiel apparaissent comme des approches mathématiques classiques de la géographie, et les coupler avec des automates cellulaires peut apparaître fort intéressant pour répondre à une problématique précise. Mais, issus de l'intelligence artificielle distribuée, les automates cellulaires sont des modèles extrêmement riches... et de ce fait, délicats à définir, dans la mesure où leur souplesse leur permet de contenir presque tout et n'importe quoi. Aussi, il est même presque difficile de parler des automates sans focaliser spécifiquement sur l'une ou l'autre de leurs particularités. C'est ce à quoi s'attache ce chapitre : **décrire les automates cellulaires non pas pour ce qu'ils sont ou ce qu'ils peuvent être (bien que ces éléments de définition soient nécessaires) mais pour l'intérêt qu'ils apportent en tant que troisième étape de la modélisation** des dynamiques urbaines et de l'étalement urbain.

1.1.1. De l'intelligence artificielle ...

C'est au 19^{ème} siècle, quand G. Boole conçoit les lois de la logique et que C. Babbage invente sa « machine analytique » (en 1842) que, pour la première fois on touche à un principe proche de l'intelligence artificielle. Celle-ci ne naîtra pourtant réellement qu'au milieu du 20^{ème} siècle, avec les travaux de A. Turing (la machine de Turing date de 1936), la cybernétique (née aux alentours de 1943, avec notamment les travaux de N. Wiener) qui a mis en évidence les systèmes de rétroactions dans le traitement des informations par le cerveau, et surtout l'émergence de l'informatique : le principe consiste alors à utiliser l'ordinateur pour reproduire un raisonnement, comme le ferait un être humain, afin de reconnaître ou de s'adapter à certaines situations. L'intelligence artificielle naît alors véritablement en 1956, lors d'une conférence à Dartmouth (Etats-Unis) durant laquelle de nombreux scientifiques (J. McCarthy, M. Minsky, C. Shannon, par exemple) forgent le terme, malgré la résistance de certains (A. Newell et H. Simon notamment qui ont inventé, à la même époque un programme de jeu d'échecs « intelligents », le *Logic Theorist*). L'expression intelligence artificielle pose effectivement en elle-même un certain nombre de problèmes. Le mot « intelligence », d'abord, renvoie à un concept très flou, complexe et relatif (Haton, 1993) : l'intelligence est extrêmement difficile à définir. Ensuite, l'association des mots « intelligence » et « artificielle » subodore qu'il existe une intelligence « naturelle », relative à l'homme, voire aux animaux supérieurs, et « artificielle », c'est-à-dire relative à la machine. Dans ce cadre d'idées, l'objectif de l'intelligence artificielle consiste à copier l'intelligence naturelle de façon artificielle, afin de l'introduire dans des machines, qui deviennent dès lors

capables d'un comportement intelligent. Dès 1950, le mathématicien A. Turing propose un test permettant de savoir si oui ou non une machine peut être considérée comme intelligente, et montre ainsi l'intérêt que l'on porte, à cette époque, à créer des machines intelligentes. **La majorité des définitions de l'intelligence artificielle vont dans ce sens : pour J. Haugeland (1985), c'est un « effort passionnant de faire penser des ordinateurs... des machines avec des esprits, au sens figuré et au sens propre » ; pour R. Kurzweil (1990), il s'agit d'un art, celui de « créer des machines qui réalisent des actions qui requièrent de l'intelligence quand elles sont accomplies par des humains » ; pour G.F. Luger et W.A. Stubbelfield (1993), l'intelligence artificielle apparaît comme « la branche de l'informatique qui est consacrée à l'automatisation du comportement intelligent ».**

Pour atteindre cet objectif de comportement intelligent, l'intelligence artificielle a développé deux types de méthodes : la méthode experte et la méthode neuronale, qui répondent à la méthode algorithmique utilisée jusqu'alors. Pour saisir les différences qui les séparent, on peut prendre l'exemple d'une partie d'échec, en utilisant un ordinateur pour gagner la partie. Dans le cas d'une méthode algorithmique, l'ordinateur explore tous les cas possibles à chaque mouvement de pièce, en ajoutant parfois un certain nombre de tests qui lui permettront de repérer les cas probablement perdants. Le problème de cette méthode, aux échecs notamment mais également de façon générale, est qu'elle se fonde sur une exhaustivité des calculs, finalement souvent trop nombreux pour que la solution soit trouvée dans un temps raisonnable. La méthode algorithmique est donc basée sur des « recettes » reproduites pas à pas qui nécessitent l'écriture du processus à suivre pour résoudre le problème et sa transcription dans un programme informatique. Face à certains problèmes, cette opération peut être très coûteuse, voire même impossible si le processus n'est pas entièrement connu ou formalisé. Ceci découle du fait que les ordinateurs sont des machines parfaitement logiques, qui suivent à la lettre les instructions du processus ; la méthode algorithmique n'est donc possible que lorsque tous les coups ont été prévus par le développeur de l'algorithme.

Pour pallier les problèmes que la méthode algorithmique ne résoud pas, nous disposons aujourd'hui de nouveaux outils, ceux de l'intelligence artificielle (A.I.), dont les systèmes experts ont longtemps été l'application la plus connue. Dans le cas d'une méthode experte, le principe est différent puisqu'il consiste à enregistrer (dans une base de connaissance) un grand nombre de parties connues. Si l'ordinateur reconnaît l'une de ces parties, il peut alors jouer la suite des coups enregistrés. Ainsi, alors que l'algorithme déroule « bêtement » l'exploration de tous les coups permis, le système expert introduit une dose de connaissance dans le jeu. Il ne s'agit donc plus seulement d'une mécanique qui se met en marche ; elle est complétée par l'utilisation de règles de déduction qui prennent pied sur une connaissance humaine de spécialistes (les experts qui donnent leur nom à la méthode) implantée dans l'ordinateur. La méthode experte est donc basée sur une connaissance injectée dans une base de connaissance. Néanmoins, toutes les règles doivent avoir été exprimées et formalisées

préalablement au traitement ; les cas qui n'ont pas été prévus ne peuvent pas être traités correctement puisque le programme demeure un programme binaire, inscrit dans un exécution parfaitement déterministe. Certaines tâches restent donc encore impossibles avec ce type de méthodes, comme par exemple la reconnaissance de forme, la reconnaissance automatique ou la compréhension du langage. Pour résoudre ces problèmes plus complexes, on a alors cherché à **s'inspirer de la manière avec lequel le cerveau humain traite l'information, en partant du principe que la structure du système nerveux, les mécanismes mentaux, les processus neurophysiologiques, etc. sont à la base d'un comportement intelligent. Les méthodes neuronales tentent de reproduire ce comportement : ici, c'est l'ordinateur qui construit sa propre connaissance (on dit alors qu'il apprend) au fur et à mesure qu'il joue des parties, qu'il en analyse les caractéristiques et qu'il en décrypte les différences.** Après chaque partie, l'ordinateur multiplie les coups connus, et en quelque sorte, se bonifie, sans qu'aucune expertise humaine ne soit apportée. La méthode neuronale est donc basée sur une connaissance apprise, par auto-apprentissage. Mais, elle peut se construire de manière descendante ou de manière ascendante. Dans le cas de démarches neuronales descendantes, les robots ou les automates produits et programmés pour faire une chose précise ne font que répondre aux instructions qui leur ont été données ; il reflètent ainsi pleinement une démarche humaine. Dans le cas de démarches neuronales ascendantes, les robots ou les automates produits (les insectes de R. Brooks par exemple) procèdent seuls, par erreurs, échecs, apprentissage et élimination successives des éléments les moins bien adaptés. **Leur fonctionnement est à même de produire des comportements et des configurations inconnues et inattendues, qui ne reflètent pas directement le résultat d'une démarche humaine.**

Ces trois méthodes fonctionnent donc selon des approches différentes, et sont toutes les trois plus ou moins bien adaptées en fonction du problème à traiter. Souvent, elles sont utilisées de façon complémentaire. Généralement, elles suffisent à qualifier l'ensemble du corpus méthodologique désigné sous le nom d'intelligence artificielle. Mais, celle-ci est aujourd'hui complétée par une nouvelle approche qui, si elle n'en modifie pas fondamentalement le principe, en décuple les possibilités : l'intelligence artificielle distribuée.

1.1.2. ... à l'intelligence artificielle distribuée

Alors que l'intelligence artificielle classique s'intéresse à la modélisation du comportement intelligent d'un agent unique, le principe de l'intelligence artificielle distribuée consiste à passer de ce comportement individuel à un comportement collectif, afin de résoudre des problèmes plus complexes. Ceci nécessite de distribuer l'intelligence entre plusieurs entités, qui correspondent à des cellules localisées dans le cas des automates cellulaires, et à des agents dans le cas de systèmes multi-agents. L'I.A.D. s'intéresse alors aux comportements intelligents qui sont le produit de l'activité coopérative de plusieurs agents. Néanmoins, il

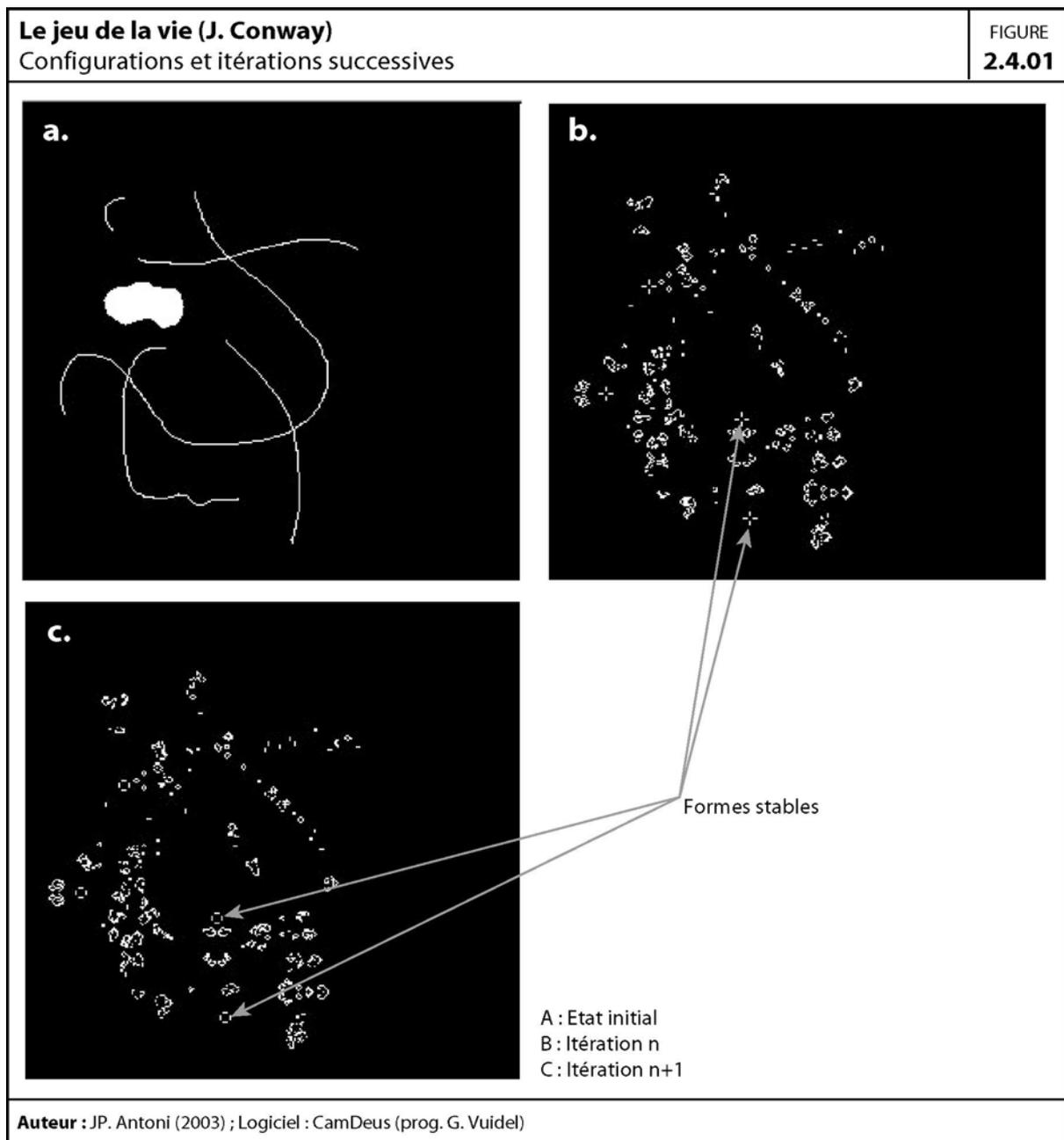
n’y a aucune définition universelle de ces agents, et celle de J. Ferber (1995) est aujourd’hui certainement la plus intéressante pour cerner ce qu’ils recouvrent : **un agent est une entité virtuelle qui évolue dans un environnement à l’intérieur duquel il peut agir, qui est capable de percevoir et de se représenter partiellement cet environnement, qui peut communiquer avec d’autres agents, et qui possède un comportement autonome qui est la conséquence de ses observations, de son savoir et des interactions avec les autres agents. Si l’on accepte cette définition, on peut admettre que les automates cellulaires sont des systèmes multi-agents, avec la particularité que leurs agents sont tous de même forme (des cellules), et sont localisés (dans une grille). Qu’est-ce alors exactement qu’un automate cellulaire ? Comme tout ce qui a très à l’IAD, ils sont difficiles à définir tant leur réalité concrète peut être multiple. Comme entrée en matière, avant de les définir formellement, on peut utiliser l’exemple du jeu de la vie de J. Conway.**

J. Conway (Conway, 1970 ; Gardner, 1970) a inventé un automate particulier qui sert d’exemple fondateur, le jeu de la vie (*game of life* ou plus simplement *life*). Cet automate a la particularité suivante que les objets qui y sont présents peuvent croître et atteindre une grande taille, sans que personne ne puisse dire de façon évidente si certains d’entre eux vont croître jusqu’à l’infini. Les règles du jeu de la vie sont extrêmement simples² : les cellules sont soit *vivantes*, soit *mortes* (il n’y a que deux possibilités). Au départ, la majorité des cellules composant l’espace cellulaire sont mortes ; seules quelques-unes sont vivantes. L’évolution de chaque cellule est alors déterminée en fonction des cellules se trouvant dans un voisinage de huit cellules adjacentes, avec les règles suivantes :

- | | |
|-----------------------|--|
| Une cellule vivante : | - reste vivante si 2 ou 3 voisines sont vivantes
- meurt autrement |
| Une cellule morte : | - devient vivante si 3 voisines sont vivantes
- reste morte autrement |

Quelle que soit la configuration de départ, c’est-à-dire l’arrangement des cellules vivantes ou mortes sur la grille, ces règles vont produire un mouvement sans fin, qui contribuera à faire vivre ou mourir continuellement des cellules. Ce jeu crée toutefois un certain nombre de formes (ou objets) stables, que l’on retrouve systématiquement. La Figure 2.4.01a, par exemple, montre une configuration de départ de cellules vivantes (en blanc) et mortes (en noir) construite au hasard. Les Figures 2.4.01b et 2.4.01c montrent cette même configuration après n itérations des règles du jeu de la vie, sur laquelle on reconnaît une forme stable (indiquée par une flèche sur les figures) à chaque itération, passant d’un carré (b) à une croix (c).

² L’anecdote dit cependant que, même si les règles du jeu de la vie sont extrêmement simples, il a fallu trois ans à J. Conway pour les mettre au point.



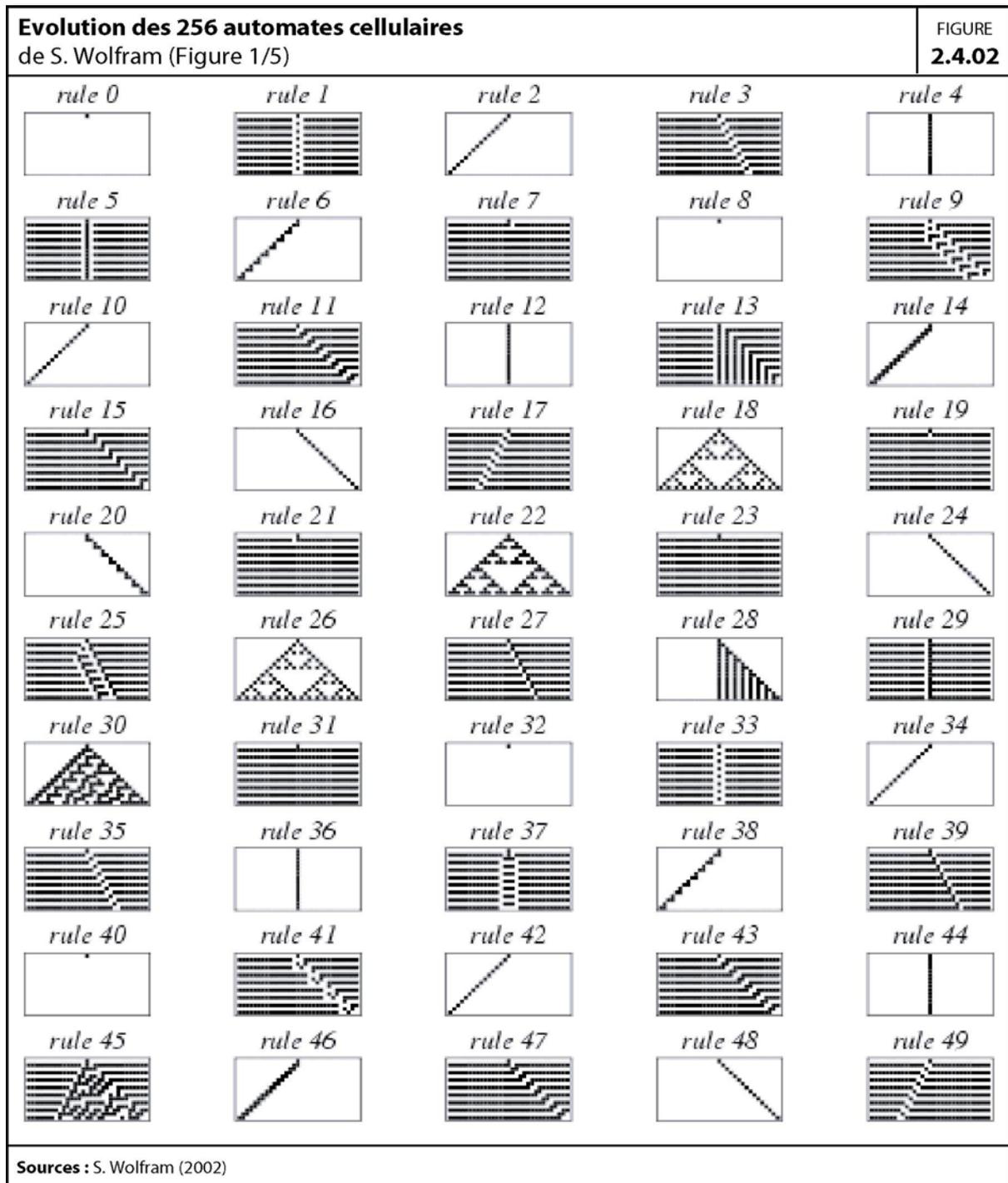
Le jeu de la vie marque ainsi un tournant important dans l’histoire de la recherche et de l’épistémologie. En effet, il ne s’agit plus ici de définir les règles et les états en fonction d’un but bien précis, mais de trouver les propriétés des automates cellulaires d’après leurs règles de fonctionnement. N. Fatès (2001), note à ce sujet que l’étude des propriétés du jeu de la vie a démarré avec celle des objets stables, que l’on a cherché à classer en fonction de leur degré de stabilité : « Les objets les plus simples à étudier sont ceux qui restent identiques à eux-même avec le temps, un bloc carré de quatre cellules par exemple. Viennent ensuite les objets dont l’évolution est périodique, nommés *oscillateurs*. L’*oscillateur* le plus simple est le clignotant ; il est composé de trois cellules alignées, et possède une période de 2. Une autre classe d’objets importants est celle des objets périodiques qui se translatent avec le temps. Le

planeur est l'exemple le plus simple et il apparaît de façon spontanée lors des simulations [...] Des noms aussi évocateurs que le *mangeur*, la *navette*, le *crapaud*, le *phare* ou le *serpent* ont été donnés (et continuent d'être donnés) aux figures stables découvertes [...] L'étude du jeu de la vie et de ces objets stables prit des proportions telles qu'en 1974, on pouvait lire dans les colonnes du magazine américain *Time* que des heures de calcul représentant des millions de dollars avaient été gaspillées par la horde grandissante des fanatiques de ce jeu ». Mais au delà du simple jeu, qu'il s'agisse d'automates cellulaires ou de systèmes multi-agents, les produits de l'IAD ont été largement utilisés pour étudier les villes. De nombreuses études et de nombreux modèles de simulation urbaine sont basés sur leur principe (cf. les exemples de Langlois *et al.*, 1997).

1.1.3. Définition formelle des automates cellulaires³

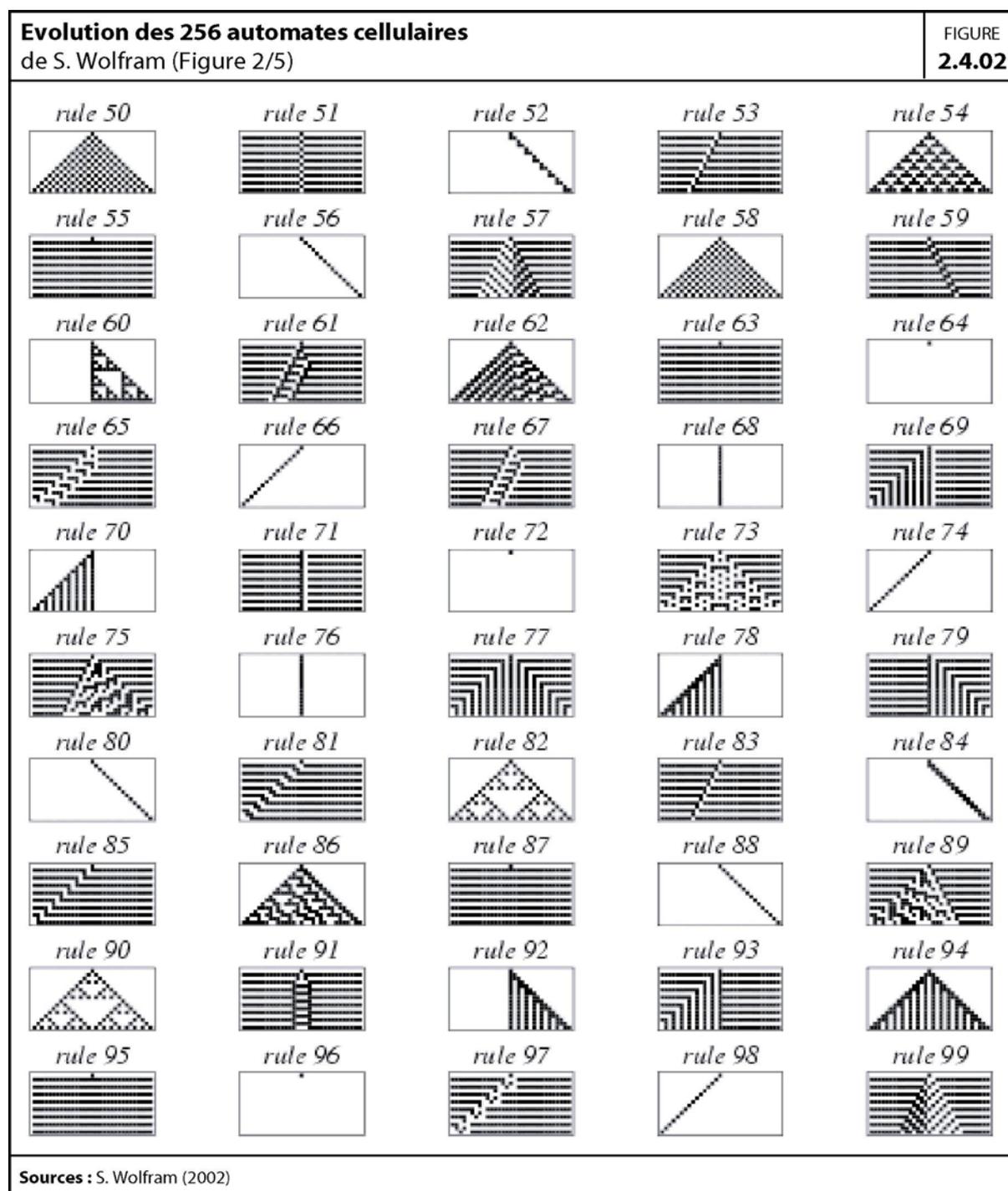
Les premiers automates cellulaires ont été inventés dans les années 1940, avec les travaux de S. Ulam et J. von Neumann (1963) et n'ont intéressé, au départ, que certains théoriciens des mathématiques ou de l'informatique, qui les utilisaient pour résoudre des casse-têtes ou pour faire des jeux (mathématiques), par l'intermédiaire de revues scientifiques. Dans les années 1980, un certain nombre d'articles, et particulièrement ceux de S. Wolfram (Wolfram, 1983 ; Wolfram, 1985) contribuent à les remettre au goût du jour, ou plutôt à les faire connaître sous un nouveau jour, celui d'une multitude d'applications possibles pour des disciplines très diverses. D'abord focalisée sur les problèmes des sciences physiques et de la chimie, la littérature des automates cellulaires s'est alors ouverte à la biologie, à la médecine et à l'écologie, avant de s'intéresser aux champs des études spatiales, particulièrement de la géographie et de l'urbanisme. **En géographie, l'utilisation des automates cellulaires fait écho à la conception cellulaire de l'espace géographique qu'ont pu défendre W. Tobler (1979) et H. Couclelis (1985), qui a permis de révéler le caractère profondément géographique de ce type d'outils (Couclelis, 1988). Le carroyage tel qu'il a été défini dans le Chapitre 2.1 correspond en effet parfaitement à une configuration d'automates cellulaires, et les treize catégories d'occupation du sol font écho aux deux seules possibilités (vie ou mort) de l'automate de J. Conway.** Cette considération interdisciplinaire des automates cellulaires a cependant nécessité qu'on les définisse de façon formelle.

³ Comme le notent A. Langlois et M. Phipps (Langlois, 1997), les automates cellulaires recouvrent un nombre extrêmement diversifié de préoccupations et de domaines d'application, qui s'étend de la conception de calculateurs universels à celui d'algorithmes auto-reproducteurs, en passant par la simulation de feux de forêt. Il est donc difficile d'en parler sans faire les choix nécessaires pour les décrire, qui privilégieront certaines orientations particulières de ces outils issus de l'IAD.



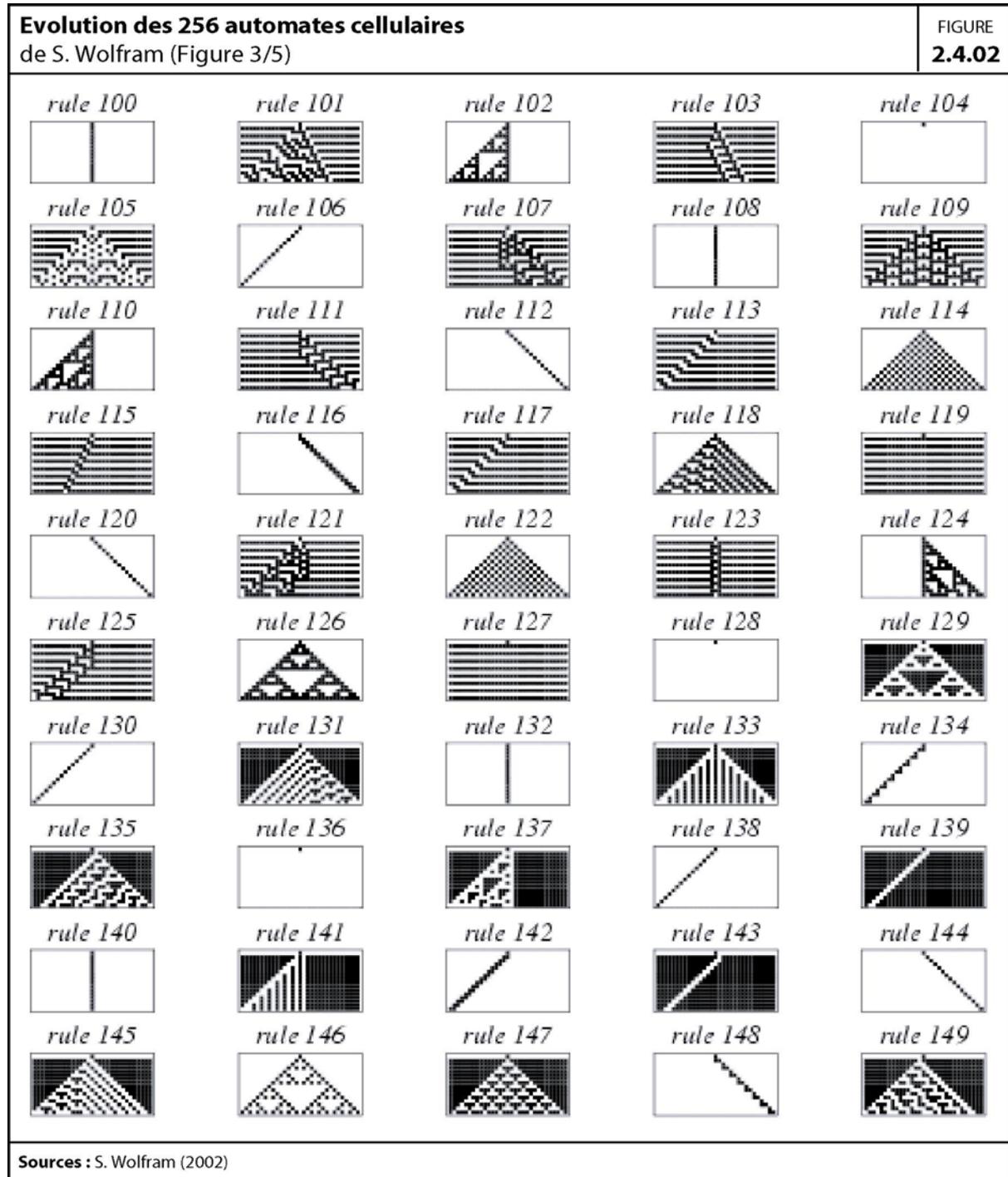
S. Wolfram (1985) a défini un automate cellulaire comme un « système de cellules interagissant de manière simple qui manifeste un comportement global complexe ». C'est bien là le principe de l'intelligence artificielle distribuée. Mais, comme le notent A. Langlois et M. Phipps (Langlois *et al.*, 1997), cet énoncé constitue moins une définition que la mise en évidence d'une des propriétés fondamentales des automates, celle de faire émerger des structures complexes au niveau global du système en dépit de règles relativement simples au niveau local. Ainsi, un automate cellulaire apparaît comme un ensemble de cellules

disposées sur une grille. Chacune de ces cellules est dans un état particulier au temps t , mais cet état peut évoluer dans le temps selon des étapes discrètes ($t+1, t+2, \dots, t+n$).



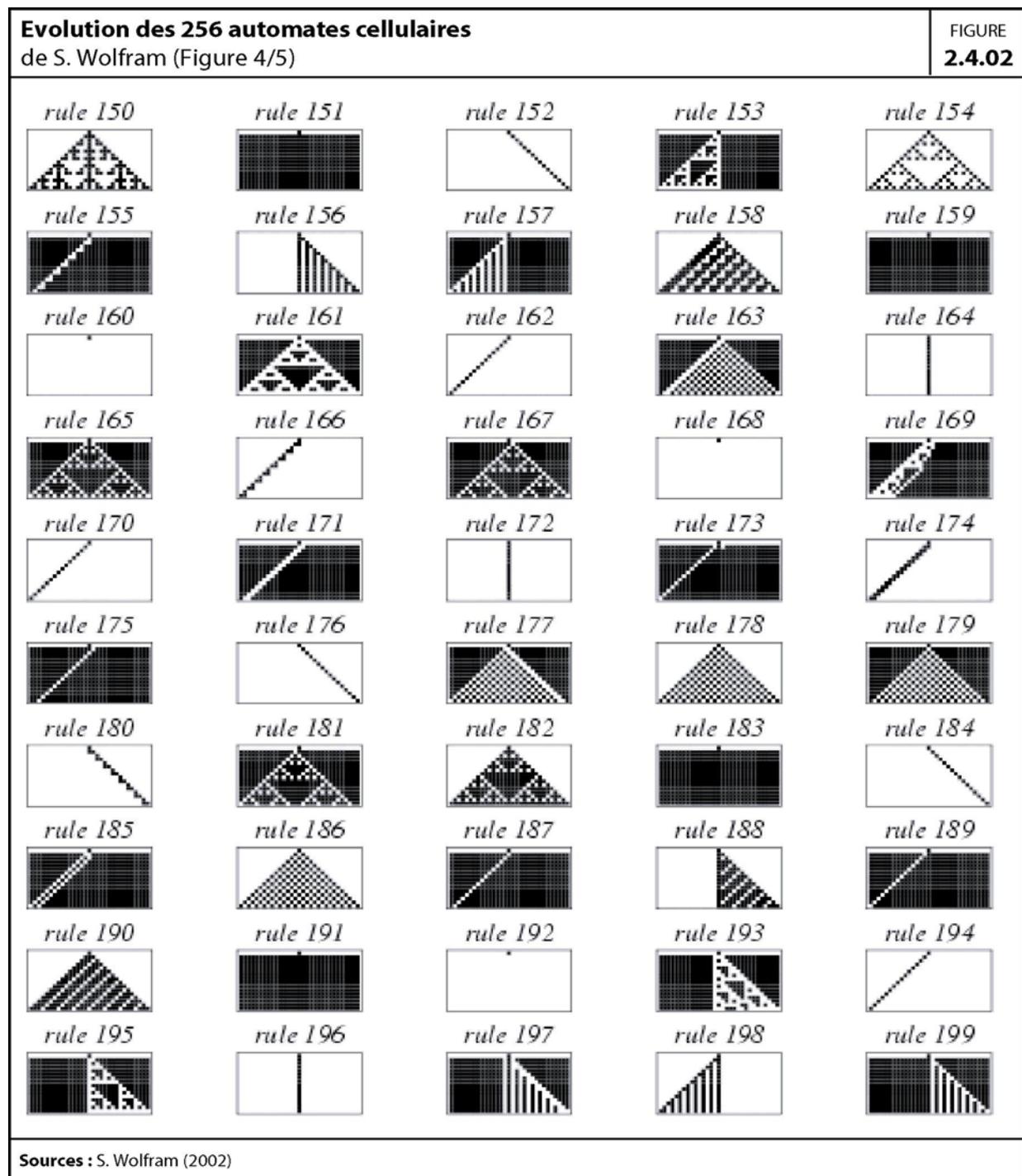
Leur évolution dépend d'une série de règles, dites règles de transition, qui font intervenir le voisinage, de chaque cellule. Ces règles sont appliquées de façon itérative, autant de fois que l'on voudra. Ainsi, comme le souligne E. Jen (1990), les automates cellulaires sont

des modèles dynamiques dans lesquels l'espace (par l'intermédiaire des cellules), le temps (par l'intermédiaire des étapes) et les états sont discrets.



Pour définir formellement un automate cellulaire, A. Langlois et M. Phipps (Langlois *et al.*, 1997) proposent alors de distinguer l'ensemble de « conditions » et de « règles » suivantes : le champs (ou le réseau) cellulaire, les états, le voisinage, la configuration initiale, la (ou les)

règle(s) de transition, le vecteur de fréquence, les probabilités, l'espace des probabilités et la procédure générale.



Il convient de reprendre les principaux éléments de manière à expliciter ce à quoi ils correspondent :

1. Le champ (ou le réseau) cellulaire : c'est l'ensemble $n \in N$ de cellules disposées dans l'espace selon un arrangement défini, qui correspond ici à la grille de carroyage de 50 mètres de côtés, et qui dans notre cas comprend 90 000 cellules. Le réseau cellulaire est donc carré, composé de cellules elles aussi carrées. Il correspond à notre terrain d'étude sur l'agglomération de Belfort.

2. Les états : dans le vocabulaire des automates cellulaires, l'état correspond à une occupation du sol, c'est-à-dire à une valeur qui peut être prise par une cellule au temps t . L'état d'une cellule est donc la valeur k qui lui est associée, et qui peut varier avec le temps⁴.

3. Le voisinage : comme pour le modèle de potentiel (cf. Chapitre 2.3), l'automate cellulaire utilise un voisinage $I^{h_{it}}$ pour fonctionner, dans lequel h correspond à la taille du rayon du voisinage centré sur la cellule i au temps t , défini soit en nombre de cellules soit en mètres. **Néanmoins, alors que le voisinage utilisé pour le modèle de potentiel était un voisinage constant, celui de l'automate peut varier en fonction de chaque règle de transition :** les valeurs de potentiels sont calculées avec le même nombre de cellules quelle que soit l'occupation du sol de la cellule pour laquelle s'effectue le calcul ; le voisinage utilisé par l'automate dépend de l'occupation du sol et de la règle de transition associée à chaque cellule.

4. La configuration initiale : le point de départ de toute simulation est une configuration initiale définissant l'occupation du sol k de chaque cellule $n \in N$. Dans notre cas, cette configuration correspond à un état issu de la base de données carroyée, c'est-à-dire à une date, 1955, 1975 ou 1995. Suivant l'hypothèse de premier ordre (cf. Chapitre 2), on a vu que l'état de 1995 constituait la meilleure configuration initiale pour une simulation qui nous mènerait en 2015.

5. Les règles de transition : elles déterminent l'occupation du sol k au temps $t+1$ d'une cellule n d'occupation du sol l au temps t :

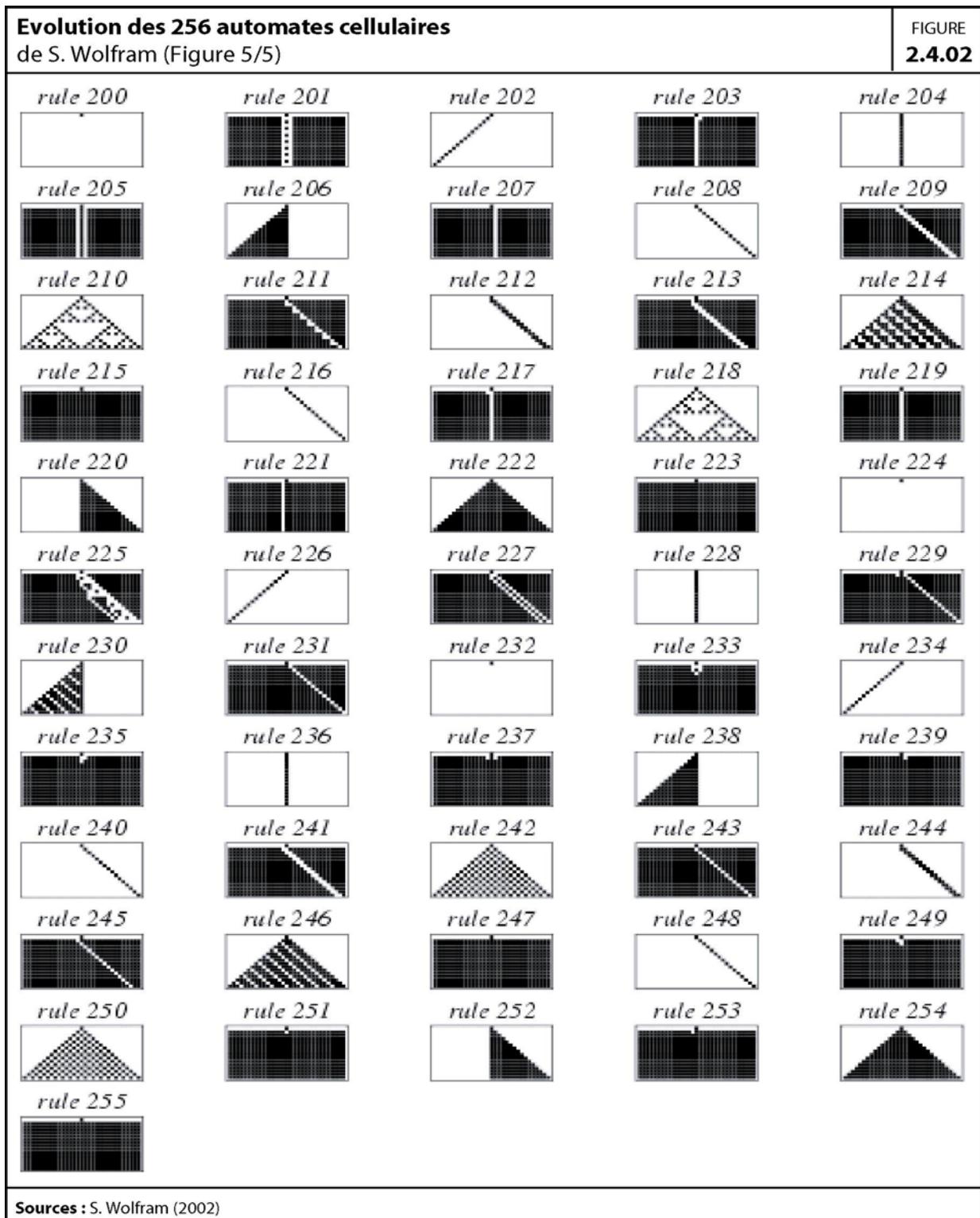
$$k_{i,t+1} = f(k_{it}, I^{h_{it}})$$

k_i = occupation du sol d'une cellule i ;

f = fonction de transition

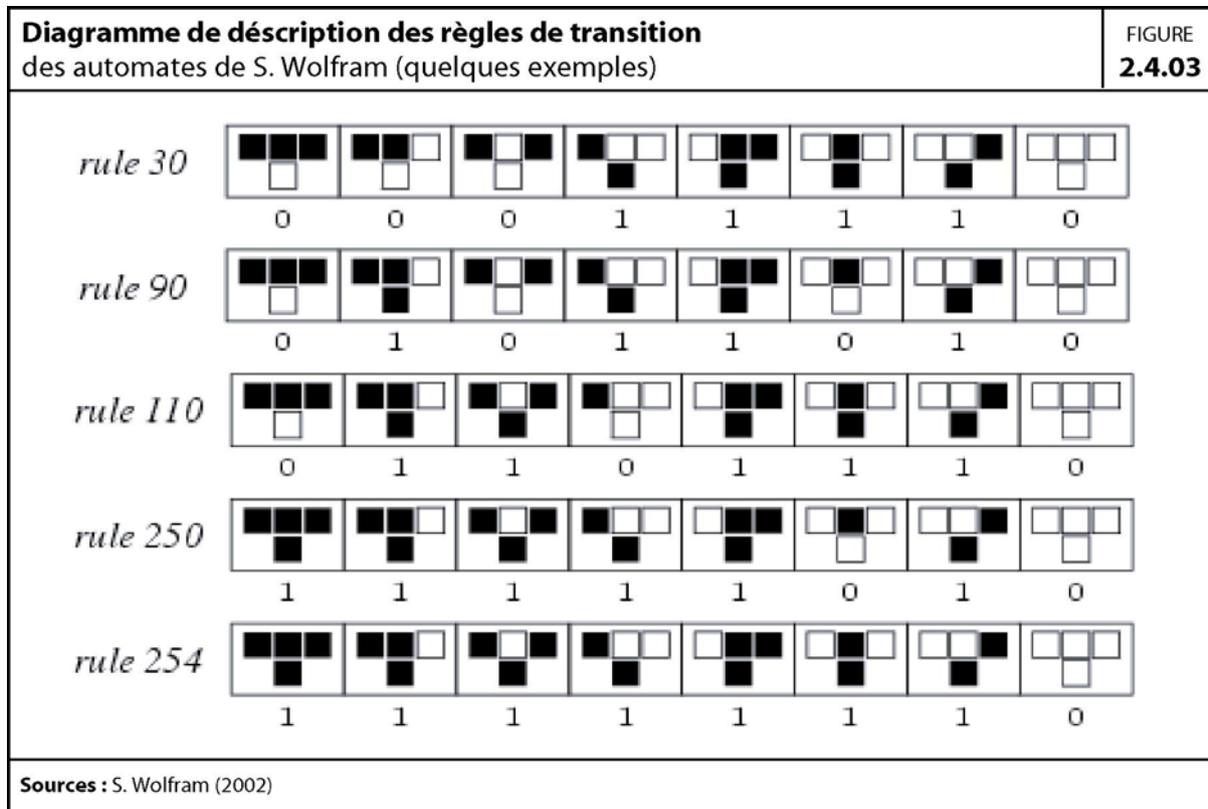
La règle de transition (que nous notons f), apparaît donc comme l'élément le plus important de l'automate cellulaire dans la mesure où c'est elle qui provoque la modification des occupations du sol, en formalisant de façon très précise l'idée, liée à la simulation, contenue dans chaque scénario testé.

⁴ A ne pas confondre avec ce que nous avons appelé « état » plus haut et qui définit la configuration de l'ensemble des cellules à un temps t donné (cf. Chapitre 2.1).

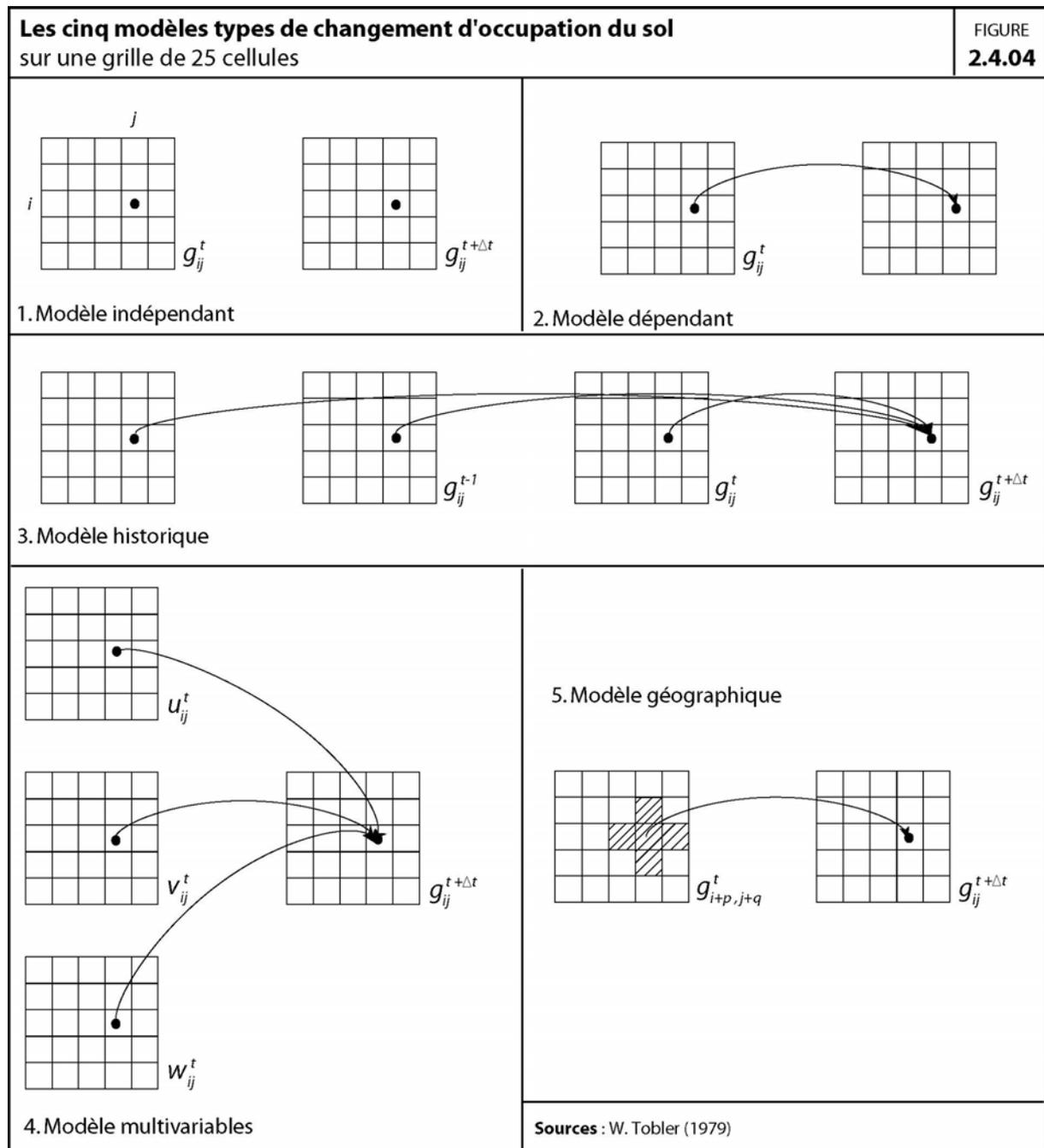


Par définition, ces règles varient donc de manière presque illimitée et chacune, selon les choix qui président à son élaboration, vise à reproduire un phénomène particulier. Un

nombre indéfini de règles de transition peut ainsi se succéder et s’emboîter dans chaque automate cellulaire.



6. La procédure générale : la simulation par l’automate cellulaire se déroule au cours d’une série d’itérations $t \in T$. A chaque unité de temps prennent place les évènements suivants : 1. Lorsque $t=0, \forall n \in N$, une occupation du sol k est définie, qui correspond à la configuration initiale choisie ; 2. Lorsque $t > 0, \forall n \in N$, l’occupation du sol k est mise à jour en fonction des règles de transition f de l’automate. Cette mise à jour contribue à créer une nouvelle configuration initiale sur laquelle les règles sont à nouveau appliquées, et ainsi de suite jusqu’à ce que cette configuration soit stable, c’est-à-dire qu’elle n’évolue plus entre $t=0$ et $t=1$. Dans de nombreux cas, notamment dans le *jeu de la vie* de J. Conway, les configurations d’automates cellulaires ne se stabilisent jamais.



En 2002, S. Wolfram (2002) a présenté une gigantesque série de résultats obtenus à partir de 256 règles de transitions, réitérées sur un automate cellulaire « élémentaire ». Cet automate cellulaire élémentaire possède uniquement deux états possibles pour chacune de ses cellules (0 ou 1) et les règles de transition, permettant de passer d'une valeur à l'autre dépendent uniquement du voisinage très proche. Ainsi, l'évolution d'une cellule, c'est-à-dire son état à une étape suivante, est parfaitement déterminée par la valeur de sa cellule de gauche, de sa cellule de droite et sa valeur à elle-même. Il existe donc $2 \times 2 \times 2 = 2^3 = 8$ configurations possibles pour décrire la valeur d'une cellule centrale et celle de ces voisines de gauche et de

droite. Il y a donc $2^8 = 256$ automates cellulaires possibles à partir de cette configuration (Wolfram, 1983, 2002). La Figure 2.4.02 (divisée en cinq parties) montre l'évolution de chacun de ces 256 automates. La configuration initiale est toujours la même : une cellule noire (codée 1) est centrée sur la première ligne ; le résultat de chaque itération est ensuite stocké sur la ligne du dessous. L'abscisse du graphique représente la dimension spatiale de l'automate, tandis que l'ordonnée représente le temps. Un diagramme (Figure 2.4.03) permet aisément de décrire l'ensemble des règles qui définissent ces automates, en indiquant sur la première ligne les états au temps t de chacune des trois cellules concernées et sur la deuxième ligne l'état résultant que prendra la cellule centrale au temps $t+1$. Parmi ces 256 automates, 88 seulement possèdent des règles que l'on peut estimer comme fondamentalement différentes (Wolfram, 2002).

Pour illustrer le principe des transitions des cellules d'une occupation du sol au temps t à une autre au temps $t+1$ et pour aller plus loin que l'exemple de S. Wolfram, on peut également reprendre l'exemple des cinq modèles proposé par W. Tobler (1979). W. Tobler pose en fait que g_{ij}^t est la catégorie d'occupation du sol d'une cellule localisée en i et j au temps t , et que $g_{ij}^{t+\Delta t}$ est l'occupation du sol de cette même cellule, à un autre temps. Cinq possibilités primitives de modification de l'occupation du sol apparaissent alors (Figure 2.4.04) :

1. Le modèle indépendant. $g_{ij}^{t+\Delta t}$ est aléatoire et ne dépend aucunement de g_{ij}^t .

2. Le modèle dépendant. L'occupation du sol au temps $t+\Delta t$ en i et j dépend de l'occupation du sol précédente au même endroit :

$$g_{ij}^{t+\Delta t} = F(g_{ij}^t)$$

3. Le modèle historique. L'occupation du sol en i et j au temps $t+\Delta t$ dépend de plusieurs occupations du sol successives dans le passé, au même endroit :

$$g_{ij}^{t+\Delta t} = F(g_{ij}^t, g_{ij}^{t-\Delta t}, g_{ij}^{t-2\Delta t}, \dots, g_{ij}^{t-n\Delta t})$$

4. Le modèle multivariables. L'occupation du sol en i et j dépend de nombreuses variables présentes en i et j , et pas seulement de l'occupation du sol :

$$g_{ij}^{t+\Delta t} = F(u_{ij}^t, v_{ij}^t, w_{ij}^t, \dots, z_{ij}^t)$$

5. Le modèle géographique. L'occupation du sol en i et j au temps $t+\Delta t$ dépend de l'occupation du sol au temps t en d'autres lieux et pas seulement en i et j :

$$g_{ij}^{t+\Delta t} = F(u_{i+p, j+q}^t)$$

Pour W. Tobler (1979), ces cinq modèles sont évidemment des abstractions simplistes, et c'est certainement en les combinant tous – même si cela peut paraître compliqué – que l'on procédera à une simulation plus réaliste. Or, c'est justement dans ce sens qu'a été pensé l'automate cellulaire développé ici : **il ne s'agit pas uniquement d'utiliser la fonction de transition (règle) propre à l'automate, mais il est possible de la contraindre avec d'autre fonction de transition, parmi lesquelles, dans notre cas, les résultats des chaînes de Markov et du modèle de potentiel.**

1.2. Les automates cellulaires : des modèles à contraindre

En fait, parmi les cinq modèles proposés par W. Tobler, deux ne nous intéressent pas directement. Le premier, d'abord, parce que c'est un modèle aléatoire. Dans ce sens, il n'a pas d'intérêt dans les simulations que nous réalisons dans la mesure où il n'a aucune valeur explicative, et ne permet pas de visualiser une idée. Ce type de modèle n'est en général utilisé qu'en complément à d'autres modèles pour prendre en compte ce qui n'est pas connu du phénomène étudié. Dans notre cas, ce sont les scénarios qui jouent ce rôle. Ensuite, le modèle historique est rendu caduc par l'hypothèse de premier ordre propre aux chaînes de Markov. On a vu en effet que dans notre cas l'occupation du sol à $t+1$ ne dépend que de t , et non de $t-n$ (Chapitre 2.2). **Les trois autres modèles (dépendant, multivariables et géographique) vont par contre permettre de contraindre l'automate de manière à produire des résultats plus réalistes, et cohérents avec les résultats obtenus par les chaînes de Markov et le modèle de potentiel.**

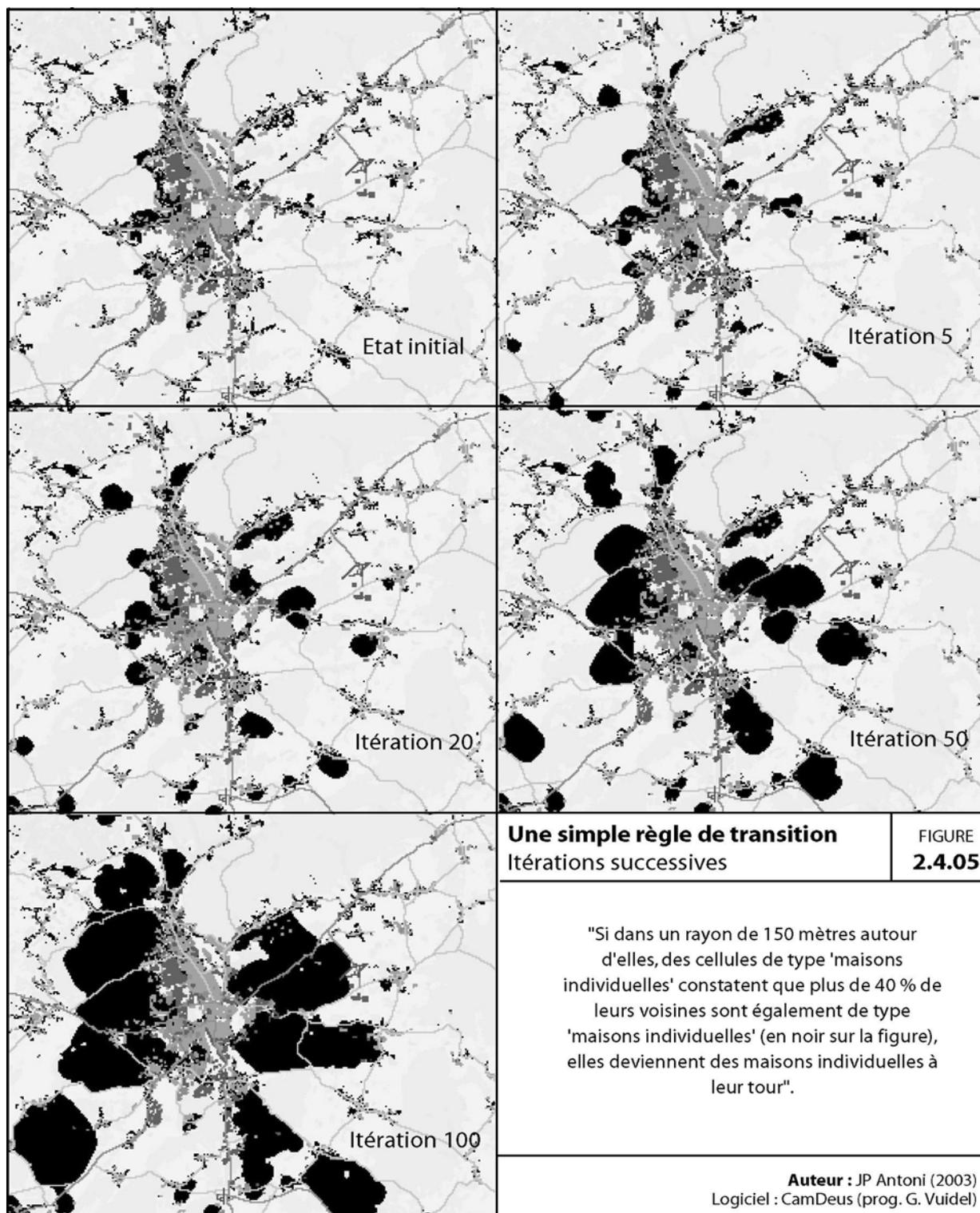
1.2.1. Intégration du modèle de transition

Dans notre cas, il est en effet délicat de laisser le champ totalement libre à l'automate cellulaire, dans la mesure où une partie des résultats que l'on attend de lui sont connus : ils ont été calculés par une chaîne de Markov, qui indique le nombre de cellules que l'on compte trouver dans chaque catégorie d'occupation du sol à la fin de la simulation. Cette information doit bien entendu être prise en compte par l'automate ; il est important qu'il se plie à ces premiers résultats, et cela pour deux raisons : 1. Les automates cellulaires sont « mauvais » pour la gestion à long terme d'un phénomène de diffusion et le fait de les bloquer à l'aide un vecteur connu par ailleurs évite une démultiplication des règles de transition à mettre au point pour obtenir un résultat correct ; 2. Les automates cellulaires ont une certaine difficulté à intégrer le temps et leur faire correspondre des résultats fixés sur le plan temporel permet de connaître approximativement la date à laquelle nous mène la simulation. On peut revenir sur chacun de ces deux points pour les clarifier et les expliciter.

Pour comprendre le premier problème, prenons un exemple à partir du terrain d'étude de l'agglomération de Belfort, et donnons un peu d'intelligence aux cellules qui ne sont pas encore bâties, occupées en 1995 par des champs ou des friches. Apprenons leur que si dans un rayon de 150 mètres autour d'elles, elles constatent que plus de 40 % de leurs voisines sont composées de maisons individuelles (en noir sur la Figure 2.4.05), elles deviennent des maisons individuelles à leur tour. A la prochaine itération de cette règle, le nombre de cellules de type « maison individuelle » aura donc augmenté et sera pris en compte dans les nouveaux calculs. A la cinquième itération (image b), l'automate présente une simulation intéressante : on voit graphiquement qu'elle se situe dans une norme qui correspond à une augmentation plausible du nombre de maisons individuelles sur le terrain étudié. A la vingtième itération par contre (image c), cette augmentation devient un peu trop importante et sort des normes observées dans le passé⁵ ; à partir de la cinquantième itération (image d), elle est démesurée, ce qui se confirme à la centième itération (image e), dans laquelle on imagine que le phénomène ne s'arrêtera pas avant d'avoir conquis l'ensemble des forêts, des champs et des friches. Néanmoins, ce n'est pas parce que les résultats, poussés à l'extrême sont très irréalistes que la règle de transition utilisée pour les obtenir ne mérite pas d'être simulée. Elle est cohérente et produit, dans un premier temps, des résultats corrects et intéressants. Pour limiter son exagération, la démarche à suivre consisterait à écrire d'autres règles stipulant que la construction de maisons individuelles ne peut se faire à l'infini, voire même qu'elle pourrait diminuer au bout d'un temps. C'est avec ce type de règles complémentaires que l'on arrive (parfois) à rendre plus réaliste une simulation de l'évolution urbaine à l'aide d'automates cellulaires. Néanmoins, cette mise au point de règles successives est longue, fastidieuse, parfaitement empirique, et souvent difficile à interpréter. Les règles qui permettent de rendre la simulation crédible ne sont pas toujours doublées d'un véritable sens géographique ; elles sont parfois utilisées pour ce qu'elles font à un moment donné de la simulation plus que pour ce qu'elles signifient pour la ville et son développement.

La solution que nous proposons consiste donc, non à multiplier les règles, mais à utiliser le vecteur résultant du modèle markovien pour contraindre l'automate et stopper la simulation quand les résultats prévus par ce première modèle sont atteints. Ainsi, pour la précédente simulation de maisons individuelles, la multiplication s'arrête quand elle a atteint le nombre n de cellules prévues par la chaîne de Markov. **L'intégration du modèle markovien dans l'automate permet donc de coupler deux types de résultats, obtenus par deux modèles différents, et d'assurer une double cohérence aux nouveaux résultats obtenus. Elle permet également de simplifier la programmation des règles de l'automate, dans la mesure où elle évite de prendre en compte, par l'écriture de règles complexes, des problèmes pour lesquels d'autres modèles sont plus aptes à répondre.**

⁵ En ce qui concerne ces « normes observées dans le passé », nous nous basons sur les trois images du terrain d'étude en 1955, 1975 et 1995 extraites de la base de données carroyée, pour évaluer le nombre de cellules qui a pu évoluer d'une catégorie d'occupation du sol non bâtie vers une catégorie bâtie.



Le deuxième problème suit directement le premier. Il concerne le temps de la simulation. En effet, la question que l'on se pose quand on regarde la précédente simulation (Figure 2.4.05), à la centième itération par exemple, est de savoir où l'on se situe dans le temps. Sommes nous au centième jour, au centième mois, ou à la centième année après la configuration

initiale. Le problème du temps est un problème difficile à gérer pour les automates cellulaires. Certains le font en intégrant une variable de durée de vie pour chaque occupation du sol, doublée d'une loi normale, qui permet de faire mourir les cellules à partir du moment où elles se rapprochent de cette durée de vie maximale (Langlois *et al.*, 2001). L'indicateur peut alors permettre d'évaluer la position de la simulation dans le temps. Le problème est cependant identique au précédent : il y a un paramètre de plus à définir, qui n'est pas forcément le plus simple à évaluer. Or, comme précédemment, les chaînes de Markov offrent une solution plus simple à ce problème. On connaît en effet le temps auquel correspond une matrice de transition. Dans notre exemple, ces matrices témoignent des évolutions mesurées sur une période de 20 ans. Leur utilisation pour la simulation d'un état futur nous amène donc à considérer que cet état futur se situe 20 ans après la configuration initiale à partir de laquelle se fait la simulation. Ainsi, si comme on l'a indiqué plus haut, on utilise le vecteur déterminé par la chaîne de Markov pour stopper la simulation, celle-ci se situe, à l'endroit où elle bloque l'automate, 20 ans après la configuration initiale. Ici, **le couplage de l'automate avec les chaînes de Markov, apporte une nouvelle fois une solution intéressante et simple à l'épineuse question de la prise en compte du temps dans les automates cellulaires.**

1.2.2. Intégration du modèle de potentiel

L'intégration du modèle de potentiel dans l'automate cellulaire est exactement du même ressort que celle du modèle de transition. L'idée consiste à en simplifier et limiter le paramétrage, en le couplant avec un autre modèle, mieux adapté et plus pertinent sur la plan de sa signification thématique, pour quelques opérations particulières de la simulation, en l'occurrence la localisation des cellules. En effet, on a vu dans le chapitre précédent que le modèle de potentiel permettait de localiser des cellules amenées à évoluer dans un sens ou dans l'autre, sur la base des interactions spatiales. Pour ce faire, il intègre trois paramètres qui correspondent aux conditions qu'a proposé E.L. Ullman et que l'on a présenté dans le Chapitre 2.3 : la complémentarité, l'absence de substitution et la friction de la distance.

Parmi ces trois conditions, la première peut aisément être prise en compte à l'aide d'un automate cellulaire. On a peu de mal à comprendre en effet, dans le précédent exemple des maisons individuelles, que les maisons individuelles sont complémentaires avec elles-mêmes, selon un principe du type « qui se ressemble s'assemble », conduisant à une monofonctionnalité spatiale, puis à une ségrégation, toutes les deux décrites dans la première partie (Chapitre 1.3) comme des conséquences de l'étalement urbain. Dans une certaine mesure, la deuxième condition (absence de substitution) est également prise en compte, même si elle n'est pas expressément formulée. Le fonctionnement de l'automate l'oblige en effet à tester toutes les possibilités, puisqu'il applique les règles de transition sur toutes les cellules concernées par cette règle. Néanmoins, à la différence du modèle de potentiel qui renvoie des valeurs réelles, **l'automate ne fonctionne que selon une**

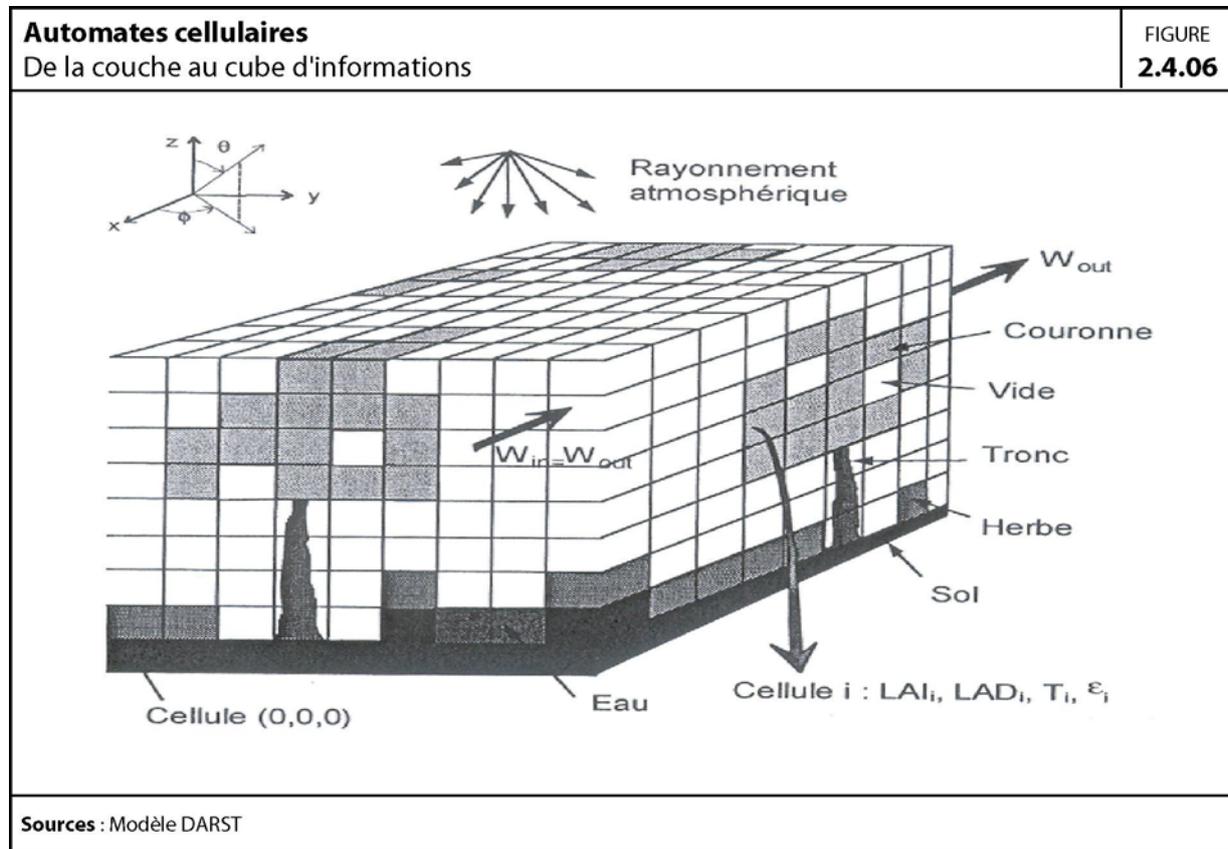
considération binaire. Ainsi, si deux possibilités d'interaction spatiale sont correctes, l'automate validera les deux, qui seront considérées comme bonnes. Le modèle de potentiel calcule par contre une valeur permettant d'identifier laquelle des deux est la meilleure, même si les deux sont possibles et bonnes. Si l'on reprend le précédent exemple de Bob le bricoleur qui cherche à acheter des clous pour clouer ses planches (Chapitre 1.3), on conclura en utilisant l'automate cellulaire qu'il ira les acheter à la fois dans la quincaillerie et dans le magasin de bricolage, sans savoir laquelle de ces deux destinations est *a priori* la plus avantageuse pour lui. On a vu que le modèle de potentiel produisait des résultats plus fin, et indiquait que Bob ira dans le grand magasin de bricolage.

Cette faiblesse des automates cellulaires – qui ailleurs constitue certainement une force – pour l'interprétation des éventuelles substitutions, est directement liée à la troisième condition de E.L. Ullman : la friction de la distance. Car en effet, il apparaît clairement que la distance considérée par les automates est une distance isotrope, qui intervient toujours de la même manière, aussi grande soit-elle. Si l'on recherche les cellules situées à 150 mètres d'une maison individuelle, par exemple, on obtiendra en résultat toutes ces cellules sans aucune discrimination entre celles qui se situent à 50 mètres, celles qui se situent à 100 mètres et celles qui se situent effectivement à 150 mètres. Or, on a vu dans la première partie que cette discrimination était importante, puisque c'est elle qui permettait, en partie, de définir le seuil proximal, c'est-à-dire de différencier ce qui est proche de ce qui est lointain. On a vu également que le principe du moindre mouvement conférait une valeur supérieure aux éléments les plus proches. **La distance que considèrent les automates cellulaires apparaît donc moins intéressante dans le cadre d'une modélisation des dynamiques urbaines et de l'étalement urbain que celle du modèle de potentiel, qui lui ajoute une fonction inverse pour tenir compte de la friction. En termes de localisation, dans notre cas, le modèle de potentiel se révèle donc plus puissant.**

1.2.3. Mais pourquoi des automates cellulaires ?

Mais, si finalement, la quantification, comme la localisation des cellules que l'on compte modifier pour simuler les dynamiques urbaines est pré-déterminée par d'autres modèles, plus simples et plus puissants, à quoi servent les automates cellulaires ? On est en droit de se poser ici la question de leur présence dans l'enchaînement de la modélisation (architecture de modèle). Celle-ci est pourtant pleinement justifiée. En effet, le modèle de transition et le modèle de potentiel, si ils sont chacun intéressants pour ce qu'ils font, ne permettent au final que de localiser un nombre défini de cellules, sans que l'on sache ce que sont ces cellules. Tout l'intérêt des automates cellulaires, comme le signale le titre de ce chapitre consiste alors à qualifier les dynamiques urbaines, en déterminant, dans une troisième étape, la catégorie d'occupation du sol des cellules localisées à l'étape 2 et quantifiées à l'étape 1. Mais, pour ce faire, il va être possible d'utiliser une information complémentaire, qui ne concerne plus

seulement l'occupation du sol. Les servitudes liées à certains équipements, une ligne à haute tension par exemple, interdisent toute urbanisation en dessous de cette ligne.



Or, la ligne à haute tension ne fait pas partie de l'occupation du sol en tant que tel ; la seule information contenue dans la base de données est le champ sur lequel elle prend place qui, lui, figure dans la base. Ainsi, ni les chaînes de Markov, ni le modèle de potentiel n'est capable de la prendre en compte pour y interdire la construction. L'automate cellulaire va donc intégrer cette information, et l'écriture d'une règle suffira à régler le problème. Mais, cela n'est possible que si l'automate modifie sa propre définition et quitte sa simple base, en se permettant d'accueillir une information connexe, qui n'est pas directement contenue dans ses cellules. L'idée consiste alors à multiplier les champs d'information, en multipliant les couches d'information cellulaire. Il y a donc toujours une couche de base, celle de l'occupation du sol, mais elle est doublée d'autres couches, parfaitement identiques quant aux cellules qu'elles contiennent, mais qui recueillent une autre série d'informations, auxquelles il sera fait appel de façon complémentaire si l'une ou l'autre des règles de transition écrites pour la couche d'occupation du sol le stipule. Reprenant le précédent exemple, on pourra donc écrire une règle indiquant que si dans un rayon de 150 mètres autour d'elles, les cellules « libres » constatent que plus de 40 % de leur voisines sont composées de maisons individuelles, elles deviennent des maisons individuelles à leur tour, mais seulement si elles ne sont pas surplombées par une ligne à haute tension, ou bien si leur pente est inférieure à tel degré, ou encore si elles se situent hors d'une zone inondable ...

Conclusion de la deuxième partie

Le programme CamDeus concrétise la partie opérationnelle de la modélisation proposée. L'originalité ne réside donc pas tant dans le programme en lui-même que dans la démarche qu'il met en application pour modéliser les plus fortes occurrences de changements urbains, et finalement pour les visualiser en fonction du scénario testé. Par rapport à cette démarche générale, CamDeus ne représente que l'outillage final ; l'essentiel tient en réalité dans les trois étapes, répondant aux trois questions 'Combien ?' 'Où ?' et 'Quoi ?' par l'intermédiaire de trois modèles : les chaînes de Markov, le modèle de potentiel et les automates cellulaires. **L'enchaînement des trois étapes permet alors une modélisation générale de la dynamique de l'étalement urbain.** On peut ainsi conclure, que cette modélisation répond globalement aux objectifs fixés au départ. D'une part, en effet, la solution proposée allie trois problèmes à trois méthodes et finalement à trois solutions techniques, en insistant sur la forte correspondance que les lient : **qu'il s'agisse des chaînes de Markov, du modèle de potentiel ou des automates cellulaires, le lien qui associe le problème théorique des changements urbains avec les coefficients des modèles est très bien identifié** et peut se comprendre aisément. Pour le modèle de potentiel, par exemple, la formule globale ne fait rien d'autre qu'exprimer sous une forme mathématique simplifiée et opérationnelle le fait que « si une cellule i n'est pas bâtie, son potentiel d'être bâtie équivaut à la somme des masses de cellules j qui l'entourent, pondérées par la distance entre i et j ». Il en est de même pour les automates cellulaires dont l'équation signifie que « l'occupation du sol d'une cellule i au temps $t+1$, dépend de son occupation du sol au temps t , et de l'occupation des cellules qui l'entourent dans un certain rayon ». De surcroît, les notions qui ont permis de définir le processus d'étalement urbain de façon théorique se retrouvent dans les équations. La notion de

distance, par exemple, intervient à plusieurs échelles. Elle apparaît une première fois dans le modèle de potentiel, sous une barre de fraction, pour signifier que l'intensité des interactions décroît progressivement en même temps que la distance entre les lieux censés interagir augmente. Ici, la distance intervient à grande échelle et prend en compte l'ensemble du terrain étudié. Elle apparaît également dans la définition du voisinage des règles des automates cellulaires. Là, elle intervient à petite échelle, et ne concerne plus que quelques cellules ; elle varie de plus en fonction de leur catégorie d'occupation du sol. La notion d'interaction, qui permet de caractériser une partie des mouvements urbains et des choix de localisation résidentielle propres aux villes, est, quant à elle, également identifiable de façon très claire. Dans le modèle de potentiel, elle est simplement représentée par les masses d'attractivité m . Dans les automates cellulaires, elle est définie pour chaque règle de transition.

Mais, cette façon de modéliser les dynamiques urbaines n'est pas absolument innovante, et on trouve dans la littérature plusieurs modèles qui proposent le même type d'associations pour répondre à un objectif similaire. Un des premiers est certainement celui de W. Tobler (1978) sur lequel nous nous appuyons, qui fait une association comparable en présentant les avantages intrinsèques de l'espace cellulaire : les cellules facilitent la prise en compte des modifications de l'occupation du sol d'une date à une autre. Ces modifications interviennent selon plusieurs possibilités de transition listées dans une figure reprise ici (Figure 2.4.04). W. Tobler, préconise également les chaînes de Markov pour le calcul de ces transitions. Plus loin dans le même article, il estime également qu'un programme du type de celui de J. Conway pourrait aider à travailler efficacement sur les cellules. L'idée correspond alors à une sorte de triptyque méthodologique : « espace cellulaire + chaînes de Markov + automates cellulaires » soit trois des quatre modèles que nous reprenons ici, associés dans le même ordre. Bien plus tard, en 2002, un *Working Paper* du *Centre for Advanced Spatial Analysis* (CASA) de l'*University College of London* (UCL) présente les travaux de C. M. De Almeida *et al.* (2002). Ces travaux proposent d'associer les chaînes de Markov aux automates cellulaires pour la modélisation de la dynamique de l'occupation du sol urbain, mais sans y inclure les potentiels. Ils insistent notamment sur le problème de l'empirisme et du stochastique propre à l'association de ces modèles, c'est-à-dire sur les incontournables questions d'épistémologie qui commandent à la mise en place et à l'utilisation d'un tel enchaînement. Enfin, on peut noter que la notice du système d'informations géographiques *raster* Idrisi fait également référence à ce type de couplage et propose un module nommé *Markovian Cellular Automata*. L'ensemble est néanmoins très fortement stochastique, ce qui amène à se poser la question de l'opérationnalité du modèle quand il s'agit de faire des simulations qui ne sont pas seulement théoriques, mais qui concernent une réflexion réelle sur l'aménagement des villes.

Par rapport à ces quelques exemples, l'originalité de la démarche que nous présentons ici réside dans une décomposition plus franche des différents modèles utilisés, associés à des questions clairement exprimées ('Combien?', 'Où?', 'Quoi?'). De surcroît, nous introduisons un modèle de potentiel, qui permet très aisément de prendre en compte la friction de la distance et la complémentarité des cellules à grande échelle, en testant toutes les possibilités de configuration.

Le but de la modélisation en trois étapes, et du logiciel CamDeus qui lui est associé, est avant tout lié à la simulation prospective, en lien avec les modifications de la législation qui oblige aujourd'hui les aménageurs à construire un projet de territoire en anticipant son devenir. Ici, la démarche apparaît suffisamment simple et bien décrite pour fonctionner concrètement en tant qu'outil d'aide à la décision. Ainsi construite, elle permet concrètement de tester des scénarios concernant le devenir des villes. Dès lors, elle permet également d'appuyer un discours théorique en testant des notions ou des concepts afin de visualiser leurs conséquences sur l'espace et sur la configuration des villes. Dans notre cas, elle apparaît ainsi comme un excellent moyen pour voir dans quelle mesure le processus d'étalement urbain et le réaménagement des espaces qui en découle apparaît effectivement comme le résultat d'une modification de la dialectique éloignement-proximité.

PARTIE 3

**DE LA MODELISATION
A LA SIMULATION PROSPECTIVE**

Introduction de la troisième partie

Dans le cadre des simulations permettant de tester et de visualiser les configurations spatiales urbaines issues d'un questionnement théorique ou pratique sur le devenir des villes, **la modélisation apparaît comme un outil universel : il est possible de l'appliquer sur n'importe quelle ville, indépendamment de sa taille, de sa composition, de sa spécialisation ou de son histoire.** Ceci est dû notamment au fait que les ordres de grandeurs et les valeurs des paramètres permettant d'évaluer les futurs changements proviennent d'une part de l'observation du passé de la ville étudiée (c'est, par exemple, le but de la rétrospective qu'utilisent les chaînes de Markov), et d'autre part de scénarios construits spécifiquement pour cette ville, qui seront introduits dans le modèle de potentiel et les automates cellulaires après avoir été traduits en coefficients. En poussant ce raisonnement à l'extrême, on pourrait ainsi dire que la modélisation peut servir autant à dessiner (*to design*) l'avenir d'une ville millionnaire que celle d'un village de quelques centaines d'habitants ; on rencontre cependant ce problème que dans le second cas la petitesse de l'espace « urbanisé » empêche de considérer les observations du passé comme des probabilités, dans la mesure où leur nombre et leur occurrence peut apparaître très limité. Chaque transition ressemble alors plus à un cas particulier : la signification des probabilités n'a de pertinence réelle que si elle touche des individus très nombreux. C'est le principe de la loi des grands nombres (Deuheuvels, 1982).

Néanmoins, il est important que le modèle mette l'accent sur une ville en particulier, même lors de sa construction. Cette ville sert alors d'exemple pour alimenter la réflexion, et aide également à la mise en place théorique du modèle. Ici, la ville de Belfort a été déterminante, pour la prise en compte des catégories d'occupation du sol auxquelles se réfère la majorité des paramètres des modèles. La composition de l'espace belfortain a nourri la réflexion qui a ensuite permis de développer une démarche de travail associée à des hypothèses opérationnelles, dont l'enchaînement de modèles apparaît comme l'aboutissement. Une question reste en suspens : pourquoi Belfort et pas une autre ville ? La réponse tient avant tout dans une opportunité. En 1999, la DDE du Territoire de Belfort, préoccupée par les problèmes engendrés par l'étalement urbain, a lancé une recherche associant des universitaires, pour se doter des outils lui permettant d'anticiper l'étalement urbain. Cette recherche a donné lieu à la Convention Industrielle de Formation par la Recherche mentionnée dans l'introduction générale. Mais, **au-delà de l'opportunité et du groupe de travail constitué, Belfort se révèle également être une ville exemplaire pour effectuer des tests. D'une part, en effet, c'est une ville moyenne, dont il est possible de considérer l'ensemble de l'espace sans restriction. Il a en effet été possible de numériser les trois couronnes (suburbaine, périurbaine et ruraine) de la ville, dans le but de les carroyer.** Ceci n'aurait été possible sur la ville de Strasbourg, ou même sur celle de Besançon, qu'au prix d'un travail bien plus long et fastidieux, tant pour l'effort de numérisation que pour la collecte des documents anciens et récents à l'origine de cette numérisation. D'autre part, de par son histoire la ville de Belfort a aujourd'hui un avenir incertain. La restructuration des grandes entreprises qui maintenait le niveau économique de l'ensemble de la région, oblige à une certaine reconversion, dont les conséquences sont difficiles à prévoir. De plus, de nombreux équipements sont programmés pour compléter l'offre urbaine de l'agglomération. En 2008 ou en 2010, par exemple, une gare TGV reliera Belfort au réseau national et favorisera les échanges avec Paris ; une nouvelle zone d'activités est aujourd'hui ouverte à Fontaine, dans le Territoire de Belfort ; elle pourrait accueillir plusieurs entreprises innovantes. Malgré cela, l'avenir reste incertain, et il est difficile aujourd'hui de connaître le succès que rencontreront ces équipements, et surtout leurs conséquences sur la démographie et sur l'urbanisation du département.

Dans ce contexte, il est intéressant d'étudier l'étalement urbain afin de visualiser le sens de l'urbanisation issue de cet avenir incertain. L'étalement urbain continuera-t-il ? Si oui contribuera-t-il à la croissance des digitations que l'on observe déjà le long des grands axes de communication ou bien prendra-t-il place dans la deuxième couronne (ruraine). Pour répondre à ces questions, il convient dans un premier temps d'étudier ce qui s'est passé dans l'agglomération entre 1955 et 1995. **A travers le filtre de la modélisation, les différents paramètres des modèles peuvent alors apparaître comme autant d'indicateurs pour caractériser les changements passés. Ils constituent ainsi des éléments pour construire une**

meilleure connaissance de l'étalement et des modifications qu'il engendre sur la dialectique entre éloignement et proximité. Cette connaissance constitue dès lors une base importante pour la mise en place de simulations et l'élaboration de scénarios permettant d'envisager l'avenir de la ville. Deux orientations permettent de les mettre au point. D'abord, on peut partir du principe que le processus d'étalement urbain continuera d'une manière très similaire à celle qui a été observée dans le passé ; l'observation de la période 1955-1995 et la prise en compte des évolutions récentes majeures, notamment celles qui concernent les techniques de déplacement, peuvent être combinées pour mettre au point un premier jeu de scénarios. Ensuite, on peut également **partir du principe que le futur ne ressemblera en rien au passé, et cela pour au moins deux familles de raisons, qui feront l'objet de deux autres jeux de scénarios : soit le processus d'étalement urbain sera réduit par la mise en place d'une politique volontariste dont l'actuelle tendance au renouvellement urbain offre un excellent exemple ; soit les mentalités, les volontés et les préférences, appuyées sur de nouvelles technologies de déplacements, contribueront à remodeler la forme urbaine issue de l'étalement urbain, en imposant une nouvelle dialectique entre éloignement et proximité, et avec elle une nouvelle forme d'organisation de l'espace.**

Chapitre 3.1

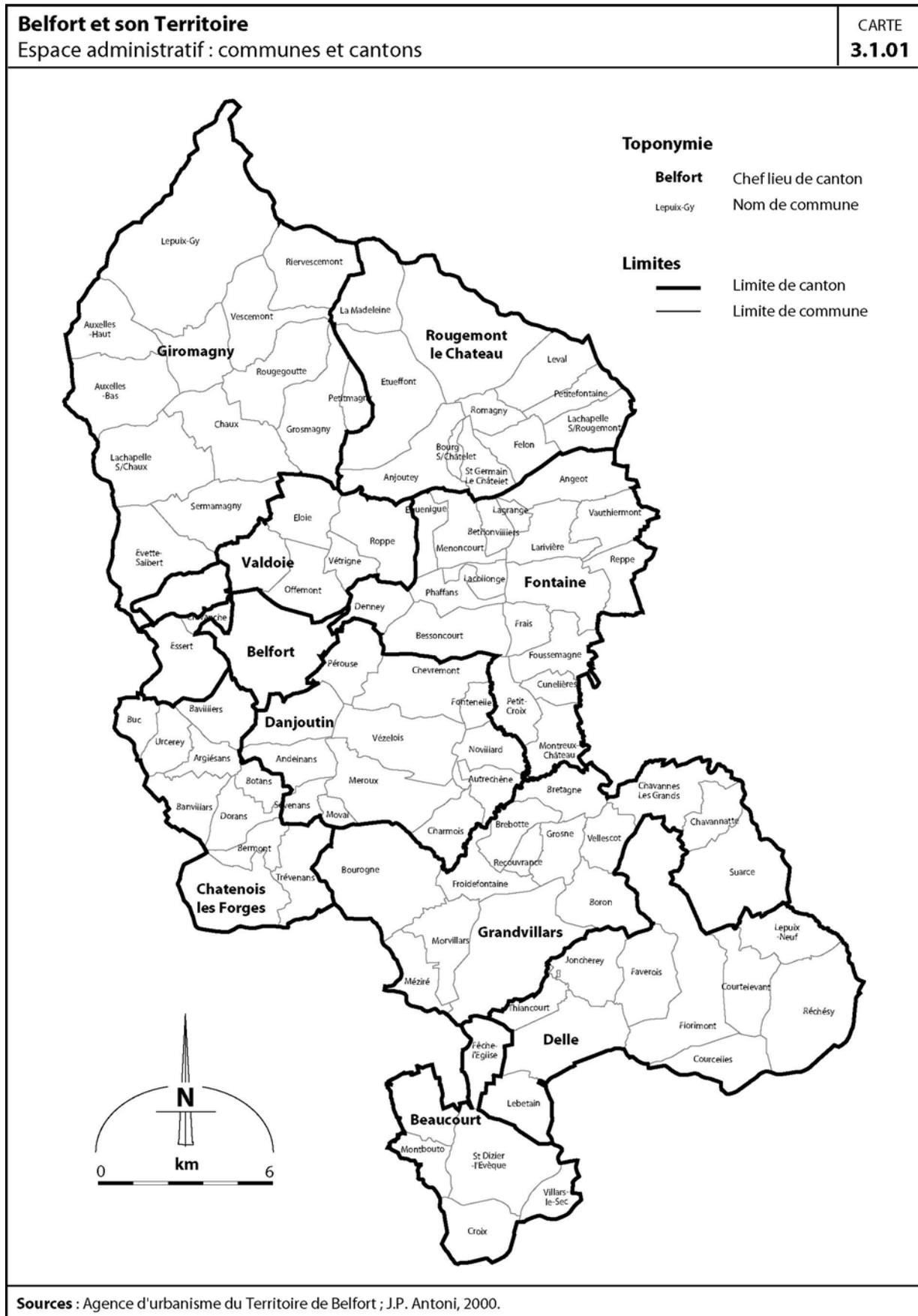
Rétrospective de l'étalement belfortain

La démarche de modélisation présentée ici propose une solution standard, fonctionnant *a priori* pour n'importe quelle ville. Mais elle doit s'imprégner du terrain étudié pour en offrir une simulation qui lui soit spécifique et dédiée. Avant la modélisation, il est donc nécessaire de bien connaître l'espace sur lequel on compte effectuer les simulations. La pertinence des scénarios testés dépend fortement de cette connaissance. Pour mieux connaître la ville de Belfort, il est possible de distinguer deux plans. D'abord, il s'agit de savoir ce qui s'est passé dans le passé, de manière à connaître l'ordre de grandeur dans lequel les choses ont changé. Pour cette étude, qui fait intervenir l'espace et le temps, l'exploitation de la base de données spatio-temporelle apparaît fondamentale. Elle permet de considérer les changements intervenus sur les deux périodes 1955-1975 et 1975-1995 de manière verticale, cas auquel on met l'accent sur l'évolution de chaque cellule dans le temps, ou de manière horizontale, cas auquel on réfléchit étape par étape en tenant compte du voisinage et de la position de chaque cellule dans l'espace urbain. **La question qui se pose ensuite est alors de savoir si, compte tenu de la taille de la ville de Belfort, on y retrouve des processus identiques à ceux que l'on a identifiés dans des agglomérations bien plus grandes (Paris, Lyon, Strasbourg, Toulouse,...). ? Si oui, apparaissent-ils avec une force moindre ? Ou bien apparaissent-ils avec un décalage dans le temps, c'est-à-dire à un stade moins avancé ?** Parallèlement à ce premier point, connaître une ville consiste également à connaître les perspectives qui s'offrent à elle dans l'avenir. Sur ce plan, la ville de Belfort apparaît comme un cas particulier et intéressant. En effet, elle bénéficie simultanément d'une position géographique qui la

place au cœur d'une Europe en mouvement, dans le réseau des villes rhénanes, et d'une situation économique en déclin, liée à la déstructuration récente des principales industries qui ont longtemps été le fer de lance de l'économie régionale. De surcroît, Belfort se situe au croisement de plusieurs pays et de plusieurs régions, dont les différences sont importantes, notamment sur le plan économique. De nombreuses migrations caractérisent ce territoire. Pendant un temps, elles ont joué en faveur du département belfortain, mais des relations plus complexes, intégrant notamment la Suisse se substituent aujourd'hui aux anciens flux majeurs. La situation apparaît alors fort incertaine en ce qui concerne l'avenir du Territoire, notamment sur le plan démographique : quelques simulations faites par l'INSEE, montrent que suivant les scénarios testés, l'avenir peut varier d'une forte croissance à un important déclin. Pour **mieux connaître l'urbanisation passée de la ville de Belfort et mieux exploiter la base de données cellulaire qui aidera d'une part, à mieux comprendre la processus d'étalement urbain tel qu'il s'est présenté dans l'agglomération belfortaine, et d'autre part, à prendre en compte certains des éléments qui permettront la construction de scénarios prospectifs décrivant des futurs possibles pour la ville**, il est commode de l'étudier par l'intermédiaire d'un prisme : celui des couronnes radioconcentriques qui ont l'avantage de tenir compte de la distance au centre de la ville, et de matérialiser correctement les couronnes suburbaine, périurbaine et ruraine.

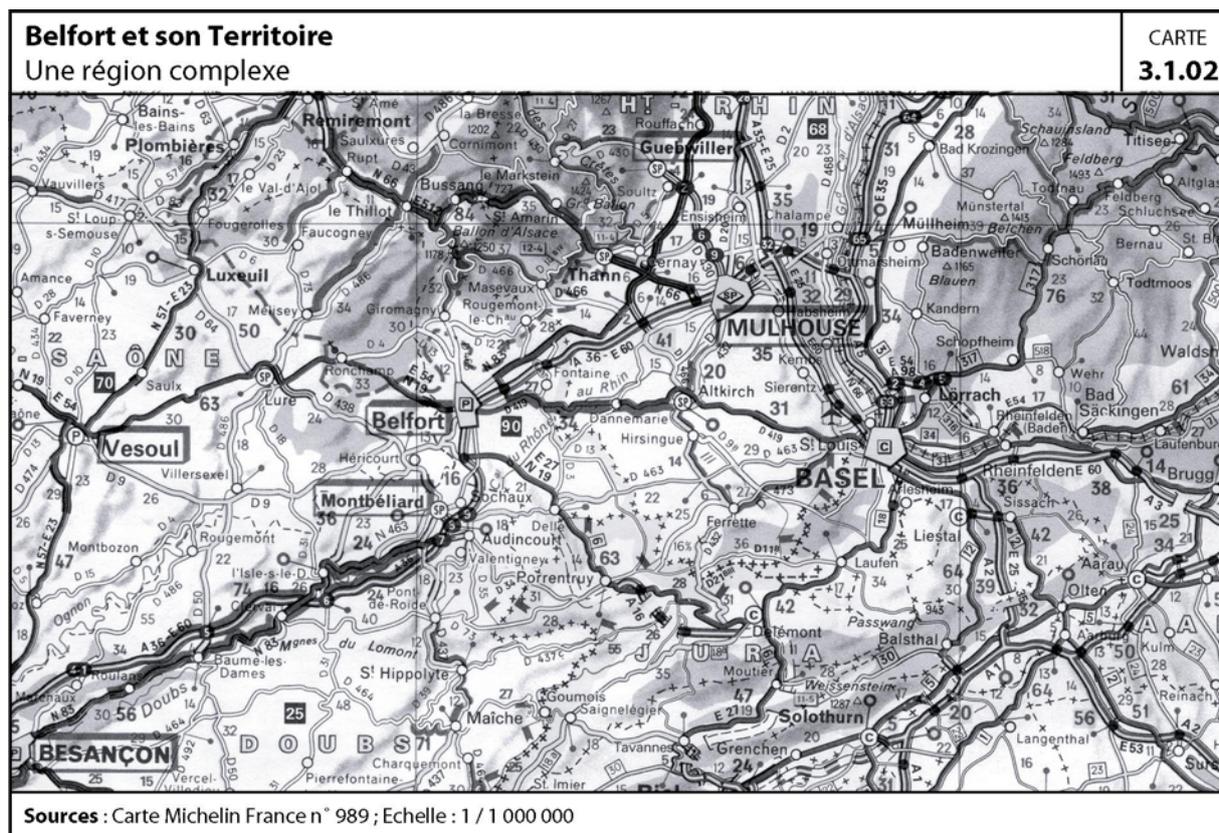
1. Belfort et le Territoire de Belfort

Le Territoire de Belfort apparaît indéniablement comme un département original dans la composition de l'espace administratif français. Par sa taille d'abord : avec 610 km² environ (soit un millième du territoire français et 3,8% de la région Franche-Comté), un peu moins de 140 000 habitants et 102 communes au recensement de 1999 (Carte 3.1.01), on a l'habitude de dire qu'il est le plus petit département de France métropolitaine (en réalité c'est faux : c'est le cinquième après les départements d'Ile de France). En superficie, il est donc à peine deux fois plus grand que la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS) et ses 306 km². Cette « petitesse » lui offre néanmoins des avantages et des particularités qui contribuent ici encore à le démarquer : le sentiment d'appartenance fort que peuvent avoir ses habitants, la prégnance d'un Conseil Général qui intervient ici et là comme ailleurs un conseil régional pourrait le faire, l'intérêt que la Direction départementale de l'équipement (DDE) peut porter pour des études qui ne concernent pas seulement les routes, dont l'espace départemental est d'ailleurs assez bien pourvu, etc.



1.1. Belfort : hier, aujourd’hui et demain

Cette particularité d’aujourd’hui est le fruit d’une histoire longue et complexe, qui a contribué à former, dans ce coin de l’Europe, à la suite des guerres et des investissements économiques, des territoires particuliers. Belfort, et son territoire sont en effet marqués à la fois par une position de carrefour européen (Carte 3.1.02), et par une histoire originale avec des changements d’appartenance. **Cette histoire complexe est liée à sa position frontalière, au croisement de différentes aires culturelles qui, le cas échéant, deviennent également des sphères politiques et économiques différentes. Complétée par des investissements économiques lourds, c’est cette histoire qui a fait l’originalité du Territoire de Belfort, et qu’il est nécessaire de connaître avant de se tourner vers l’avenir.** Ville industrielle et militaire, Belfort, dans le contexte économique actuel, est effectivement amenée à envisager son avenir sous des angles nouveaux. Malgré sa position stratégique qui a joué un rôle dans l’histoire à diverses reprises, l’agglomération se trouve actuellement à un tournant important de son évolution, car les activités anciennes sur lesquelles elle avait fondé sa prospérité se maintiennent de plus en plus difficilement.



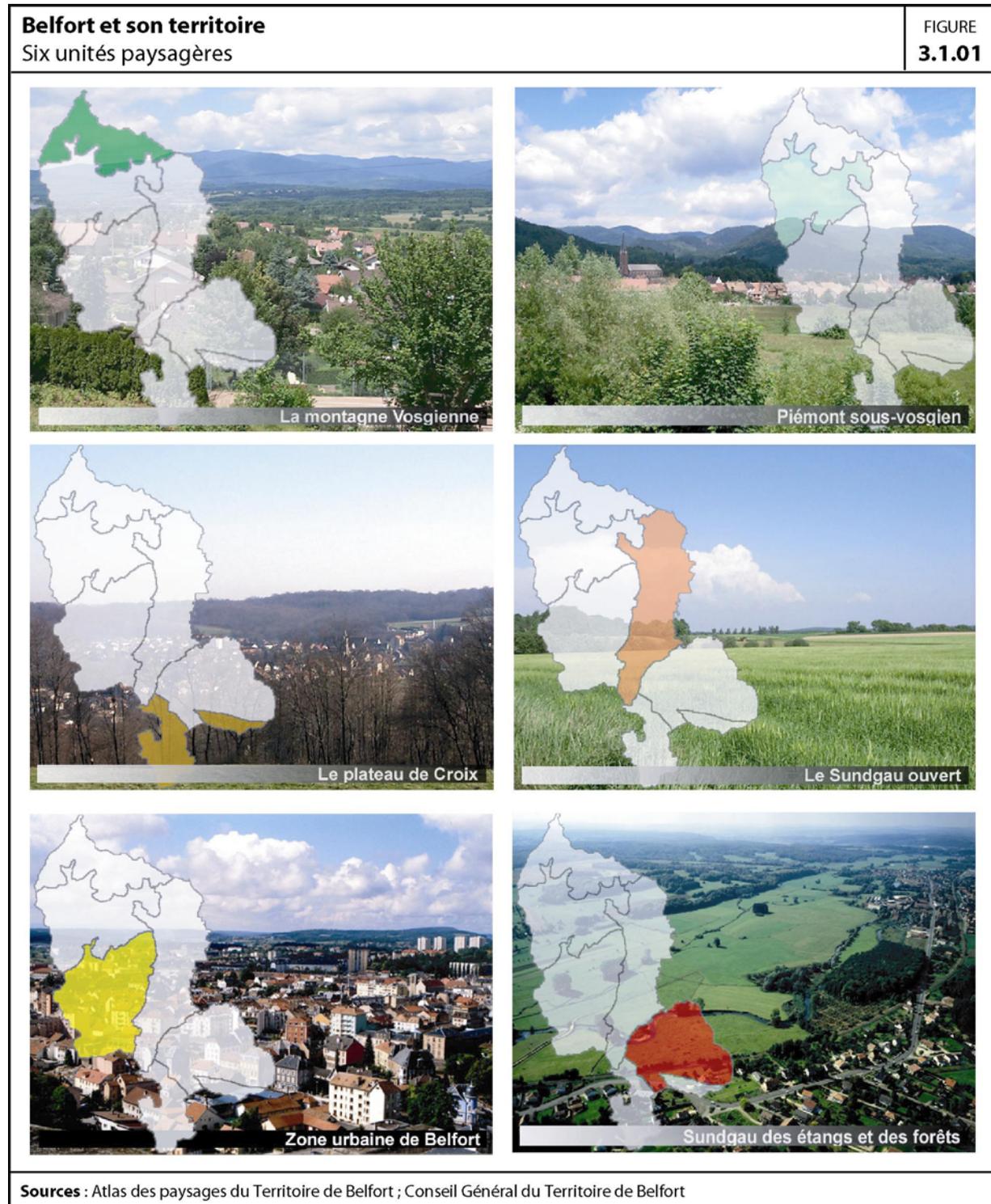
1.1.1. Une situation privilégiée en Europe

Entre le massif des Vosges au Nord et les plateaux du Jura au Sud, sur la ligne de partage des eaux du Rhin et du Rhône (et donc de la mer du Nord et de la Méditerranée), la ville de

Belfort et son Territoire offrent un espace d'échanges ancien entre l'Alsace et la Franche-Comté. L'implantation des réseaux de communication majeurs (principalement l'autoroute et la voie ferrée entre Strasbourg et Lyon) privilégie la position de Belfort sur l'axe Rhin-Rhône, au centre des trajectoires européennes ; elle affirme aujourd'hui son caractère de zone de passage traditionnelle entre l'Europe rhénane et la Méditerranée. Au niveau régional, l'autoroute A36 apparaît également comme la colonne vertébrale qui relie le Territoire et la ville de Belfort à ses proches voisines (Montbéliard et Mulhouse). Relayée par une voie rapide jusqu'à Montbéliard, l'autoroute permet l'accès à l'aéroport de Bâle-Mulhouse en 40 minutes (Carte 3.1.03). Sur le plan du transport ferroviaire, la gare de Belfort, ancien terminus stratégique des lignes, permet aujourd'hui de croiser les axes Strasbourg-Lyon et Paris-Bâle. La continuation de ce dernier vers Delle, qui permettrait le raccordement rapide des réseaux suisses et français, fait partie des débats actuels. A terme, la connexion de Meroux-Moval au réseau TGV par l'intermédiaire d'une nouvelle gare commune à Belfort et Montbéliard (dont la construction est prévue en 2008 ou en 2010), devrait conforter son rôle de carrefour. Ce développement apparaît en fait comme la continuation et le renforcement du rôle de ville de passage et de contact de Belfort. Sur le plan national comme sur le plan international, sa localisation a induit une histoire et des activités particulières dont la cité conserve encore une image forte, militaire et industrielle. Toutefois, si le Territoire de Belfort apparaît aujourd'hui finalement assez homogène sur le plan historique et économique, il regroupe des paysages différents dont la diversité est issue de la géographie de l'ensemble, entre les Vosges et le Jura.

L'Atlas des Paysages du Territoire de Belfort (l'un des quatre tomes de l'Atlas des Paysages de Franche-Comté), dont un bon nombre de résultats a été obtenu par l'exploitation d'images satellitaires, dénombre six unités paysagères qualifiant le Territoire de Belfort (Figure 1.01). C'est d'abord la montagne vosgienne (1), individualisée par des faciès paysagers qui combinent des reliefs très contrastés et des occupations du sol inégalement réparties : la forêt recouvre l'essentiel de la topographie et laisse les parties hautes en pelouse et les fonds de vallée en prairie. C'est ensuite le piémont sous-vosgien (2), caractérisé par une multitude de plans d'eau, une couverture forestière importante et par le développement des villages le long des principaux axes de circulation (le site du Conseil Général parle ici d'une « rurbanisation » qui consiste en « une urbanisation des communes rurales »). Viennent ensuite le Sundgau ouvert (3), cette large plaine rurbanisée qui s'étend de l'Est du département jusqu'à l'Alsace, et le Sundgau fermé des étangs et des forêts (4), qui présente une couverture forestière plus importante et des paysages qui se finissent généralement par une bordure de forêt. A la limite Sud du département, le plateau de Croix (5) présente également une importante couverture forestière qui enveloppe la totalité des premiers contreforts du Jura, et se desserre à mesure que l'on monte vers le plateau où les parcelles sont bien mises en valeur par l'agriculture. Enfin, la dernière unité paysagère est caractérisée par la région urbaine de Belfort (6). Contrainte vers le Nord par les reliefs du mont Salbert et par la forêt de Roppe, cette zone s'étire vers le Sud le long de l'axe naturel de la Savoureuse

et vers l'Ouest, où prend place un plateau qui appartient déjà au système jurassien. Vers l'Est, au contraire, la ville se dilue dans une campagne qui reste fortement peuplée, et très rapidement, la zone périurbaine de Belfort touche les limites de la Haute Saône et du Doubs.



1.1.2. Une vocation militaire et industrielle en changement

A la frontière de la Haute-Saône et du Doubs, du Haut-Rhin et de la Suisse, le Territoire de Belfort apparaît ainsi varié sur le plan topographique. Mais, il offre également une trouée stratégique indéniable (Carte 3.1.02). Quand il devient français au 17^{ème} siècle, le Territoire constitue en effet un enjeu géopolitique pour la défense de la frontière Est du pays. A la demande de Louis XIV, Vauban y entreprend alors, de 1687 à 1705, des travaux de fortifications, qui constituent aujourd'hui l'un des plus beaux exemples du deuxième système de fortification de l'ingénieur du Roy¹. Une garnison de plus de 2000 hommes va constituer, à cette époque, la principale source de revenus de la ville. Parallèlement, dès le 15^{ème} siècle, la richesse minérale de la région permet une importante exploitation de l'argent, du plomb et du fer. Au 18^{ème} siècle, cette exploitation trouve un premier relais industriel avec l'installation dans le Territoire des usines Japy, qui construisent des machines permettant de produire de manière automatique les pièces nécessaires au travail des horlogers. A partir de 1830, les exploitations industrielles se multiplient, notamment dans le canton de Giromagny, qui figure à l'époque parmi les plus industrialisés. Longtemps conditionné par son caractère militaire, le développement de Belfort et de son Territoire s'effectue alors autour de l'exploitation des forges et des hauts-fourneaux, de l'industrie minière, métallurgique et textile. Mais, le véritable essor industriel du Territoire de Belfort viendra des conséquences de la guerre de 1870, qui voit l'Alsace annexée à l'Allemagne. Certains industriels alsaciens, qui veulent conserver leurs marchés français sans entrer en concurrence directe avec la puissante industrie allemande décident alors de se délocaliser à Belfort (restée française) où ils trouvent à la fois la main d'œuvre qualifiée et les voies de communication leur permettant de rejoindre toute l'Europe. Ils y créent la SACM, qui devient Alsthom (Alsace Thomson) en 1928, et qui sera bientôt la principale industrie. Aujourd'hui, entre le site Peugeot-Citroën de Sochaux (20 km) et celui de Mulhouse (50 km), la ville de Belfort accueille toujours Alsthom (dont l'orthographe actuelle est Alstom) qui constitue encore un des pôles d'emplois les plus importants, comme l'a décrit A. Woessner (1996).

Qu'il s'agisse de routes ou de chemins de fer, le Territoire de Belfort se place ainsi au cœur d'un secteur industriel puissant, spécialisé dans les transports, et se trouve de ce fait qualifié de « pôle d'excellence dans les transports terrestres ». Relayé par des industries et des entreprises induites nombreuses et flexibles, ce secteur représente la majorité des emplois du Territoire. Néanmoins, pour soutenir les mutations économiques et

¹ Le premier système mis au point par Vauban est une reprise harmonieuse et raisonnée des idées des systèmes antérieurs, et en particulier de celui de Pagan. Son principal défaut est que l'action rapprochée et l'action lointaine sont assurées à partir d'une même crête ; si l'un des deux bastions est mis hors de combat, dans les deux bastions voisins, une face n'est plus défendue. Dans le deuxième système, Vauban pallie ce problème en séparant les ouvrages d'action lointaine et ceux de défense rapprochée. Il a également l'idée d'ériger des levées de terre que l'on nommera « cavaliers de tranchée » afin de permettre de dominer les positions de tir assiégées. Plus tard, ce système sera remplacé par un troisième système visant à renforcer la résistance de la place.

Population des communes du Territoire de Belfort en 1999				TABLEAU 3.1.01	
Communes		Habitants			
	Nombre	%	Nombre	%	
Communes rurales de :					
moins de 50 hab	1	1,0	33	0,0	
50 à 99 hab	2	2,0	113	0,1	
100 à 199 hab	13	12,7	1 935	1,4	
200 à 499 hab	39	38,3	11 934	8,7	
500 à 999 hab	14	13,7	9 650	7,0	
1000 à 1999 hab	3	2,9	3 743	2,7	
2000 hab et plus	1	1,0	2 154	1,6	
Total	73	71,6	29562	21,5	
Communes appartenant à une unité urbaine de :					
moins de 5000 hab	5	4,9	7 367	5,4	
5000 à 9999 hab	5	4,9	11 354	8,3	
10000 à 19999 hab	3	2,9	10 907	7,9	
20000 à 49999 hab	0	0,0	0	0,0	
50000 à 99999 hab	16	15,7	78 218	56,9	
100 000 hab ou plus	0	0,0	0	0,0	
Total	29	28,4	107 846	78,5	
Total des communes	102	100,0	137 408	100,0	
Sources : INSEE					

technologiques qui ont marqué le secteur industriel, de nouveaux secteurs sont en cours de développement, notamment la recherche et l'université. Le développement universitaire a rapidement offert de nombreuses filières de formation post-bac qui ont contribué au doublement du nombre d'étudiants en cinq ans. Ces brèches nouvellement ouvertes profilent une reconversion qui pourrait modifier fortement la ville de Belfort de demain.

Car, si le passé militaire et industriel de Belfort a marqué la ville de façon importante, tant dans son organisation que dans l'image qu'elle a créée, les traces de l'Histoire obligent à une interrogation indispensable sur la reconversion des anciens sites moteurs de la cité. La fin du service militaire et la professionnalisation de l'armée française contribue à modifier l'importance militaire, de plus en plus faible, que l'histoire a légué à la ville. La rétrocession de plus de 30 hectares de terrain au centre-ville par l'Armée, par exemple, a permis de limiter l'expansion périphérique de Belfort en favorisant un développement urbain endogène. Parallèlement à l'émiettement du patrimoine militaire, on assiste au déclin important de l'industrie traditionnellement motrice : Alstom fait aujourd'hui la une de l'actualité tant l'heure de son bilan peut parfois sembler proche. Sur le site de Belfort, elle libère ainsi de plus en plus de terrains, au centre, au fur et à mesure que ses ateliers ferment. Car, parallèlement au traumatisme social qu'il cause dans tout le Territoire, voire dans l'ensemble du Nord-Est de la Franche-Comté, ce déclin propre à certains secteurs industriels ouvre aujourd'hui des possibilités intéressantes de reconversion, en permettant

Les unités urbaines du Territoire de Belfort				TABLEAU 3.1.02	
Unités urbaines	Nb de communes	Pop. 1990	Pop. 1999	Evol. 90-99	
Belfort	17	77 844	79 365	+1,95	
dans le département	16	76 778	78 218	+1,88	
Delle	3	11 166	10 907	-2,32	
Beaucourt	3	8 497	8 232	-3,12	
dans le département	1	5 569	5 350	-3,93	
Giromagny	4	5 787	6 004	+3,75	
Châtenois-les-Forges	2	3 625	3 717	+2,54	
Bourogne	2	2 374	2 395	+0,88	
Sources : INSEE					

notamment à l'université de s'installer au centre. Parallèlement encore, la (re)découverte du patrimoine historique de la ville, ponctuée de randonnées dans les franges périurbaines vertes, devient l'un des axes de développement privilégiés.

Par ailleurs, on a vu qu'alors que la population de la ville de Belfort reste relativement stable depuis le milieu du siècle (autour de 50 000 habitants), le phénomène de périurbanisation agglomère une population de plus en plus nombreuse, dans les communes de la première, de la deuxième, voire de la troisième couronne. Le département se caractérise ainsi par un semis de communes de taille modeste, dominé par Belfort qui regroupe à elle seule près de 37% de la population. Parmi les 102 communes du département, 80 comptent moins de 1 000 habitants, et 10 seulement ont une population de plus de 2 200 habitants, dont 5 font partie de l'agglomération belfortaine (Tableau 1.01 et Tableau 3.1.02). On lit en effet sur le Tableau 1.01 que la majorité des communes (66 communes sur 102, soit près des deux tiers) sont des communes rurales (au sens de l'INSEE²), d'une population comprise entre 100 et 199 habitants (13 communes sur 102), entre 200 et 499 habitants (39 communes sur 102) et entre 500 et 999 habitants (14 communes sur 102). Par contre, parmi l'ensemble des unités urbaines (au sens de l'INSEE toujours³) du Territoire de Belfort (la préfecture), celle de Belfort est de loin la plus importante puisqu'avec 16 communes dans le département (17 en tout ; la commune de Challonvillars étant localisée en Haute-Saône) et 78 218 habitants, elle est plus de sept fois plus importante que celle de Delle (la sous-préfecture) avec ses 3 communes et ses 10 907 habitants.

1.2. Belfort, son Territoire et sa population : un espace original

Ainsi, si une brève description du Territoire de Belfort suffit pour que l'on saisisse l'originalité de ce département, il convient également de focaliser sur les spécificités et l'évolution de sa population pour découvrir qu'ici aussi, dans de nombreux cas, le Territoire apparaît comme un espace original, ou du moins, qu'il marque une différence par rapport aux tendances enregistrées en France ou dans les régions qui l'entourent. **Issue d'un contexte économique particulier, appuyée par une position frontalière, cette caractéristique démographique a contribué au maintien de la dynamique du Territoire de Belfort. C'est notamment parce qu'elle a su évoluer d'un contexte très industriel vers un développement technologique de pointe et des activités tertiaires, qu'elle continue aujourd'hui à en faire un espace moteur dans le Nord de la Franche-Comté.**

² Pour l'INSEE, les communes rurales sont celles qui n'appartiennent pas à une unité urbaine.

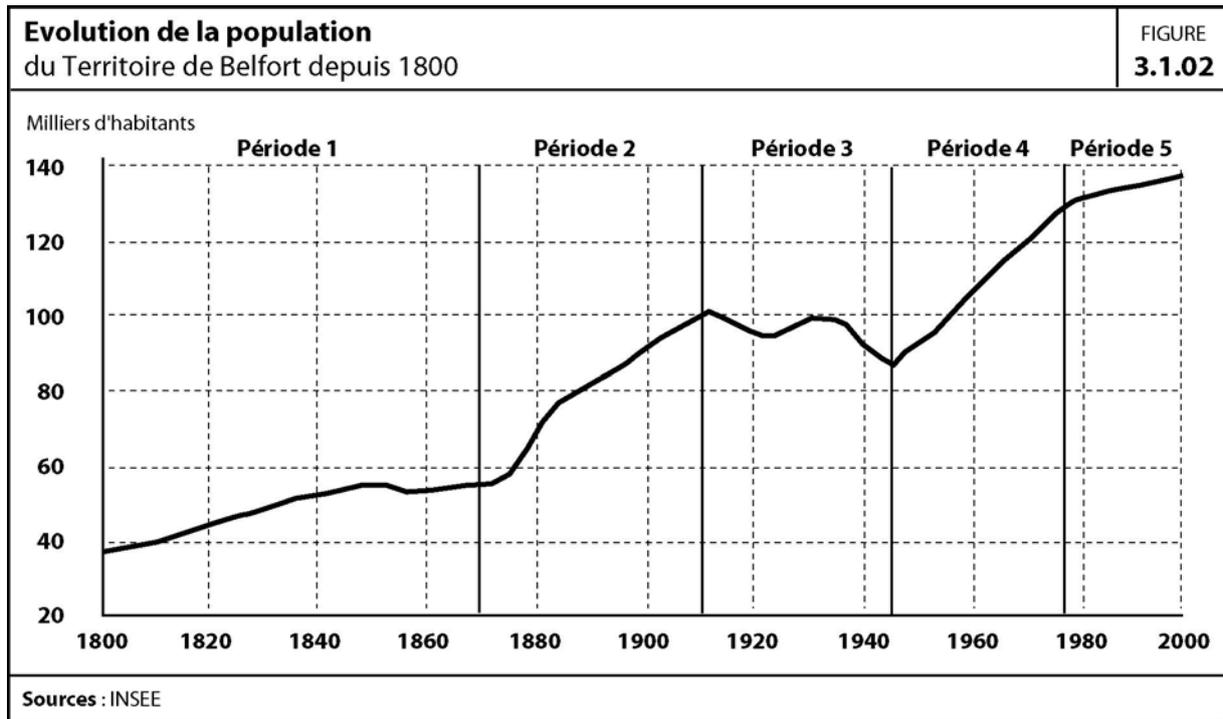
³ Rappelons que l'on entend par unité urbaine (d'après la définition de l'INSEE) une ou plusieurs communes sur le territoire desquelles se trouve un ensemble d'habitations qui représentent entre elles une continuité de bâti et comportent au moins 20000 habitants.

1.2.1. Evolution de la population

En 1999, le département du Territoire de Belfort compte environ 137 000 habitants, ce qui représente 0,2% de la population nationale et 12% de la population de Franche-Comté⁴, et qui le place au 91^{ème} rang des départements métropolitains, soit parmi les derniers. Si l'on considère par contre sa population en termes de densité, sa position est bien meilleure puisque avec 226 habitants / km², il se classe au 12^{ème} rang, juste après les Alpes-Maritimes et les Bouches-du-Rhône. Le Territoire a effectivement une densité de population deux fois supérieure à celle de la France et trois fois supérieure à celle de la Franche-Comté. Il apparaît donc comme un département atypique dans sa région. Mais, cet atypisme est relayé par la répartition des populations au sein du département : les communes à forte densité sont toutes concentrées dans la proximité immédiate de Belfort. Entre 1975 et 1999, l'INSEE (1999) note ainsi que la croissance de la population (qui concerne pourtant 90% des communes du département) s'est accompagnée d'un mouvement de cette même population : les plus fortes progressions de densité ont eu lieu dans les communes proches de Belfort, comme à Sevenans, Bavilliers, Essert et Andelnans (ces communes accueillent entre 130 et 260 personnes de plus au km² aujourd'hui par rapport à 1975). En terme de densités, le département n'apparaît donc pas uniforme, et les chiffres de l'INSEE montrent des disparités importantes : 670 habitants au km² dans le canton de Valdoie, 300 à Offemont, 240 à Chatenois-les-Forges et à Beaucourt, moins de 100 habitants par km² seulement à Fontaine et Giromagny.

En près de deux siècles, la population du Territoire de Belfort a ainsi été multipliée par deux, ce qui, rapporté à l'année, correspond à une progression de 0,7% par an en moyenne. On imagine bien cependant que cette évolution ne s'est pas faite de manière linéaire. Sur deux siècles, cinq périodes peuvent assez clairement se distinguer, en rapport avec le contexte politique de la région (Figure 3.1.02). Entre 1801 et 1866 (Période 1), le Territoire, qui est alors alsacien, bénéficie de la Révolution industrielle et attire une importante main d'œuvre rurale, selon un schéma similaire à celui que connaît l'ensemble de la France à la même période. Durant cette première période, la population croît de 0,6% par an en moyenne. C'est ensuite la défaite de la France face à la Prusse en 1870 (Période 2) qui a permis au Territoire de Belfort (qui se détache alors de l'Alsace grâce à sa résistance héroïque dont témoigne aujourd'hui encore le Lion, hommage au défenseurs de Belfort) de connaître un réel essor démographique. Terre d'exil, il accueille les alsaciens refusant de vivre à la mode prussienne (c'est pour cette raison également, on l'a vu plus haut, que l'entreprise Alstom, quittera Mulhouse pour s'installer dans le centre de Belfort). La population augmente ainsi de 1,5% par an en moyenne, et dépassera les 100 000 habitants à la veille de la Grande Guerre (1914-1918), juste avant que le Territoire ne paye un lourd tribut lors des deux guerres mondiales : il

⁴ Rappelons que la région Franche-Comté se compose de quatre départements : la Haute-Saône, le Doubs, le Jura et le Territoire de Belfort.



perd 15 000 habitants entre 1911 et 1946, soit proportionnellement six fois plus d'hommes que le reste de la France (Période 3).

L'après-guerre ouvre alors une nouvelle période, marquée par une évolution démographique fulgurante, qui durera jusqu'à la crise pétrolière de 1975 (Période 4). Durant cette période (les « Trente Glorieuses »), comme l'ensemble de la France, le département connaît un essor économique important, qui lui permet de gagner en moyenne 1 400 habitants par an, soit une progression annuelle de 1,4%, du fait de migrations de main d'œuvre, issue soit des campagnes, soit de l'étranger. Entre 1975 et 1999 enfin (Période 5), la croissance démographique se ralentit et se réduit à +0,3% en moyenne. Deux facteurs principaux, intervenant chacun sur une composante différente de la population permettent d'expliquer cette diminution. En premier lieu, l'immigration venue de l'étranger connaît un coup d'arrêt suite à la crise économique qui touche tout le Nord de la Franche-Comté : les arrivées se réduisent pendant que les départs s'accroissent ; les Belfortains quittent leur département pour trouver du travail, et le déficit migratoire atteint son maximal durant la période 1982-1990. Cette situation, bien qu'en s'améliorant, continue sur la période intercensitaire suivante. Entre 1975 et 1999, de surcroît, le nombre de naissances diminue (ce qui s'explique par une tendance inscrite à long terme depuis le milieu du 18^{ème} siècle, et intensifiée par le développement des moyens de contraception propre aux années 1960) pendant que le nombre de décès reste stable. L'excédent naturel (naissances - décès) ne permet donc plus d'assurer une croissance forte et maintenue de la population. Comme le montre le Tableau 3.1.03, la croissance de la population depuis 1968 est pourtant toujours majoritairement due au solde naturel par rapport au solde migratoire. Mais, depuis 1975, ces

deux soldes se sont inversés : le solde migratoire⁵ fait perdre de la population ; mais il est très largement compensé par le solde naturel, ce qui permet, en définitive, de maintenir une croissance de population dans tout le département. De surcroît, si l'on analyse les caractéristiques de la population concernée par ces départs (Tableau 3.1.04), on constate que les populations qui quittent le Territoire de Belfort sont en général les moins diplômées, les personnes sans activité professionnelle, ceux qui ont entre 30 et 34 ans.

Croissance de la population du Territoire de Belfort de 1968 à 1999				TABLEAU 3.1.03
	1968-1975	1975-1982	1982-1990	1990-1999
Population en début de période	118 450	128 125	131 999	134 097
solde naturel	+ 6 411	+ 5 204	+ 5 803	+ 5 828
solde migratoire	+ 3 264	- 1 330	- 3 705	- 2 517
Population en début de période	128 125	131 999	134 097	137 408
Sources : INSEE				

⁵ Note méthodologique concernant les chiffres présentés dans cette partie : « le solde migratoire global est la résultante des échanges avec le reste de la France métropolitaine ainsi qu'avec la France d'outre-mer et l'étranger » (INSEE, 1999)

Arrivées et départs de population dans le Territoire de Belfort entre 1982 et 1990			TABLEAU 3.1.04
- SELON LE NIVEAU DE DIPLOME -			
	Arrivées	Départs	Solde migratoire
Moins de 15 ans ou études en cours	6 584	7 998	- 1 414
Diplômes non déclarés ou CEP	3 388	440	- 1 043
BEPC, CAP, BEP	4 068	4 756	- 688
Bac ou plus	4 500	5 080	- 580
Ensemble	18 540	22 263	- 3 725
- SELON LA CATEGORIE SOCIO-PROFESSIONNELLE -			
	Arrivées	Départs	Solde migratoire
Agriculteurs exploitants	4	48	- 40
Artisans, commerçants, chef d'entreprise	404	624	- 220
Cadres et prof. intellectuelles supérieures	1 496	1 732	- 236
Professions intermédiaires	2 320	2 700	- 380
Employés	2 464	2 740	- 276
Ouvriers	2 450	2 771	- 321
Retraités	1 024	1 596	- 572
Autres sans activité professionnelle (notamment scolaires et femmes au foyer)	8 374	10 054	- 1 680
Ensemble	18 540	22 265	- 3 725
- SELON L'AGE -			
	Arrivées	Départs	Solde migratoire
0 - 14 ans	4 909	5 508	- 599
15 - 29 ans	6 267	7 112	- 845
30 - 34 ans	5 980	7 405	- 1 425
55 ans et plus	1 384	2 240	- 856
Ensemble	18 540	22 265	- 3 725
- SELON LE SEXE -			
	Arrivées	Départs	Solde migratoire
Hommes	9 615	11 157	1 512
Femmes	8 925	11 108	- 2 183
Ensemble	18 540	22 265	- 3 725
Sources : INSEE			

Ainsi, si l'on constate que, malgré un solde migratoire négatif depuis 1975, la population augmente sur l'ensemble du département, cette croissance ne se répartit pas également dans l'espace ; elle touche prioritairement les communes appartenant à l'aire urbaine de Belfort.

Durant tout le 20^{ème} siècle en effet, les communes de la banlieue de Belfort ont connu une forte augmentation démographique : Offemont, Eloie, Cravanche, Andelnans, Bavilliers, Valdoie ou encore Sévenans, ont vu leur population multipliée par trois ou plus. A l'heure actuelle, six des dix plus grandes villes du département font donc partie de l'unité urbaine de Belfort (Tableau 3.1.05). *A contrario*, les communes au Nord du département ont perdu des habitants ; Rougement-le-Château, Lepuix et Ettueffont, par exemple, ne font plus partie des dix plus grandes communes comme cela était le cas en 1891. Les dernières évolutions semblent également montrer que les communes qui sont en progression sur le plan démographique sont actuellement les petites communes, de moins de 500 habitants. Il semble donc qu'elles témoignent elles aussi d'un phénomène de rurbanisation, puisque ces petites communes se situent généralement à proximité de Belfort, ou bien à proximité de l'autoroute A36 ou de la route nationale N83 (Carte 3.1.02), permettant de rejoindre rapidement le centre-ville en automobile individuelle.

Les dix premières communes depuis un siècle dans le territoire de Belfort			TABLEAU 3.1.05
Communes	Populations		
	1891	1999	Variation en %
Belfort	25 455	50 421	+ 98.1
Delle	2 306	6 627	+187.4
Beaucourt	4 514	5 350	+18.5
Valdoie	1 665	4 843	+190.9
Bavilliers	1 290	4 587	+255.6
Offemont	522	3 970	+660.5
Danjoutin	1 726	3 383	+96.0
Giromagny	3 505	3 302	-5.8
Grandvillars	2 376	2 965	+24.8
Essert	976	2 745	+181.3

Sources : INSEE

1.2.2. Une population qui bouge

On a vu que depuis la fin de la deuxième guerre mondiale et jusqu'en 1975 (date qui marque une rupture), les échanges migratoires du Territoire de Belfort ont toujours été excédentaires : le département a accueilli plus de personnes que d'autres ne l'ont quitté. Ainsi, en une trentaine d'années, le département a gagné environ 14 000 habitants par le simple jeu de ces migrations. Mais, on a vu également qu'à partir de 1975, les choses changent assez profondément : les départs de population deviennent plus nombreux que les arrivées. Il convient donc de s'intéresser particulièrement à ces départs, d'une part pour voir

ce qu'ils représentent aux niveau régional et national, et d'autre part, pour connaître les lieux de destination vers lesquels ils distribuent la population originaire du Territoire de Belfort. La période 1982-1990, apparaît certainement comme celle pour laquelle la situation se dégrade de la façon la plus considérable, puisque le Territoire de Belfort est alors l'un des départements français où le déficit migratoire rapporté à la population est le plus important (20^{ème} rang des déficits les plus forts, presque aussi touché que la Haute-Saône qui se situe au 17^{ème} rang sur la même période). Depuis 1990, ce déficit est à nouveau moins fort et le Territoire de Belfort se situe autour du 26^{ème} rang (Tableau 3.1.06).

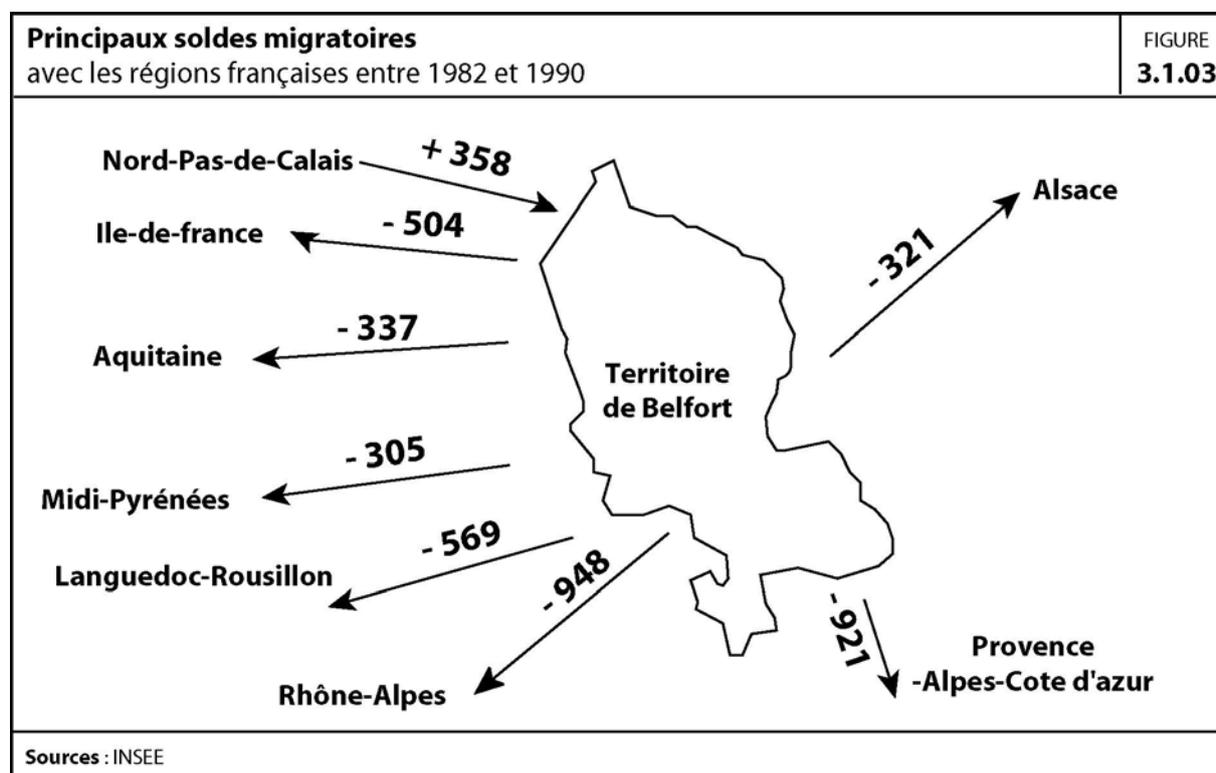
Composantes de l'évolution de la population dans le territoire de Belfort		Taux de variation annuel de la population dû au solde ...		
		naturel	migratoire	total
Territoire de Belfort				
1968-1975		+ 0.75	+ 0.38	+ 1.13
1975-1982		+ 0.57	- 0.15	+ 0.42
1982-1990		+ 0.55	- 0.35	+0.20
1990-1999		+ 0.47	- 0.20	+0.27
France-Comté				
1968-1975		+ 0.78	+ 0.17	+ 0.95
1975-1982		+ 0.58	- 0.26	+ 0.32
1982-1990		+ 0.49	- 0.33	+ 0.15
1990-1999		+ 0.36	- 0.17	+ 0.19
France (métropole)				
1968-1975		+ 0.58	+ 0.23	+ 0.81
1975-1982		+ 0.40	+ 0.07	+ 0.46
1982-1990		+ 0.41	+ 0.10	+ 0.51
1990-1999		+ 0.36	- 0.01	+ 0.35

Sources : INSEE (Unité = pourcentage)

La rupture de 1975 apparaît essentiellement liée à la crise industrielle, et, comme dans le département du Doubs, elle s'est démographiquement traduite par un arrêt de l'immigration étrangère. Depuis les années 1950, en effet, il avait été fait appel à cette main d'œuvre venue de l'étranger, mais également à une main d'œuvre rurale (venue de Haute-Saône pour une grande part) pour répondre aux besoins de l'industrie. Mais, dans le même temps, le Territoire de Belfort se retrouvait déficitaire vis-à-vis des autres régions françaises dans la mesure où il ne pouvait parvenir à offrir des débouchés suffisants à ses propres résidents, notamment aux plus qualifiés.

Dans les années 1980, les échanges de population les plus nombreux se sont fait avec l'Alsace, mais, au fil du temps, ils sont de moins en moins déficitaires. C'est alors vers les

région Rhône-Alpes, l’Ile de France, Provence-Alpes-Côte d’Azur que les départs nets (c’est-à-dire les départs moins les arrivées) sont les plus nombreux, surtout en ce qui concerne la population active (Figure 3.1.03).



L’évolution des échanges avec les autres départements comtois semble cependant suivre une logique différente : l’attrait des actifs de Haute-Saône s’est en effet ralenti depuis les années 1970, mais de nombreux habitants de Montbéliard et de ses périphéries sont venus s’installer dans le Territoire de Belfort. Cette situation est probablement liée à la périurbanisation de la ville de Montbéliard et à sa proximité géographique de Belfort (15 km), qui touche les cantons de Châtenois-les-Forges et de Grandvillars. Le Territoire de Belfort, comme dans certains cas la ville de Belfort, a donc offert une alternative résidentielle à certains actifs travaillant dans la zone de Montbéliard. Mais, durant la même période, des habitants du Territoire se sont installés à la périphérie de Belfort, et compte tenu de la proximité géographique encore, jusqu’en Haute-Saône, même si, sur la période 1975-1982, ces départs sont bien moins nombreux que les arrivées depuis Montbéliard.

A l’origine de ces migrations interdépartementales, on soupçonne un mécanisme foncier, qui pousse les populations professionnellement installées dans un département à choisir leur résidence dans un autre département de manière à pouvoir bénéficier d’un différentiel rentable entre le salaire reçu dans l’un et le loyer (ou le prix de l’accession) payé dans l’autre.

Ce phénomène est bien connu avec la Suisse, et montre que le Territoire de Belfort est fortement dépendant de ses voisins et de leur évolution économique. Les zones d'emploi⁶ de Montbéliard, de Lure-Luxeuil, mais également le Sud de l'Alsace et la Suisse accueillent un nombre important de Belfortains travaillant hors de leur département : 11 000 personnes en 1990. Parallèlement, 7000 personnes habitant à l'extérieur seulement viennent travailler dans le Territoire. Au total, on dénombre donc plus de 18 000 personnes qui, chaque jour, traversent la limite du département dans un sens ou dans l'autre, dans le cadre de migrations domicile-travail (MDT). En 1990, ce sont ainsi environ 1 700 Belfortains qui travaillent en Suisse (dans les entreprises de l'Ajoie dans le Canton du Jura, principalement), et qui viennent pour la plupart de Delle, Grandvillars, Beaucourt, ou des communes environnantes. L'essentiel des échanges se fait néanmoins majoritairement avec le Pays de Montbéliard : en 1990, 6 600 actifs y travaillaient, majoritairement dans les usines du groupe PSA (Peugeot-Citroën) à Sochaux. Mais, il s'agit ici essentiellement de personnes venues des Cantons de Chatenois-les-Forges et de Beaucourt. Dans le sens Montbéliard-Belfort, les flux sont nettement moins importants : le Territoire apparaît donc fortement déficitaire vis-à-vis de Montbéliard. Il l'est également vis-à-vis de Mulhouse, et n'apparaît attractif que pour la zone d'emploi de Lure-Luxeuil (canton de Champagny par exemple). Aujourd'hui, les Belfortains employés hors du département semblent néanmoins moins nombreux qu'il y a dix ans : la grande majorité d'entre eux travaillait dans la zone de Montbéliard où l'emploi a diminué. Le travail frontalier a également diminué, au profit de l'emploi à l'intérieur du département qui, lui, a favorablement évolué. Dans les années 1980, la région de Montbéliard a en effet été fortement touchée par la crise et la restructuration des industries qui a suivi. En conséquence, les migrations résidentielles vers le Territoire de Belfort ont diminué elles aussi, en même temps que la population de Montbéliard a décliné. Associé à la dégradation du solde migratoire avec Besançon, lié au départ des étudiants, ceci permet d'expliquer la dégradation du solde migratoire de Belfort. Toutefois, le Territoire de Belfort reste attractif pour de nombreux jeunes actifs qui viennent de Haute-Saône ou de Montbéliard. Le déficit migratoire de jeunes est donc globalement plus ou moins limité. Depuis les années 1990, la reprise économique et le développement de l'enseignement supérieur (Université Technologique de Belfort-Montbéliard localisée à Sévenans) permettent au Territoire de Belfort de se maintenir dans une situation relativement stable : la population sur place est maintenue, et le département attire des étudiants.

⁶ « Un découpage de la France en zones d'emploi a été élaboré en 1983. Il est principalement basé sur les Migrations Domicile-Travail, calculés à partir des recensements de la population. Ces flux d'actifs structurent l'espace national en zones plus ou moins homogènes. Les treize zones d'emploi de Franche-Comté s'inscrivent dans le territoire régional. Elles respectent les limites cantonales et celles des départements du Jura et du Territoire de Belfort. Ce découpage est reconnu par les diverses instances régionales et est largement utilisé pour les études locales. Révisé en 1993, il n'y a pas eu de modification pour la Franche-Comté. Le territoire de Belfort et la zone d'emploi de Belfort se confondent » (INSEE, 1999).

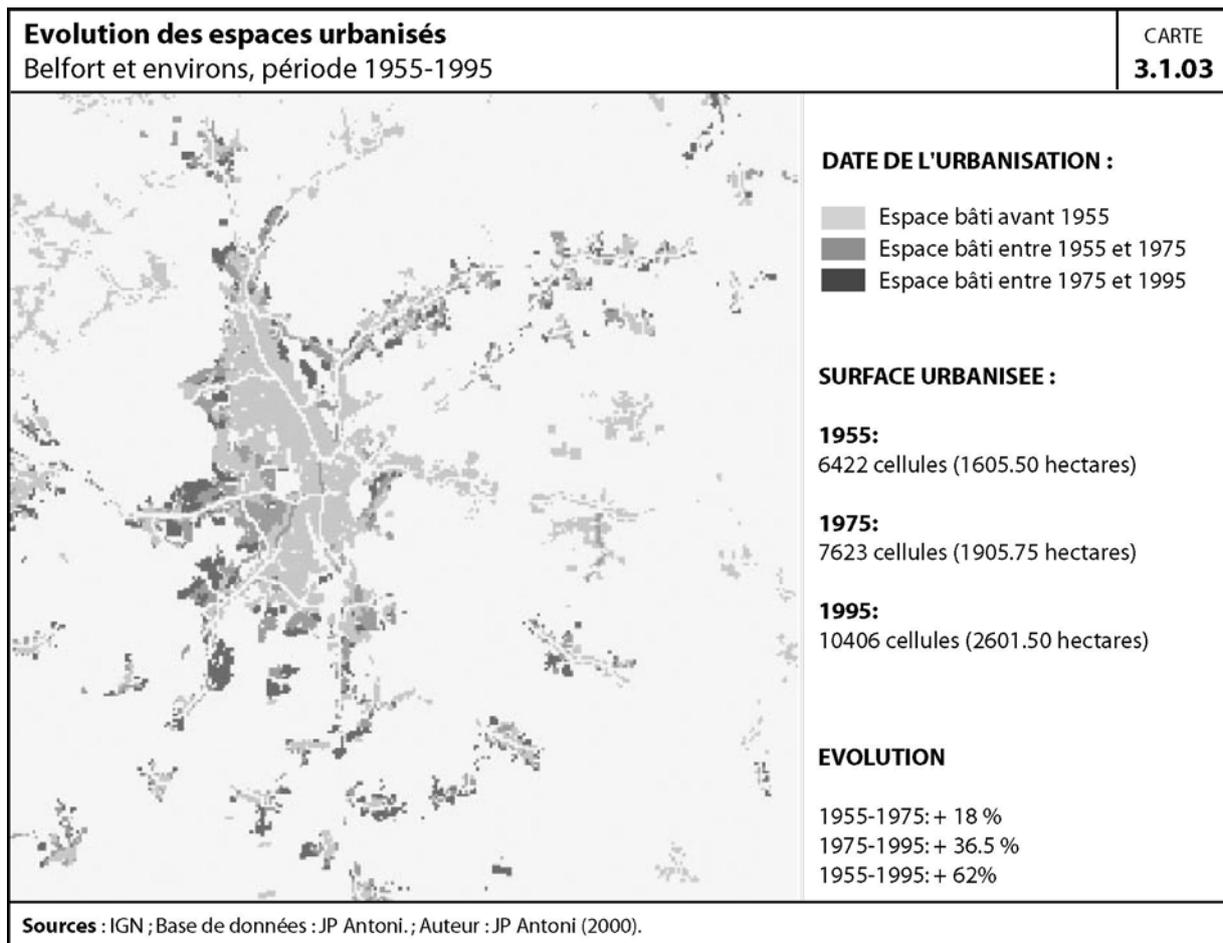
On voit donc bien à travers ce bref descriptif de Belfort, son territoire et sa population, que l'évolution est historiquement toujours très fortement dépendante de la guerre mais aujourd'hui surtout de l'économie régionale. Or, à l'heure actuelle, l'ancienne stabilité assurée par la puissance industrielle de la région (le « pôle d'excellence dans les transports terrestres » assuré par le groupe PSA (Peugeot-Citroën), Alstom, leurs filiales et leur sous-traitants) nécessite une évolution pour se maintenir dans le nouveau contexte économique. L'avenir de Belfort et de sa population apparaît donc fort incertain, et pose la question prospective de l'avenir du territoire. D'autre part, la structure démographique du Territoire montre bien que la répartition des populations ne se fait pas de manière égale dans tout le département, mais se concentre autour de Belfort, qui regroupe près de la moitié de la population départementale. **La majorité des hommes et des activités se situe donc dans les couronnes périurbaines considérées lors de la mise en place de la base de données carroyée. Ainsi, pour préparer les simulations qui mèneront à la prospective territoriale, il est tout à fait possible d'interroger cette base de données spatio-temporelle, de manière à visualiser et à quantifier les changements qui ont accompagné l'évolution de l'aire urbaine depuis les années 1950 : à Belfort, compte tenu de la taille et de la situation particulière de la ville, peut-on considérer que l'urbanisation a correspondu à un processus d'étalement urbain ?**

2. Belfort : une ville qui s'étale ?

On saisit bien ici, en focalisant l'attention sur l'espace urbain (c'est-à-dire l'espace auquel correspond la base de données spatio-temporelle construite au Chapitre 2.1), que la succession d'informations cartographiques dans le temps nous permet de visualiser et de comparer l'évolution de la majorité des communes les plus dynamiques du Territoire de Belfort, celles dans lesquelles les changements ont été les plus forts. L'espace communal de Belfort, sa première et sa deuxième couronnes, enregistrent en effet les plus fortes progressions depuis la fin de la deuxième guerre mondiale au moins, qu'il s'agisse du plan démographique ou du plan économique. Or, on a vu que cet espace urbain et ses périphéries correspondent également au « terrain de jeu » du processus d'étalement urbain (cf. Chapitre 1.1). Ainsi, c'est sur cet espace également que l'urbanisation a été la plus forte du département, et qu'elle s'est traduite par les plus fortes modifications dans l'arrangement des espaces urbains, en mettant en place une nouvelle dialectique entre le centre et les périphéries. Ces modifications se mesurent autant sur l'espace que sur la répartition de la population au sein de cet espace, mais n'apparaissent ni au même moment, ni au même endroit, caractérisant ainsi les principaux traits généralement associés à l'étalement urbain.

2.1. Des modifications sensibles depuis 1955

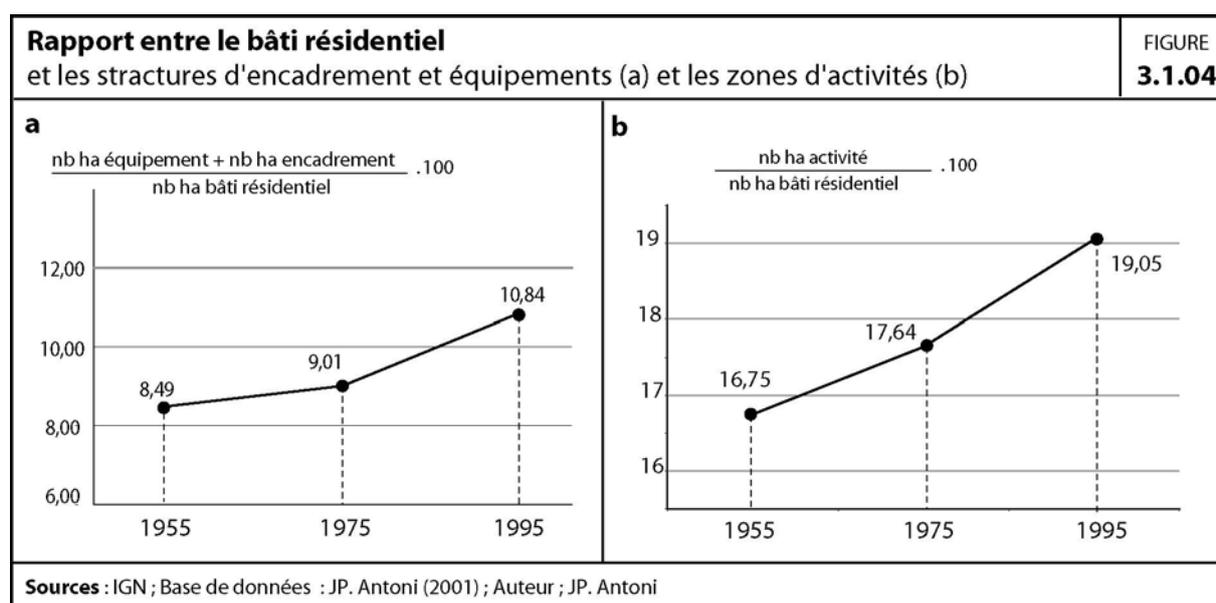
La confrontation des documents cartographiques représentant la ville de Belfort et ses environs sur plusieurs dates permet de saisir l'importance des modifications qui y sont survenues. Par l'intermédiaire du carroyage, il est en effet possible de comparer l'espace urbain, cellule par cellule, et de comptabiliser celles qui ont évolué entre 1955 et 1995. Par exemple, il est tout à fait possible de cartographier les cellules codées dans les catégories de « bâti résidentiel » (soit les catégories suivantes : 4. Bâti individuel, 5. Bâti dense, 6. Bâti collectif, 7. Equipement ; 8. Structures d'encadrement, 9. Zones d'activités)⁷. Globalement, on peut lire sur la Carte 3.1.03, résultant de cette opération, que l'espace urbain est en progression constante depuis 1955 dans l'agglomération belfortaine. Cette première lecture peut être mise en regard avec l'évolution de la population sur le même espace, pour la même période. On cherche alors à savoir ce qui s'est passé, à la fois sur le plan des surfaces bâties et sur le plan des populations.



⁷ Pour les définitions de ces différentes catégories d'occupation du sol, on se référera au Chapitre 2.1.

2.1.1. Sur le plan des surfaces bâties

Comme le montre la Carte 3.1.03, les zones bâties sont globalement en forte hausse entre 1955 et 1995 : on mesure une augmentation de près de 58% en quarante ans, ce que signifie que dans cet intervalle, la ville a augmenté de la moitié d'elle-même. Mais, parmi ces zones bâties, ce sont les espaces non résidentiels qui augmentent le plus (+81,3% contre 50,9% pour les espaces résidentiels). Proportionnellement, les « équipements », les « structures d'encadrement » et les « zones d'activité », on donc augmenté plus rapidement que l'habitat, qu'il s'agisse d'habitat collectif, dense ou individuel. L'étalement urbain constaté sur la période semble donc plus lié à un desserrement des activités, des structures d'encadrement et des équipements que de l'habitat à proprement parler. Il est néanmoins fort probable – mais on ne peut ici qu'en faire l'hypothèse – que ce soit l'augmentation de l'habitat résidentiel qui est mené à l'augmentation des structures d'encadrement (qui progressent de +114,5%), et des « équipements » (+76%), ce deux catégories ayant évolué plus massivement que les zones d'activités et les zones commerciales (+76,5%). On constate effectivement ici que le nombre de cellules « équipement » et « encadrement » par cellule de bâti résidentiel, qui était de 0,0849 en 1955, passe à 0,0901 en 1975 et à 0,1084 en 1995, comme le montre la Figure 3.1.04a. Ceci semble bien signifier que **l'évolution des surfaces bâties s'accompagne d'une augmentation des équipements et des structures d'encadrement : plus la ville s'agrandit, plus elle est équipée et plus elle est encadrée**. On peut procéder à un exercice équivalent pour estimer le rapport entre l'augmentation des surfaces bâties résidentielles, et des zones d'activités (industriels ou de commerce). La Figure 3.1.04b permet de tirer la même conclusion : l'espace occupé par les zones d'activités est de plus en plus important (en proportion) au fur et à mesure que la ville s'agrandit, passant d'un rapport de 0,1675 cellules « activité » par cellule de bâti résidentiel en 1955, à 0,1764 en 1975, puis 0,1905 en 1995.



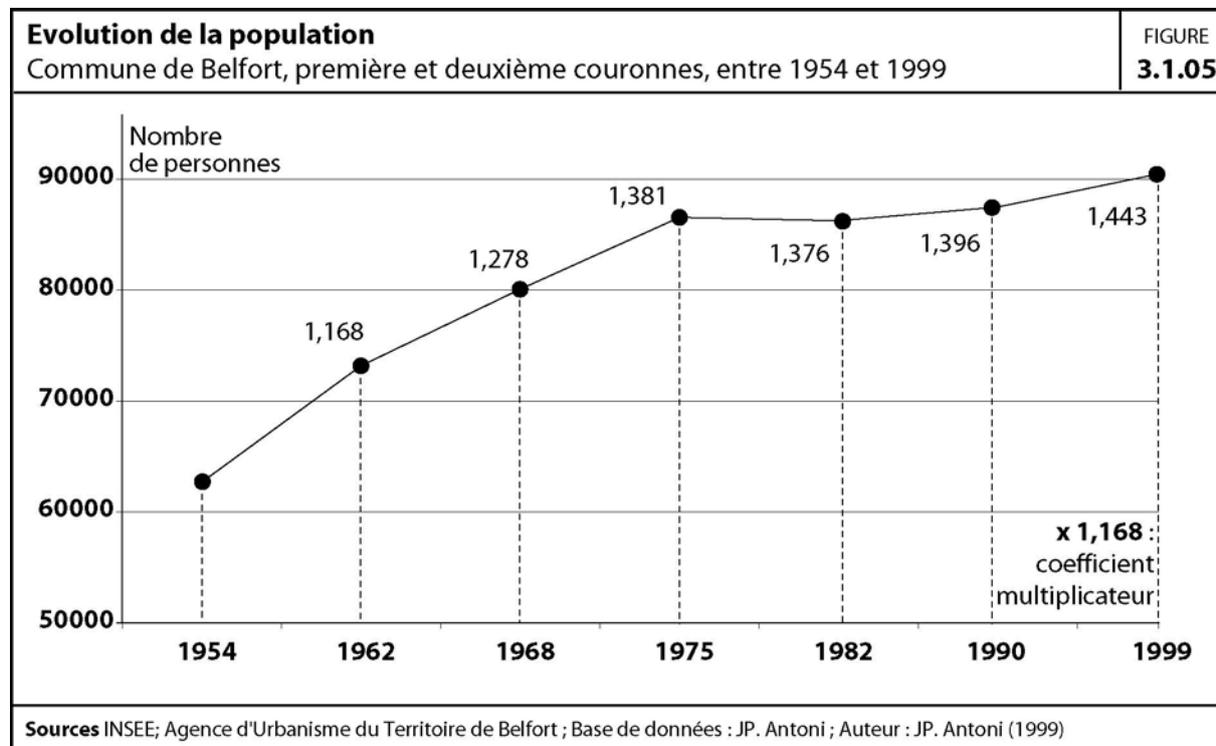
Ces chiffres globaux peuvent néanmoins être nuancés période par période, puisque sur le plan de la composition des espaces bâtis, l'augmentation diffère entre la période 1955-1975 et la période 1975-1995. En effet, l'urbanisation est plus forte dans la seconde période que dans la première, avec des progressions respectives de 15,8%, puis de 34,4%, pour l'ensemble des espaces bâtis. Les rapports opposant l'augmentation du bâti résidentiel et du bâti non-résidentiel restent cependant équivalents à la période générale : respectivement 15,66% et 23% entre 1955 et 1975, 30,5% et 47,4% entre 1975 et 1995. Toutefois les espaces non-résidentiels restent minoritaires par rapport aux espace résidentiels tout au long de la période d'étude. Ils représentent 22,25% de la surface bâtie totale. **L'évolution de l'urbanisation, appréhendée par l'intermédiaire quantitatif des cellules constituant la base de données carroyée, permet donc tout à fait de penser que la ville de Belfort s'est étalée. Mais, le processus d'étalement urbain ne correspond pas uniquement à une augmentation des espaces urbanisés ; il s'associe aussi à une différenciation des densités, qui demande à ce que les hommes et les activités qui prennent place sur ces espaces soient également pris en compte.** L'ensemble permet alors de saisir des changements sur le plan des densités, et de confirmer, dans l'agglomération de Belfort la mise en œuvre d'un processus d'étalement urbain, qu'on ne peut pour autant dissocier de particularités spécifiques et propres à l'agglomération de Belfort.

2.1.2. Sur le plan de la population

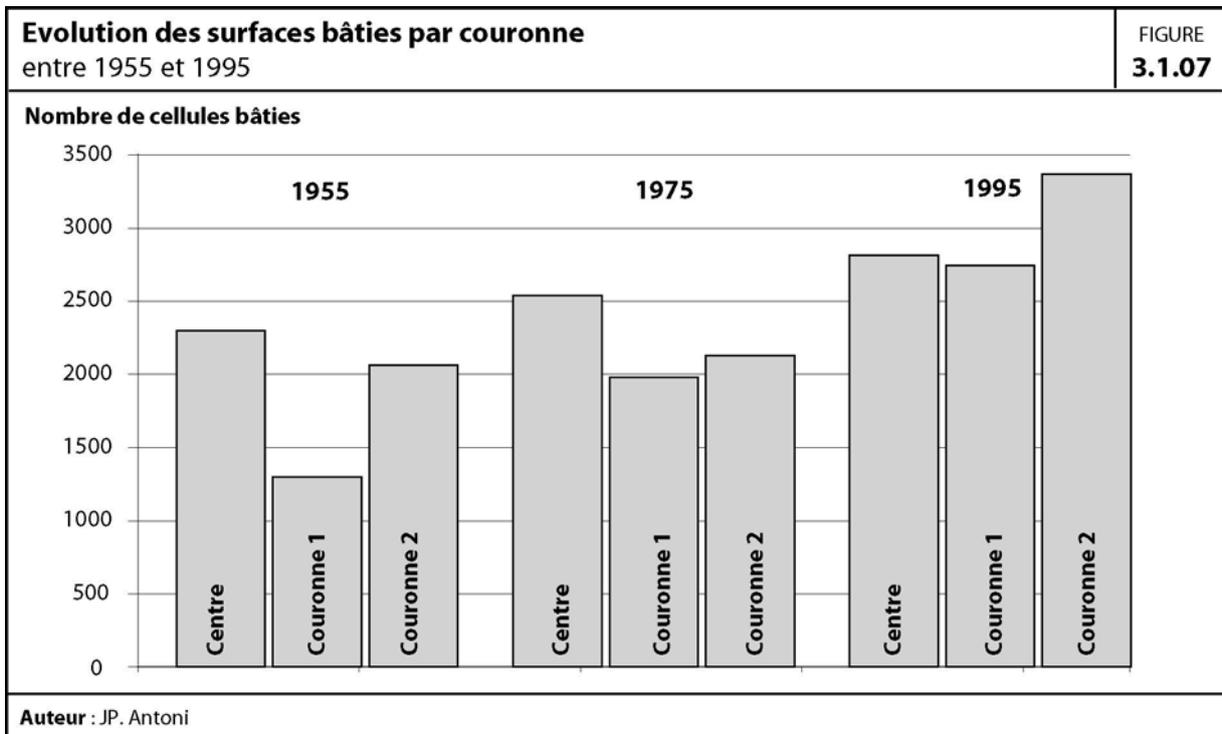
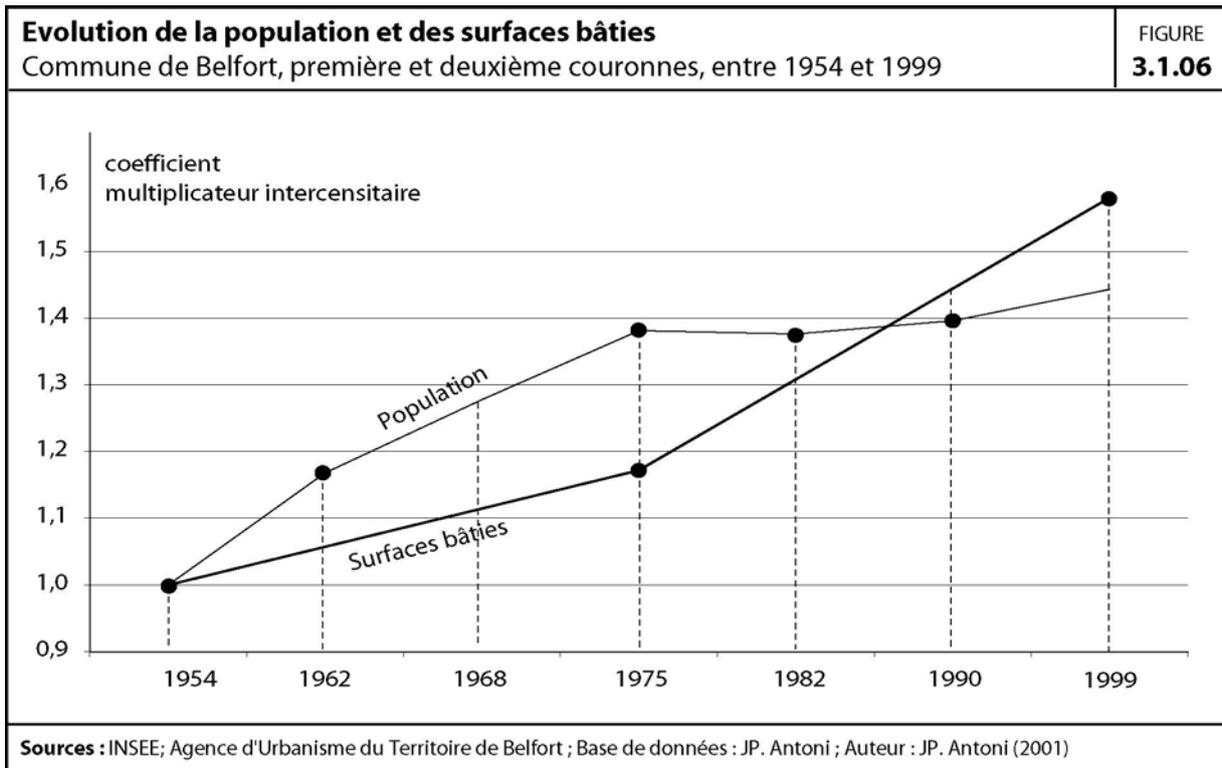
La meilleure façon d'étudier l'évolution de la population de Belfort et de ses périphéries, consiste très certainement à utiliser directement⁸ les chiffres des différents RGP de l'INSEE. Au total, sept recensements intéressent la période étudiée (1955-1995) dans la base de données spatio-temporelle : 1954, 1962, 1968, 1975, 1982, 1990 et 1999, soit des jeux de données bien plus importants que ceux qui concernent l'évolution des zones bâties. Ceci ne doit pas empêcher de comparer l'évolution de la population avec l'évolution des surfaces bâties. Mais, cette comparaison doit s'accompagner d'un certain nombre de précautions, insistant sur le fait que pour une part, ces données ne sont pas comparables. De surcroît, la mise en place de la base de données cellulaire prend en compte en espace réduit, composé de trois couronnes (centre, première et deuxième couronnes ; les deux dernières correspondant globalement aux espaces périurbains et rurbains), centrées autour de Belfort. Les populations sont donc elles aussi prises en compte à l'intérieur de ce même espace, qui constitue le terrain d'étude du processus d'étalement urbain. La Figure 3.1.05 montre les principales évolutions de cette population, en nombre d'habitants et en proportion d'évolution. On y lit assez aisément une rupture dans la courbe : à partir de 1975, la population augmente

⁸ On se réfère alors directement aux Recensement Généraux de la Population (RGP) originaux de l'INSEE : les cahiers oranges (qui sont d'ailleurs verts pour les périodes les plus anciennes), disponibles à l'Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort. Une partie de ces chiffres n'existe pas sous forme numérique. Par souci de comparabilité (certaines définitions ont évolué dans le temps), toutes les populations prises en compte sont des populations brutes.

globalement toujours, mais de façon bien moins importante qu'avant 1975 ; on observe d'ailleurs une diminution de la population entre 1975 et 1982, celle-ci passant alors (dans l'ensemble des communes considérées dans l'étude) de 86 542 à 86 231 habitants.



Cette rupture peut être mise en rapport avec l'évolution des surfaces bâties mesurée précédemment, mais avec ce problème cependant que nous ne disposons pas pour le bâti de données relevées à la même fréquence que les populations. La Figure 3.1.06 montre (à partir d'une base commune ramenée à 1 pour les deux variables) l'évolution de la population totale d'une part, et l'évolution des surfaces bâties totales d'autre part. Sur chacune de ces courbes, on lit une rupture en 1975 ; mais ces ruptures génèrent des directions inverses : alors que dans la première période, les surfaces et la population évoluent à peu près parallèlement, l'urbanisation augmente avec une force plus rapide que celle de la population dans la deuxième période. L'année censitaire 1975 marque donc une inversion : à partir de cette date, les surfaces bâties augmentent plus rapidement, alors que la population augmente moins rapidement. **Il y a une inversion des rapports qui confirme l'idée d'une plus forte consommation d'espace par habitant (baisse de la densité), et participe à la caractérisation de l'étalement urbain de la ville de Belfort.**



Mais, on a vu que, sur le plan théorique (Partie 1), une baisse de densité ne peut constituer un processus d'étalement urbain que si elle intervient en périphérie des villes. Par définition, l'étalement urbain correspond effectivement à un processus « qui privilégie une expansion des villes moins dense que ne l'est le centre auquel elles appartiennent » (Chapitre 1.1). Pour

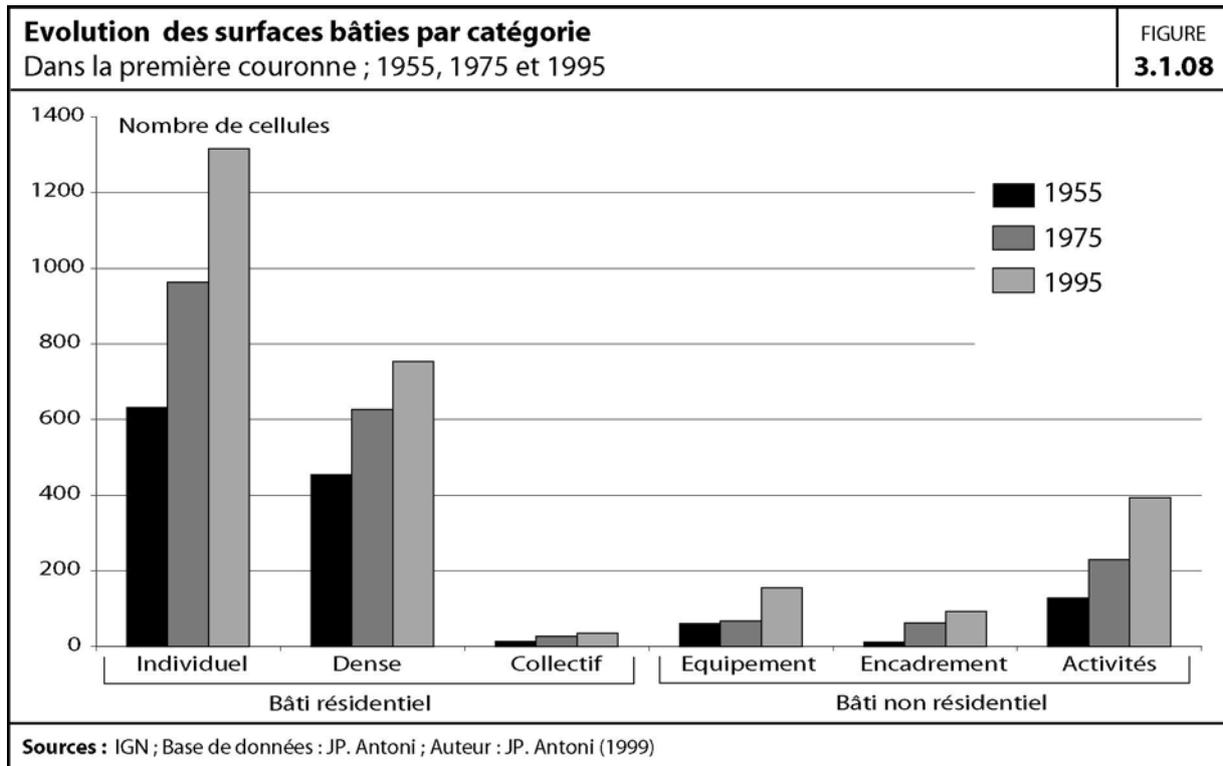
visualiser cette répartition dans l'espace, il est intéressant de spatialiser les données en distinguant les évolutions en fonction de la couronne dans laquelle elles apparaissent. On reprendra alors le découpage en couronnes établi dans le Chapitre 1.1, pour voir comment se fait l'évolution du bâti à l'intérieur de chacune d'entre elles. Ainsi, si l'on a déjà montré comment la population de l'agglomération de Belfort a évolué de façon différentielle dans le temps en fonction qu'elle se situait au centre, dans la première ou dans la deuxième couronne (Figure 3.1.06 et Figure 3.1.07 de la première partie), la Figure 3.1.07 permet ici de visualiser que l'urbanisation se fait également de façon différentielle, selon un logique qui suit le découpage en couronnes. En effet, on lit très bien, sur la Figure 3.1.07 que si la progression de la première couronne est à peu près constante sur toute la période, celle de la deuxième prend véritablement son élan à partir de 1975, avec des valeurs qui, comparées à celles des autres espaces, sont assez spectaculaires. Ainsi, on voit bien que des modifications sensibles peuvent être mesurées sur le plan de l'urbanisation comme sur celui de la démographie depuis le milieu des années 1950, mais ces changements n'apparaissent pas de façon constante et régulière : ils se répartissent inégalement dans l'espace et dans le temps. La date de 1975, qui constitue la date charnière des données relevées dans la base de données spatio-temporelle, correspond à une rupture. On a vu en effet que **sur le plan de l'évolution des populations, c'est en 1975 qu'apparaissent les premiers tournants, qui ont contribué à faire progresser les périphéries au détriment du centre. Au niveau de l'espace périurbain, la date de 1975 prend également une grande importance, en faisant basculer les dynamiques les plus importantes de la première à la deuxième couronne.**

2.2. Des décalages dans l'espace et dans le temps

On constate à la simple lecture des chiffres issus de la base de données spatio-temporelle ou des Recensements Généraux de la Population (RGP) de l'INSEE, que les dynamiques démographiques de l'agglomération belfortaine suivent des tendances liées à la fois à l'espace et au temps. **Les évolutions peuvent se localiser à un moment et à un endroit selon des logiques assez différentes.** On constate alors que durant la première période (1955-1975), la majorité des évolutions, se situe dans la première couronne. A l'inverse, elles apparaissent majoritairement dans la deuxième couronne durant la deuxième période.

2.2.1. Première période, première couronne

Pour visualiser ces changements, on peut d'abord mettre l'accent sur ce qui s'est passé, sur le plan de la population et sur le plan des surfaces bâties, dans la première couronne. Sur le plan démographique, la population est en progression constante : elle a augmenté de 10% (en moyenne) entre chaque période intercensitaire, passant de 13173 personnes au recensement de 1954 à 34 440 pour celui de 1999. La courbe de cette évolution est presque



une droite, ce qui traduit une grande constance dans l'évolution (cf. Figure 1.1.07 de la première partie)⁹ ; cette courbe montre qu'ici, les changements sont presque linéaires. Sur le plan de l'évolution des surfaces bâties, la Figure 3.1.08 montre également une certaine stabilité dans la progression du bâti. Mais cette progression est décomposée par rapport aux six catégories de bâti répertoriées dans la base de données. Fondamentalement, à la lecture de ce graphique, on apprend peu de choses que l'on ne savait déjà, mis à part peut-être le fait que deux catégories spécifiques, les « équipements » et les « structures d'encadrement », n'ont pas évolué selon cette tendance générale. Pour les structures d'encadrement, la tendance la plus forte s'enregistre durant la première période (1955-1975) et se tasse très considérablement durant la seconde (1975-1995). Pour les « équipements », c'est l'inverse.

On pourrait en conclure que le développement de la première couronne a d'abord été accompagné massivement et très bien (voire trop bien) fourni en structures d'encadrement, alors que parallèlement les investissements en équipements y ont été plutôt faibles. Ces sous- ou sur- accompagnements respectifs ont été rattrapés durant la seconde période, et correspondent finalement, en 1995, à des proportions supérieures à celles de 1955, ce qui

⁹ On pourrait d'ailleurs ajuster cette courbe par une droite de régression dont l'équation serait $y = 0,1305x + 0,9086$, et calculer pour cet ajustement un coefficient de corrélation $r = 0,988$. Avec une corrélation très proche de 1, on obtiendrait alors un bon modèle pour qualifier l'évolution de la population de la première couronne. Néanmoins, compte tenu du peu d'individus pris en compte pour ces calculs, cette régression n'a pas véritablement de signification statistique.

confirme bien l'idée avancée plus haut que **l'urbanisation périphérique s'accompagne souvent d'un surinvestissement en matière d'équipements et d'encadrement** (Figures 3.1.04 a et b), celui là-même qui contribue à rendre coûteux l'étalement urbain et la périurbanisation qu'il engendre.

Ainsi pourtant, si les progressions sont constantes dans la première couronne, pourquoi peut-on dire que tout s'y passe dans la première période ? Ceci ne peut en fait être affirmé que si l'on met ces progressions en regard avec celles que connaissent le centre et la deuxième couronne durant la période 1955-1975. Car la progression constante de la première couronne dénote effectivement à ce moment-là par rapport à ce qui se passe autour : le centre croît peu et la deuxième couronne pas du tout, comme en témoigne la Figure 1.07. C'est dans ce sens que l'on peut dire que durant la période 1955-1975, la majorité des modifications liées à la croissance de l'agglomération belfortaine prennent place dans cette première couronne. Cette caractéristique est particulière à la première période, et ne se retrouve pas entre 1975 et 1995 : dès 1975, c'est la deuxième couronne qui va prendre la relais, et enregistrer les plus fortes modifications.

2.2.2. Deuxième période, deuxième couronne

De la même manière que précédemment, on peut maintenant s'intéresser à la deuxième couronne pour visualiser les changements effectués entre 1955 et 1995. De 1955 à 1995, la population est passée de 13 173 à 23 440, soit une augmentation numérique de 8 407 personnes, ce qui représente +56%. Mais, contrairement à la première couronne, cette augmentation n'est pas linéaire dans le temps (Figure 1.1.07 de la première partie). On constate en effet à la simple lecture de la courbe des évolutions que deux périodes se distinguent facilement au niveau des rythmes de progression : avant 1975 (plus lent) et après 1975 (plus rapide)¹⁰. La date de 1975 apparaît alors comme le point d'inflexion de cette courbe et marque véritablement une charnière durant laquelle la progression dans l'évolution des populations est la plus rapide (+49% entre 1968 et 1975 ; +62% entre 1975 et 1982). Aux deux extrémités de la courbe (période 1954-1962 et 1990-1999) les progression sont les plus faibles, respectivement +17,1 et +17,7%. On retrouve donc aujourd'hui une augmentation comparable à celle de l'après-guerre, après une très forte augmentation dans les années 1970.

¹⁰ La courbe prend alors la forme d'une courbe polynomiale d'ordre 3 que l'on pourrait ajuster par la régression suivante : $y = -102,67x^3 + 1302x^2 - 3183,3x + 8118,7$ pour obtenir un coefficient de corrélation de 0,998. Comme précédemment, elle n'aurait pas pour autant de validité statistique, à cause du faible nombre d'individus pris en compte.

Entre 1955 et 1975, la deuxième couronne gagne 3 528 habitants (entre le recensement de 1954 et celui de 1975), soit une augmentation de +58,4%. C'est donc une augmentation très comparable (et même un peu supérieure) à celle qu'a connue la première couronne pendant la première période (+49,21%). Pourtant, durant la même période, sa surface de bâti résidentiel n'augmente que de 2% environ. On est donc en droit de se demander où sont logés ces 3 528 nouveaux habitants. Pour la seconde période, l'augmentation de la population est à peu près identique mais on trouve une meilleure adéquation entre la croissance démographique et l'augmentation des surfaces d'habitat : on dénombre 4 879 personnes de plus, et 3 736 ha de bâti résidentiel supplémentaire, soit une augmentation respective de près de 51% et de près de 51%. En proportion, les évolutions sont donc identiques ; les surfaces bâties résidentielles augmentent proportionnellement à la population. On se pose donc la même question que précédemment, mais dans le sens inverse : a-t-on besoin d'autant de place pour loger ces personnes et si c'est la cas, où a-t-on logé celles qui sont arrivées entre 1955 et 1975 ? Quoi qu'il en soit, par rapport à la période précédente, **la période 1975-1995 marque une consommation d'espace de logement beaucoup plus importante qui peut très certainement être mise en rapport avec le type d'habitat, et notamment avec la multiplication des maisons individuelles.** En 1955, on comptait en effet 1,19 ha par personne, 0,77 en 1975 et 0,77 également en 1995. Ceci semble donc bien vouloir dire que dans la première période, on a assisté à une densification assez considérable de la deuxième couronne et que, malgré la consommation d'espace plus importante dans la seconde période, la densité est restée identique. Rapportons ce constat avec l'évolution comparée de l'habitat dense et de l'habitat individuel. On voit bien que la construction de maisons individuelles est largement privilégiée durant cette seconde période puisque la surface qu'elles occupent augmente de +78,32% entre 1975 et 1995 contre +19,58% pour l'habitat dense. On notera parallèlement qu'entre 1955 et 1975, l'habitat individuel n'augmente pas alors que le bâti dense augmente et enregistre la plus forte progression qui n'est pourtant que de 10%. On répond donc par la même occasion aux deux questions que l'on se posait plus haut.

2.3. Vers des éléments de simulation

Cette mise en perspective historique de l'évolution de la ville de Belfort, de son espace bâti et de sa population (dans la limite de la période considérée : 1955-1995) apparaît fort intéressante pour mieux connaître et mieux comprendre les fonctionnements spatiaux qui lui sont propres, à elle et à son aire urbaine. Elle montre notamment que Belfort est une ville particulière que l'histoire a forgé selon des critères spécifiques, qui ont longtemps marqué son dynamisme. Ce sont autant de critères qu'il convient aujourd'hui de connaître avant d'initier une étude prospective et une modélisation. Car, si il est fort peu probable que l'avenir soit exactement comme le passé, il n'est pas pour autant impossible qu'il lui ressemble, peut-être même assez fortement. Au-delà de cette simple mise en perspective

historique, une telle étude peut donc également permettre de dégager des éléments pour des simulations, c'est-à-dire pour un exercice de prospective territoriale de l'aire belfortaine. Ici, **deux éléments apparaissent fort intéressants à prendre en compte, ceux-là même que nous considérons depuis le départ : l'espace, d'une part, les hommes et les activités qui y prennent place, d'autre part. Il s'agit donc de dégager successivement des éléments pour simuler les dynamiques démographiques, puis pour simuler les dynamiques spatiales.** Dans le premier cas, l'INSEE a produit un certain nombre de scénarios, à partir du modèle Omphale. Dans le deuxième cas, l'exploitation de la base de données cellulaire apporte également des éléments intéressants.

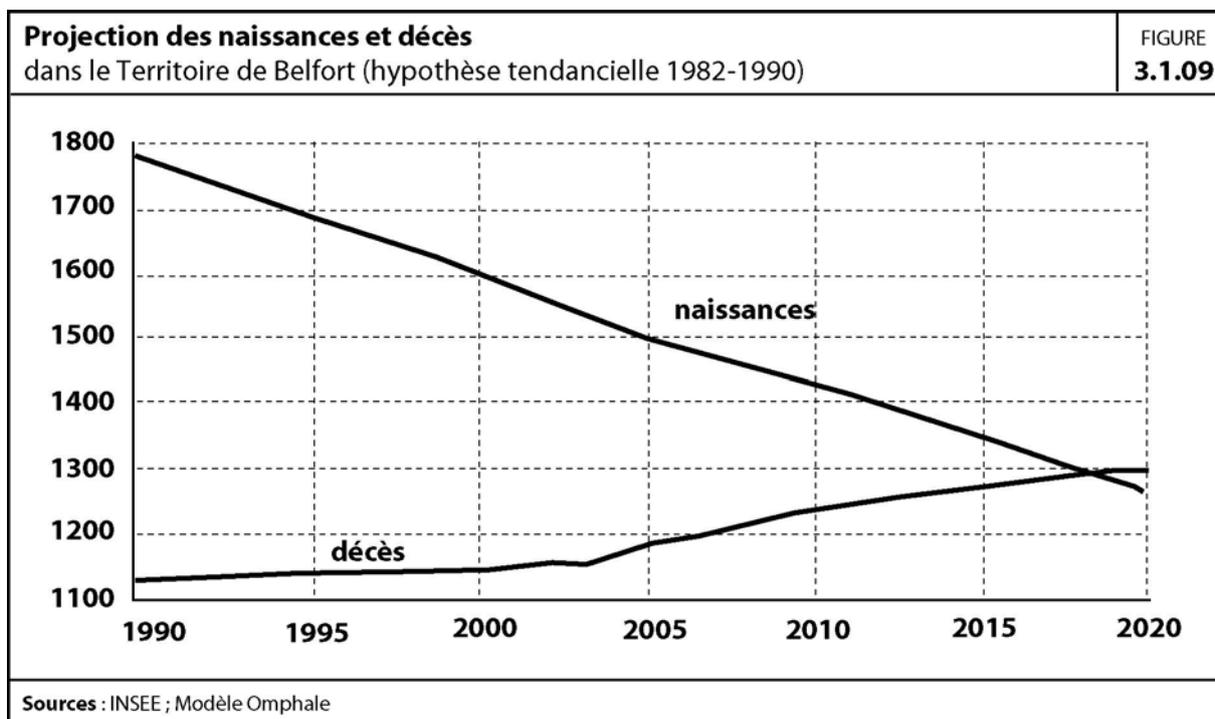
2.3.1. Éléments pour simuler les dynamiques démographiques

La démographie peut en effet apparaître comme un élément déterminant pour la simulation des changements futurs de l'aire urbaine de Belfort. En effet, il est évident que si la population explose d'ici à 2015, ou si au contraire elle diminue suite à une importante récession économique, les conséquences ne seront pas les mêmes sur la demande de logements, donc sur les constructions, et finalement sur l'étalement urbain. En premier lieu, avant de s'intéresser aux conséquences spatiales de cet étalement, il est donc nécessaire de se poser la question de savoir si il est justifié de considérer que la continuation de l'étalement urbain est une possibilité pour l'avenir, ou si, au contraire, elle est peu probable. Cette question est d'autant plus prégnante que, comme on l'a vu, la situation économique régionale est incertaine et préoccupante. Ainsi, les migrations résidentielles, mais aussi les migrations domicile-travail, qui sont toujours apparues déterminantes dans l'évolution démographique du Territoire de Belfort, doivent être prises en compte pour y répondre. La structure par âge de la population intervient également pour une forte part. C'est donc de l'ensemble des données démographiques qu'il faut tenir compte, sans focaliser uniquement sur l'évolution numérique des populations. On apprend alors qu'en 1999, le département est encore jeune : la part des moins de 20 ans (près de 30% de la population totale) est bien plus importante que celle des plus de 60 ans (environ 17%). Mais, près d'un tiers des migrations concerne également les moins de 20 ans alors que 7% seulement sont le fait des habitants de plus de 60 ans. Ainsi, plus l'âge de la population est bas, plus cette population a de chances de quitter le département. Mais, plus elle est jeune, plus elle a de chance aussi de fonder une famille dans le Territoire. Sur le plan de la population, l'avenir du Territoire de Belfort apparaît donc pour le moins incertain. La mise au point de quelques scénarios appuyés sur des simulations faites à partir tendances prospectives, peut alors éclairer sur l'avenir. Sur la base d'hypothèses portant sur l'évolution de la fécondité, de la mortalité et des migrations, l'INSEE a en effet proposé quatre scénarios pour considérer la population du Territoire de Belfort à l'horizon 2020 (INSEE, 1999) : hypothèse tendancielle, migrations équilibrée, fécondité basse et fécondité haute (Tableau 3.1.07).

Ainsi, si les tendances observées dans le passé entre 1982 et 1990 (Scénario 1) se poursuivaient dans le futur, l'INSEE estime que la population du Territoire de Belfort diminuerait de 4% d'ici 2020, ce qui correspondrait à une diminution de 5 500 personnes environ, conséquence d'un solde migratoire négatif conjugué à un solde naturel en baisse. Par le simple jeu des départs et des arrivées, le Territoire perdrait ainsi près de 500 personnes par an, pendant que les naissances chuteraient de presque 30% et que les décès augmenteraient d'environ 14% (Figure 3.1.09)

Scénarios et simulations de l'INSEE Quatre hypothèses différentes		TABLEAU 3.1.07
	La fécondité	Les migrations
(1) tendancielle	la fécondité reste stable au taux calculé pour 1990 soit 1,76 enfant par femme entre 1982 et 1990	le taux de solde migratoire par sexe et par âge sont les mêmes que sur la période 1982-1990
(2) migrations équilibrées	la fécondité reste stable au taux calculé pour 1990 soit 1,76 enfant par femme entre 1982 et 1990	les taux de solde migratoire par sexe et âge s'équilibrent (autant d'arrivées que de départ)
(3) fécondité basse	diminue pour atteindre 1,5 enfant par femme en 2000	le taux de solde migratoire par sexe et par âge sont les mêmes que sur la période 1982-1990
(4) fécondité haute	évolue pour atteindre 2,1 enfant par femme en 2010	le taux de solde migratoire par sexe et par âge sont les mêmes que sur la période 1982-1990

Sources : INSEE

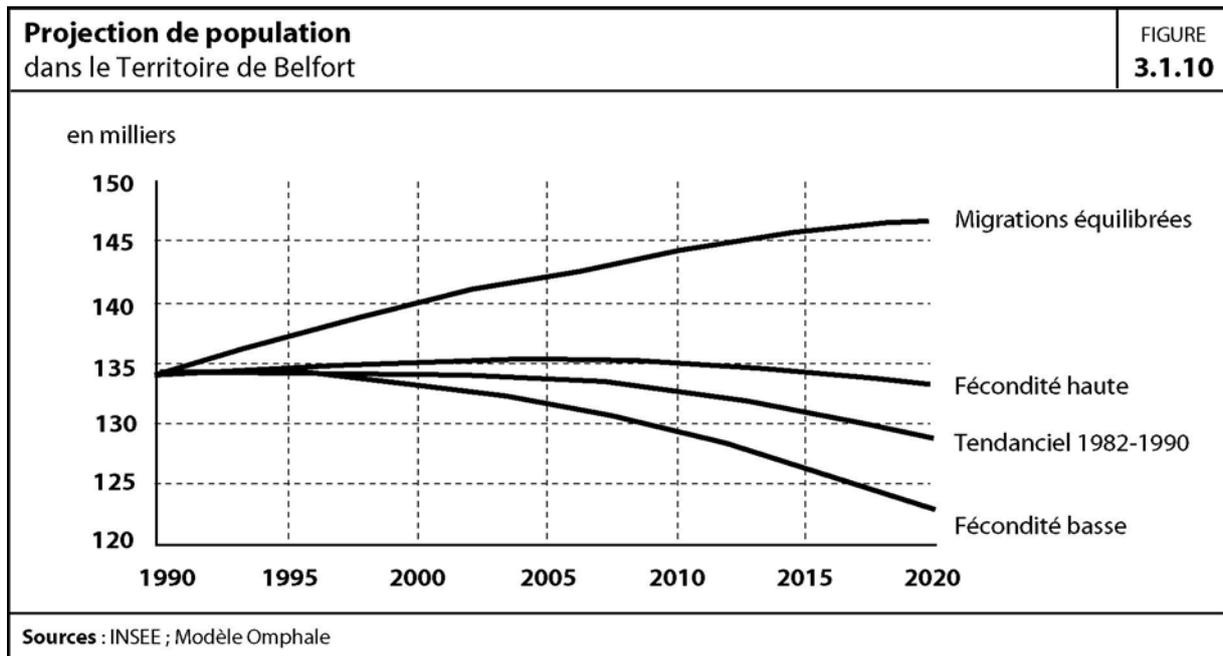


Par contre, le scénario de la « fécondité basse » (Scénario 2) offre un avenir moins favorable au Territoire en termes de population. En effet, en postulant une diminution de la fécondité à 1,5 enfant par femme et un solde migratoire prolongé, donc négatif, ce scénario fait passer la population de 134 000 à 123 000 personnes de 1990 à 2020. Les naissances chuteraient donc de 44%, entraînant un solde naturel déficitaire dès 2009. Le taux d'évolution naturel passerait ainsi de +0,08 en 1990 à -0,59 en 2020. Avec ce scénario, les jeunes ne représenteraient plus que 18% de la population pour 29% de personnes âgées de 60 ans et plus, soit une inversion par rapport aux proportions actuelles.

A contrario, le scénario « migrations équilibrées » (Scénario 3) fait augmenter la population (c'est le seul parmi les quatre scénarios de l'INSEE), qui gagnerait plus de 12000 personnes en une trentaine d'années, mais qui s'amenuiserait avec le temps. En effet, le solde naturel est en baisse, même si il reste positif. Ce scénario montre donc bien l'importance des migrations dans l'évolution de la population : si les arrivées dans le Territoire de Belfort sont aussi nombreuses que les départs, c'est le solde naturel seul qui jouera en faveur d'une hausse de population. Ce scénario apparaît alors comme le plus proche des estimations actuelles, mais présente un solde migratoire négatif (-400) avec des naissances plus nombreuses.

Le dernier scénario, « fécondité haute » (Scénario 4) offre une possibilité intermédiaire à celles que proposent les scénarios 2 et 3. En effet, la population y baisse très faiblement (la perte n'est que de 1 000 personnes environ d'ici 2020), et correspond à une fécondité de 2,1 enfants par femme (soit le chiffre idéal pour un renouvellement des générations) et à une prolongation des taux de solde migratoire de la période 1982-1990. Le solde naturel resterait donc positif sur la période, tout en diminuant considérablement (de +650 à +190). Ainsi, dans la mesure où le solde migratoire est, quant à lui, négatif, la population augmenterait jusqu'en 2005, puis fléchirait au moment où le solde naturel ne compenserait plus le solde migratoire.

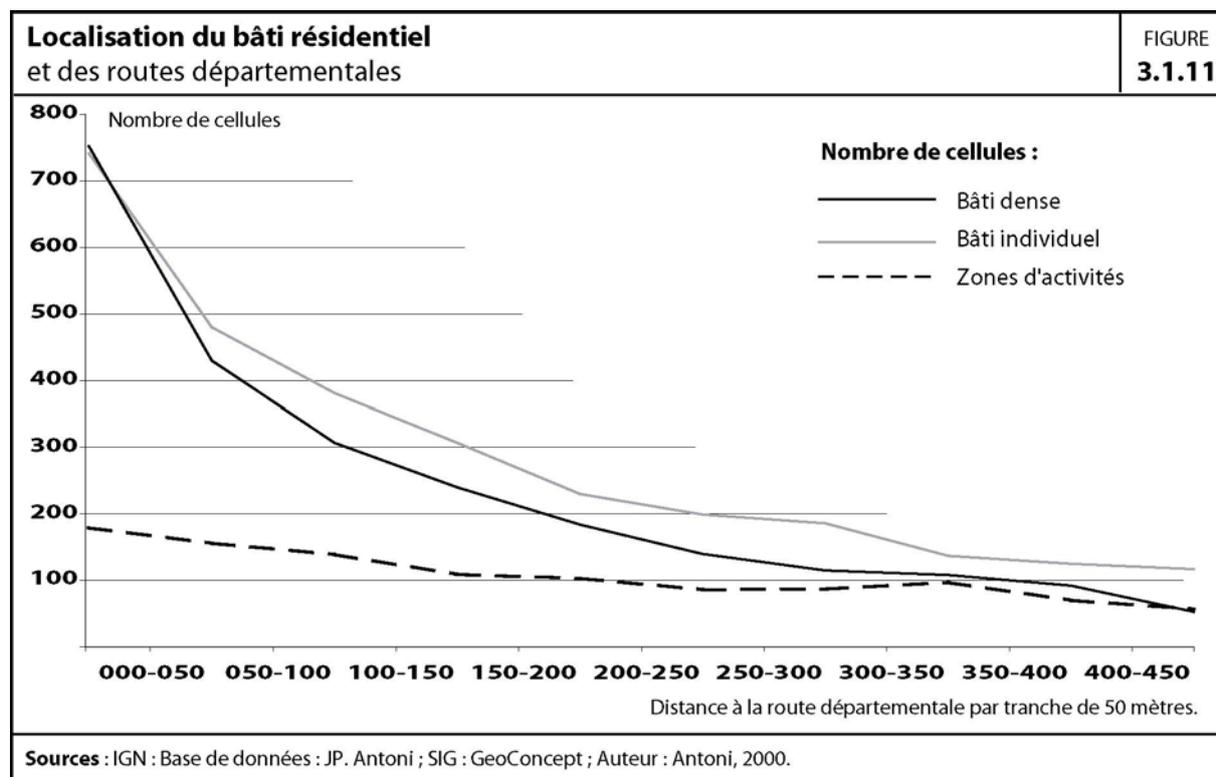
La Figure 3.1.10, résume les projections de population à l'horizon 2020, en fonction des scénarios testés. On y voit bien que sur quatre scénarios, trois ne sont pas à l'avantage du Territoire de Belfort, et prévoient une baisse de la population. Ainsi, si l'un de ces trois scénarios se réalise, il est fort probable que l'étalement urbain ne pose pas demain les problèmes qu'il a posé hier. Au contraire, c'est plutôt du maintien de l'urbanisation à son niveau actuel qu'il faudra se préoccuper. Cela dit, ces estimations tiennent compte de l'ensemble du Territoire. Or, on a vu que la majorité des communes de Belfort étaient des communes rurales, avec une population souvent inférieure à 100 habitants. Dans le cas d'une baisse de la population départementale, il est fort possible que ces petites communes soient les premières à subir un exode et à perdre de la population, pendant que la population de l'agglomération de Belfort pourrait se maintenir, voire même continuer d'augmenter. Il est alors possible également que cette régression entraîne des mouvements internes au département, qui se ferait à l'avantage de la ville de Belfort.



Ainsi, **une baisse générale de la population n'entraîne pas forcément un arrêt de l'urbanisation et de l'étalement urbain, même si il est possible qu'elle y contribue. Dans le cas du dernier scénario, par contre (scénario des « migrations équilibrées »), la population augmenterait d'ici 2020 à peu près comme elle a augmenté entre 1968 et 1990. Les chiffres observés entre 1990 et 1999, qui ne sont pas pris en compte dans les simulations effectuées par l'INSEE, confirment d'ailleurs cette tendance : la population du Territoire a effectivement augmenté dans cette proportion durant cette période. Si cette tendance se confirme dans les années à venir, la question de l'étalement urbain devient alors préoccupante, puisqu'elle serait fonction d'une évolution démographique comparable à celle qui a mené à la situation actuelle. Pour cerner les conséquences possibles de cette évolution, il est nécessaire de tenter de spatialiser la continuation des tendances passés. Il convient donc d'effectuer le passage entre les éléments permettant de simuler les dynamiques démographiques et ceux qui permettront de simuler les dynamiques spatiales qui en sont issues.**

2.3.2. Eléments pour simuler les dynamiques spatiales

Pour identifier les éléments qui pourraient permettre une telle simulation, il est possible de considérer le processus d'étalement urbain sur le plan théorique. On a vu, en effet, que **la recomposition spatiale que provoque l'étalement urbain est très fortement liée aux réseaux de transport, ces réseaux permettant une modification de la dialectique entre éloignement et proximité.** Appuyé sur la prégnance de l'automobile individuelle comme mode de déplacement privilégié, un potentiel extrêmement fort peut alors être accordé aux



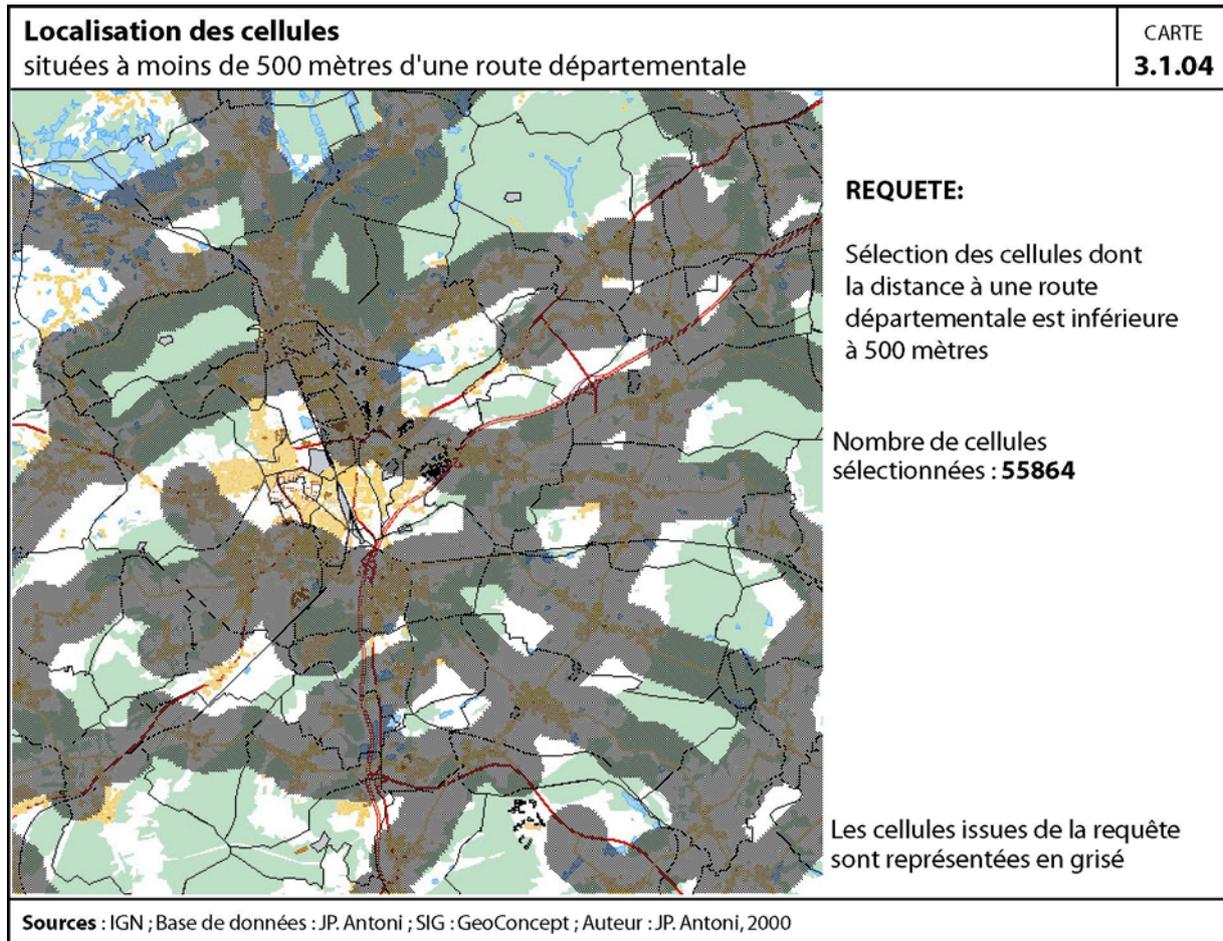
réseaux de communication en tant que générateurs d'urbanisation ; il est donc également possible de les considérer comme des éléments intervenant fortement pour la simulation de dynamiques spatiales urbaines. Certaines études ont d'ailleurs montré que la hiérarchie de ces réseaux (routes nationales, routes départementales) est inversement proportionnelle à l'attraction qu'ils peuvent exercer sur l'habitat : les routes nationales au trafic élevé sont souvent considérées comme des vecteurs de nuisances plutôt que comme des vecteurs d'accessibilité.

Localisation du bâti résidentiel (individuel et dense) et routes départementales TABLEAU 3.1.08

Bâti individuel (en pourcentage du total)				Bâti dense (en pourcentage du total)			
Distance aux départementales (en m)	1955	1975	1995	Distance aux départementales (en m)	1955	1975	1995
000-050	24	27	21	000-050	31	35	26
050-100	37	42	35	050-100	45	52	40
100-150	46	52	46	100-150	56	64	51
150-200	54	61	55	150-200	64	73	59
200-250	61	68	62	200-250	70	81	65
250-300	65	74	68	250-300	74	87	70
300-350	70	80	73	300-350	77	91	74
350-400	74	84	77	350-400	80	94	78
400-450	78	89	81	400-450	83	97	81
450-500	82	94	84	450-500	85	99	83

Sources : IGN ; Base de données : JP. Antoni (1999) ; Logiciel : GéoCocept ; Auteur : JP. Antoni (2002)

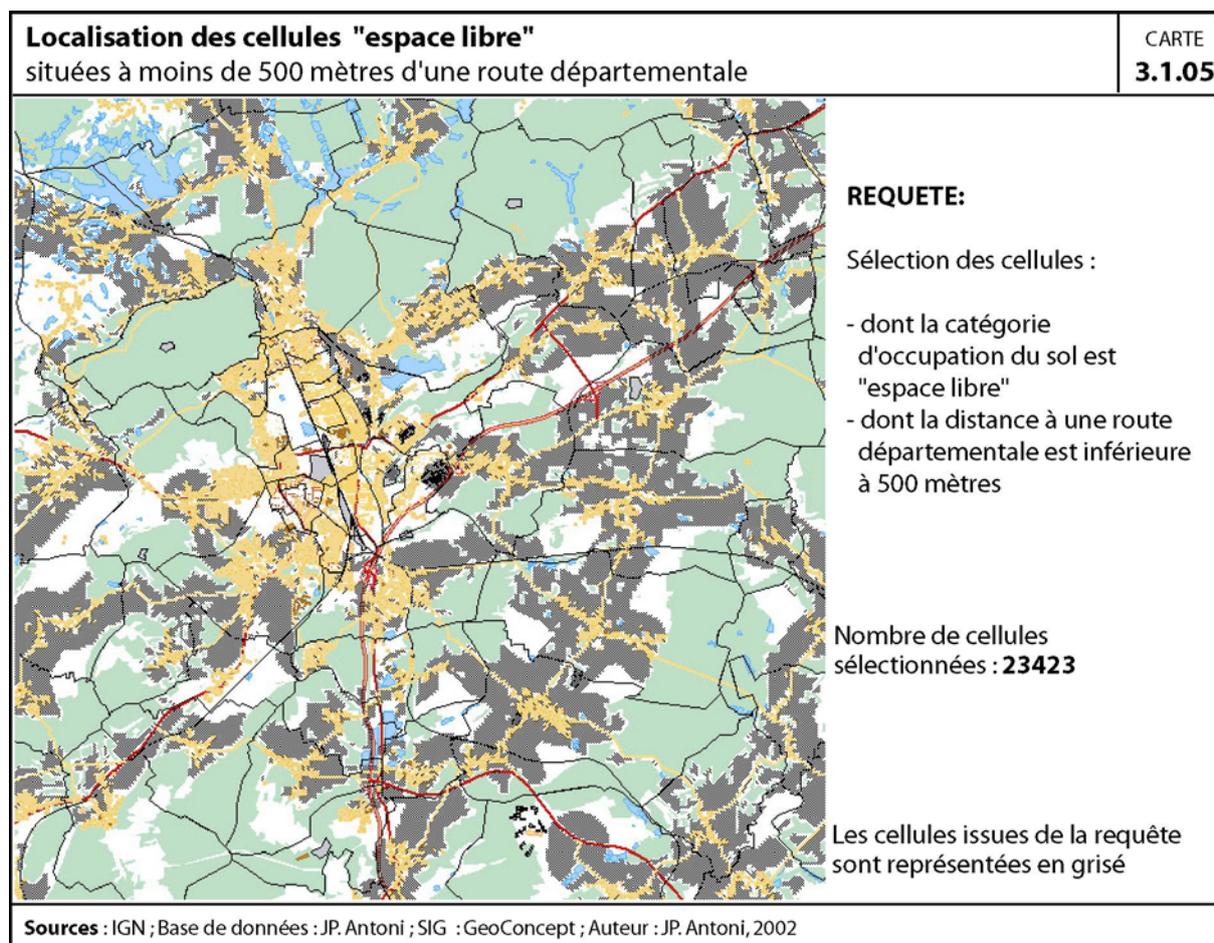
Elle attirent en fait bien moins l'urbanisation que les routes départementales, surtout si celles-ci sont bien connectées et pas trop éloignées du réseau national. M. Thériault a en effet expliqué que le meilleur compromis de localisation par rapport au réseau de routes consistait à se placer à proximité d'une route départementale, elle-même située à proximité d'une route nationale. On bénéficie alors de l'accessibilité permise par la nationale sans en subir les contraintes¹¹.



Il s'agit donc de bénéficier d'une bonne connexion au réseau de transport, mais sans subir les nuisances qu'implique cette connexion. A Belfort, on remarque un lien très certain entre le réseau de routes départementales et l'urbanisation. On voit bien sur la Figure 3.1.11, en effet, que le bâti résidentiel (qu'il soit dense ou composé de maisons individuelles) est plus important à proximité directe des départementales. A 50 mètres, on trouve plus de 750 cellules de chacune de ces catégories de bâti, alors qu'il n'y en a plus que 100 environ après 400 mètres. Ces chiffres sont plus intéressants encore si l'on considère ce nombre de cellules par rapport au nombre de cellules « denses » et « individuelles » total. On voit bien sur le Tableau 1.08 qu'indépendamment de la date considérée, au moins 20% des maisons

¹¹ Entretien personnel avec M. Thériault, lors de son passage au laboratoire Image et Ville dans le cadre d'un cycle de séminaires.

individuelles de l'espace étudiée, soit une sur cinq, se situe dans les 50 premiers mètres autour d'une route départementale ; à 200 mètres, on peut être sûr d'en trouver au moins 50%, et à 500 mètres elles sont plus de 80%. Ce constat est encore plus flagrant pour le bâti dense : au moins 25% à 50 mètres, presque 60% à 200 mètres et 83% au minimum à 500 mètres.



Il y a donc un lien très fort entre les routes départementales et la présence de bâti résidentiel. Cette indication s'avère très intéressante également pour prévoir l'urbanisation à venir, du moins celle qui concerne l'habitat. Dans ce sens, la prise en compte des réseaux concerne la modélisation des dynamiques urbaines, et particulièrement la modélisation de l'étalement urbain. En effet, **si la stabilité des distributions spatiales observées entre 1955 et 1995 se prolonge dans le futur, on peut prévoir que 80% des maisons individuelles et 83% de l'habitat dense au moins prendront place dans un *buffer*¹² de 500 mètres autour de ces routes.** La Carte 3.1.04 permet de localiser l'ensemble des espaces se situant à moins de 500

¹² En français, on traduit souvent le mot anglais *buffer* par « zone-tampon ». Il s'agit d'une zone construite à partir d'un objet de l'espace géographique (un point, une ligne, ou une surface) en respectant une certaine distance à cet objet.

mètres et qui ne sont pas encore construits. En la regardant, on constate que même si l'on a peu de chance de se tromper (une chance sur cinq à peu près), de très nombreuses possibilités restent ouvertes.

On peut affiner ces résultats en postulant que ces nouvelles constructions ne prendront place ni dans la forêt (ce qui fait partie des tendances observées dans les matrices de transition au Chapitre 2.2), ni dans les espaces actuellement en eau, tels les lacs ou les gravières (l'architecture traditionnelle belfortaine et comtoise ne comprend pas de maisons sur pilotis). On obtient alors de nouveaux résultats, présentés sur la Carte 3.1.05, qui réduisent ces possibilités de moitié environ (on passe de 55 864 à 23 423 cellules). Les résultats obtenus sont un peu plus fins, mais laissent encore une place à de nombreuses localisations possibles. Néanmoins, des premières zones sont dégagées et il est intéressant de les intégrer à une éventuelle prospective sur le problème de l'étalement. Avec d'autres outils comme ceux que propose la modélisation en trois étapes présentée ici (le modèle de potentiel en particulier, puisqu'il est justement dédié à la localisation des cellules à construire dans le futur), il sera alors possible de tenir compte de ces espaces soit en considérant l'attractivité importante des routes dans le paramétrage du modèle de potentiel, soit en intégrant directement l'information cartographique montrant ces espaces comme une couche dans les automates cellulaires.



L'étude dans l'espace et dans le temps de la ville de Belfort montre bien que les changements mesurés sur l'aire urbaine entre 1955 et 1975 correspondent à une forme d'étalement urbain : on y retrouve les traits généraux du processus, tels qu'ils ont été définis et listés dans la première partie. On peut remarquer en particulier que ces changements ne s'affranchissent pas de la distance au centre de la ville. En effet, c'est spécifiquement par l'intermédiaire de couronnes radioconcentriques qu'il est possible de visualiser clairement les évolutions intervenues depuis 1955. L'ensemble ressemble alors au modèle de E.W. Burgess (1925) proposé par l'école de Chicago (Grafmeyer, 1979) : la ville est un ensemble dynamique organisé par rapport à des couronnes centrées sur le centre historique ou sur le centre des affaires (*Central Business District, CBD*) dans lesquelles les choses évoluent de manière plus

ou moins homogène et successive. Mais, on ne peut pas non plus réellement le différencier du modèle de R. Bussière (Tabourin, 1995 ; Bonnafous *et al.*, 1998) : la croissance urbaine correspond à une double progression (croissance de la population et croissance spatiale de la ville) ; cette double croissance n'est pas un simple ajout de population aux franges urbaines ; elle introduit un changement au sein même du rayon de la ville. Ce changement intervient en deux étapes : dans un premier temps, les effectifs de population baissent dans la partie la plus centrale, alors que, dans un deuxième temps, de nouvelles implantations de populations apparaissent. **Ainsi, malgré sa taille plus petite que celle des agglomérations pour lesquelles on mesure généralement le processus d'étalement urbain, l'évolution de la ville de Belfort, marquée par une organisation radioconcentrique (dans laquelle on reconnaîtra des espaces suburbains, périurbains et rurbains), correspond globalement aux grandes lignes de ce processus. En particulier, on remarque d'ailleurs que les réseaux de communication – les routes nationales et les routes départementales essentiellement – jouent un rôle important dans ces évolutions.** Les réseaux apparaissent en effet comme un élément particulièrement attractif de l'urbanisation et l'étude de leur configuration, croisée avec la croissance des surfaces bâties, apporte des éléments qui permettent de mieux comprendre l'évolution de la ville, et avec elle le processus d'étalement urbain ; mais elle offre également un indicateur précieux pour le paramétrage des différentes étapes de la modélisation, et particulièrement pour la détermination des masses *m* nécessaires au modèle de potentiel. En ce sens, la connaissance de la ville va aider au paramétrage de la modélisation de l'évolution urbaine, et la modélisation de l'évolution urbaine permettra une meilleure connaissance et une meilleure compréhension de l'évolution urbaine.

Références bibliographiques

- Antoni J.P., 2002, Construire en collaboration avec son image, *Territoires en quête d'image. Les ressorts de l'attractivité*, 23^{ème} rencontre nationale des agences d'urbanisme, Marseille, 11-13 décembre 2002, pp. 20-22.
- Bonnafous A., Tabourin E., 1998, *Modélisation de l'évolution des densités urbaines*, 14 pages. In : Pumain D., Mattei M.F., 1998, *Données urbaines 2*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 167-180.
- Burgess E.W., 1925, *Growth of the City*. In : Park R., Burgess E.W., McKenzie R., 1925, *The City*, pp. 37-44.
- Grafmeyer Y., Joseph I., 1979, *L'école de Chicago. Naissance de l'écologie urbaine*, Ed. du Champ urbain, 335 pages.
- INSEE, 1996, *Migrations en Franche-Comté (départs et arrivée par départements et zone d'emploi)*, *Les dossiers INSEE Franche-Comté*, n° 5, octobre 1996, 54 pages.

INSEE, 1999, Belfort structure son territoire, *L'essentiel* (INSEE Franche-Comté), n° 26, mars 1999, 4 pages.

INSEE, 1999, Portrait du Territoire de Belfort, *Les dossiers INSEE Franche-Comté*, n° 10, juillet 1999, 54 pages.

INSEE, 1999, Premiers résultats estimés du recensement de la population de 1999 en Franche Comté, *L'essentiel* (INSEE Franche-Comté), n° 28, juillet 1999, 4 pages.

Schouler G., Filbert P, 1979, *Géographie du Territoire de Belfort*, sans éditeur, 416 pages.

Tabourin E., 1995, Les formes de l'étalement urbain. La logique du modèle de Bussière appliquée à l'agglomération lyonnaise, *Les annales de la Recherche urbaine*, Densités et espacements, n°67, juin, 1995, pp. 32-42.

Woessner R., 1996, *Mythe et réalité de l'espace Rhin-Rhône : la dynamique industrielle comme facteur de recomposition territoriale*, Thèse de doctorat en Géographie, Université de Franche-Comté, 2 tomes, 531 pages.

Sites Internet :

CyberGeo – European Journal of Geography :
www.cybergegeo.presse.fr

Conseil Général du Territoire de Belfort :
www.cg90.fr

Direction départementale de l'équipement (DDE) du Territoire de Belfort :
www.territoire-de-Belfort.equipement.gouv.fr

Préfecture du Territoire de Belfort :
www.territoire-de-Belfort.pref.gouv.fr

Chambre du commerce et de l'industrie (CCI) du Territoire de Belfort :
www.belfort.cci.fr

Ville de Belfort :
www.mairie-belfort.fr

Conseil régional de Franche-Comté :
www.cr-franche-comte.fr

Chapitre 3.2

De la continuation au renforcement de l'étalement urbain

Plusieurs dizaines de pages de commentaires seraient nécessaires pour épuiser l'ensemble des informations dont nous disposons sur Belfort. Couplées avec les possibilités d'analyse spatiale des SIG, elles offrent une multitude de possibilités d'analyses et de tris, faisant intervenir l'occupation du sol ou la localisation géographique. Dans le Chapitre 3.2, nous avons choisi d'exploiter ces données en mettant l'accent sur l'étude des changements intervenus dans l'espace de Belfort et de ses périphéries, en lien avec la problématique de l'étalement urbain et la définition que nous avons donnée de ce processus. On a surtout insisté sur la substitution de l'espace rural par l'espace urbain, qui correspond à sa manifestation majeure. Mais ces informations ne doivent pas servir uniquement à décrire le passé. Il est possible de les exploiter en lien avec les trois étapes de la modélisation : elles peuvent servir à la détermination de certains paramètres ; et ces paramètres, compte tenu de leur signification dans la formulation générale des modèles auxquels ils appartiennent, aident également à mieux comprendre ce qui s'est passé. Ainsi, on pourrait dire que plutôt que de décrire simplement le processus d'étalement urbain, il va être possible de l'expliquer. **L'exercice consiste alors à faire une postdiction : à partir de l'état connu de 1975, on tente de reproduire l'état, lui aussi connu, de 1995, par l'intermédiaire des trois étapes de la modélisation. Si la reproduction est correcte, la lecture des coefficients utilisés pour le paramétrage aidera à améliorer notre connaissance de ce qui s'est passé et plus généralement du processus d'étalement urbain. A partir de cette connaissance, il devient alors possible de reproduire le passé pour simuler l'avenir, voire même d'extrapoler les**

tendances observées pour construire des scénarios montrant les conséquences spatiales d'un renforcement de l'étalement urbain. Mais cet exercice est difficile puisqu'il est délicat d'affirmer qu'il existe un lien certain entre une forme et les processus qui mènent à cette forme : « Prédire n'est pas expliquer » a écrit R. Thom (1991). En d'autres termes, si un paramètre amène véritablement à la forme que l'on souhaite, on ne peut être sûr qu'il soit le seul à le faire, et donc que ce soit réellement lui qui y ait mené. Pour une part, on peut alors considérer que cette incertitude rend inutile toute forme de recherche qui viserait à définir les paramètres qui ont permis de passer de la ville de Belfort en 1955, à celle de 1975 ou de 1995, dans le but de les interpréter de façon thématique. Mais pour une autre part, il est évident aussi que ne pas tenter de rechercher ces paramètres, amène à la certitude de ne rien connaître sur la manière avec laquelle les choses se sont passées. Ainsi, on peut préférer partir du principe que l'incertitude ne doit pas empêcher l'essai, mais celui-ci doit s'accompagner des mises en garde et de précautions nécessaires quant à l'interprétation de paramètres dont on ne peut affirmer qu'ils sont justes. Quoi qu'il en soit, à terme, cette étude se révélera intéressante pour la prospective et la « mise en scénario » du devenir de Belfort, puisque les scénarios pourront s'inspirer des tendances lourdes observées à cette étape, ou bien les reproduire, ou encore les extrapoler. Concrètement, il s'agit donc de reproduire la passé pour mieux le connaître.

1. Une recherche empirique, longue et incertaine

Les paramètres témoignant des évolutions observées dans le passé (1955-1975) doivent *a fortiori* être étudiés et recherchés de façon empirique : il s'agit non pas de travailler sans théorie ni réflexion méthodologique, mais plutôt d'agir en fonction des circonstances, sans principe rigide, ou du moins « en construisant ces principes en fonction de l'expérience » (Brunet *et al.*, 1992). Ainsi, on testera plusieurs coefficients pas à pas, et on comparera les résultats de leurs simulations avec la réalité observée. Cette comparaison amènera à valider ou à réviser les coefficients à chaque étape, de manière à approcher petit à petit des chiffres montrant un résultat proche de celui que l'on a observé et décrit précédemment.

1.1. Reproduire le passé pour en saisir les tendances

Mais face à cet objectif, les trois étapes de la modélisation apparaissent inégales. Dans certains cas, les coefficients sont connus et quantifiés dès la départ, sans recherche pas à pas. C'est le cas pour le modèle de transition : les valeurs de probabilités inscrites dans les matrices de transition sont calculées directement à partir des images carroyées de la ville. Dans d'autres cas par contre, les valeurs des coefficients ne peuvent être approchées que par l'intermédiaire d'expérimentations successives, qui se corrigent les unes les autres, jusqu'à ce

que les résultats simulés paraissent suffisamment proches des résultats observés. C'est le cas pour le modèle de potentiel et les automates cellulaires. La postdiction liée à la modélisation associe donc deux cas figures : soit on utilise simplement les informations contenues dans la base de données carroyées ; soit on couple ces informations à une démarche empirique pour essayer d'approcher la réalité connue.

1.1.1. Des périodes différentes

Dans un premier temps, les données apparaissent en effet riches en informations et renseignent sur la manière avec laquelle Belfort a évolué dans le passé. On a vu dans le Chapitre 2.2 que le comptage des cellules qui ont évolué d'une catégorie d'occupation du sol vers une autre permet de construire des matrices de transition, qui donnent la probabilité pour chaque cellule de changer d'affectation (Tableaux 2.2.04 et 2.2.05). Ces matrices sont intéressantes pour simuler l'évolution de l'espace à court terme, mais également à long ou à très long terme. Cependant, la question s'est posée dès le départ (Chapitre 2.2) de savoir quelle information privilégier pour une simulation prospective. Faut-il reproduire la matrice correspondant à la période 1955-1975 ou bien celle de la période 1975-1995 ? Ce questionnement a inspiré la mise en place du coefficient α , qui pondère plusieurs matrices entre elles. Il permet d'utiliser simultanément plusieurs matrices (ce qui évite un choix difficile), mais également d'en favoriser une par rapport aux autres. Dans le cadre de la mise en place et de la justification du modèle, la réponse apportée par le coefficient α était judicieuse. Mais, au moment où le modèle doit être utilisé concrètement pour une simulation qui vise à continuer les tendances passées, il est nécessaire de décider pratiquement de la manière de pondérer les matrices. Pour ce faire, il faut les étudier précisément, pour saisir la réalité des changements à laquelle correspondent leur valeurs de transition. Cette étude peut se faire en lisant directement les valeurs correspondant à chaque catégorie d'occupation du sol, ou bien après avoir élevé les matrices à une puissance plus ou moins forte. On a vu en effet que cette élévation mène à la convergence des matrices¹, qui peuvent alors s'interpréter comme un vecteur témoignant de la tendance générale à très long terme. Les vecteurs montrent que sur les deux périodes, la catégorie « espaces libres » diminue très significativement. On peut alors s'intéresser spécialement à cette catégorie d'occupation du sol, afin de comparer les tendances dans chacune des deux matrices de transition.

Entre 1955 et 1975, les « espaces libres » (champs, prairies, vergers, etc.) ont eu une probabilité de 0,88 environ de rester dans leur catégorie. Cela signifie qu'ils ont 12% de chance de changer de catégorie. Parmi ces 12%, les cinq destinations aux plus fortes probabilités sont les suivantes :

¹ Sous réserve que les matrices soient positives et régulières.

1. Bois et forêts	(probabilité de 0,038)
2. Surfaces en eau	(probabilité de 0,030)
3. Maisons individuelles	(probabilité de 0,021)
4. Bâti dense	(probabilité de 0,010)
5. Zones d'activités	(probabilité de 0,006)

Ces chiffres montrent que les principales modifications observées à Belfort et dans sa périphérie, ne correspondent pas à une transition des espaces non-bâties vers les espaces bâtis, mais bien d'abord à une recomposition des espaces non-bâties, c'est-à-dire des espaces naturels entre eux : les champs ont une plus forte probabilité de devenir de la forêt ou de l'eau que d'être urbanisés. Ensuite, les plus fortes probabilités comprennent d'abord le bâti résidentiel (du moins dense au plus dense) puis le bâti non-résidentiel (zones d'activités).

Entre 1975 et 1995, les mêmes espaces libres ont eu une probabilité de 0,82 environ seulement de rester dans leur catégorie. Cela signifie qu'ils ont à peu près 18% de chance de changer de catégorie (contre 12% précédemment). Parmi ces 18%, les cinq destinations aux plus fortes probabilités sont les suivantes :

1. Bois et forêts	(probabilité de 0,107)
2. Maisons individuelles	(probabilité de 0,039)
3. Zone d'activités	(probabilité de 0,011)
4. Bâti dense	(probabilité de 0,011)
5. Routes départementales	(probabilité de 0,006)

Dans la deuxième période, les transitions ont donc changé. Si la forêt reste la principale catégorie vers laquelle se destinent les champs quand ils évoluent, la tendance générale n'est plus d'abord à une recomposition des espaces naturels. En effet, avec une valeur de 0,107 la probabilité de transition des champs vers la forêt est extrêmement forte (du moins bien plus forte que la probabilité de 0,038 calculée pour la période 1955-1975) et semble témoigner d'une réelle volonté de reboisement du territoire. Derrière cette première probabilité, dans un ordre de grandeur presque trois fois moins important, viennent ensuite les maisons individuelles, qui ne sont plus suivies par une autre catégorie de bâti résidentiel, mais directement par les zones d'activité. On assiste donc à un changement dans la composition des transitions : les champs se transforment majoritairement en maisons individuelles, puis en zones d'activités ou en routes départementales. La maison individuelle devient alors le type d'habitation privilégié de l'urbanisation, et s'accompagne d'un développement secondaire de zones d'activités et de routes, mais qui laisse loin derrière la construction de bâti dense, pourtant encore important lors de la période 1955-1975.

1.1.2. Vers une fourchette de moyennes

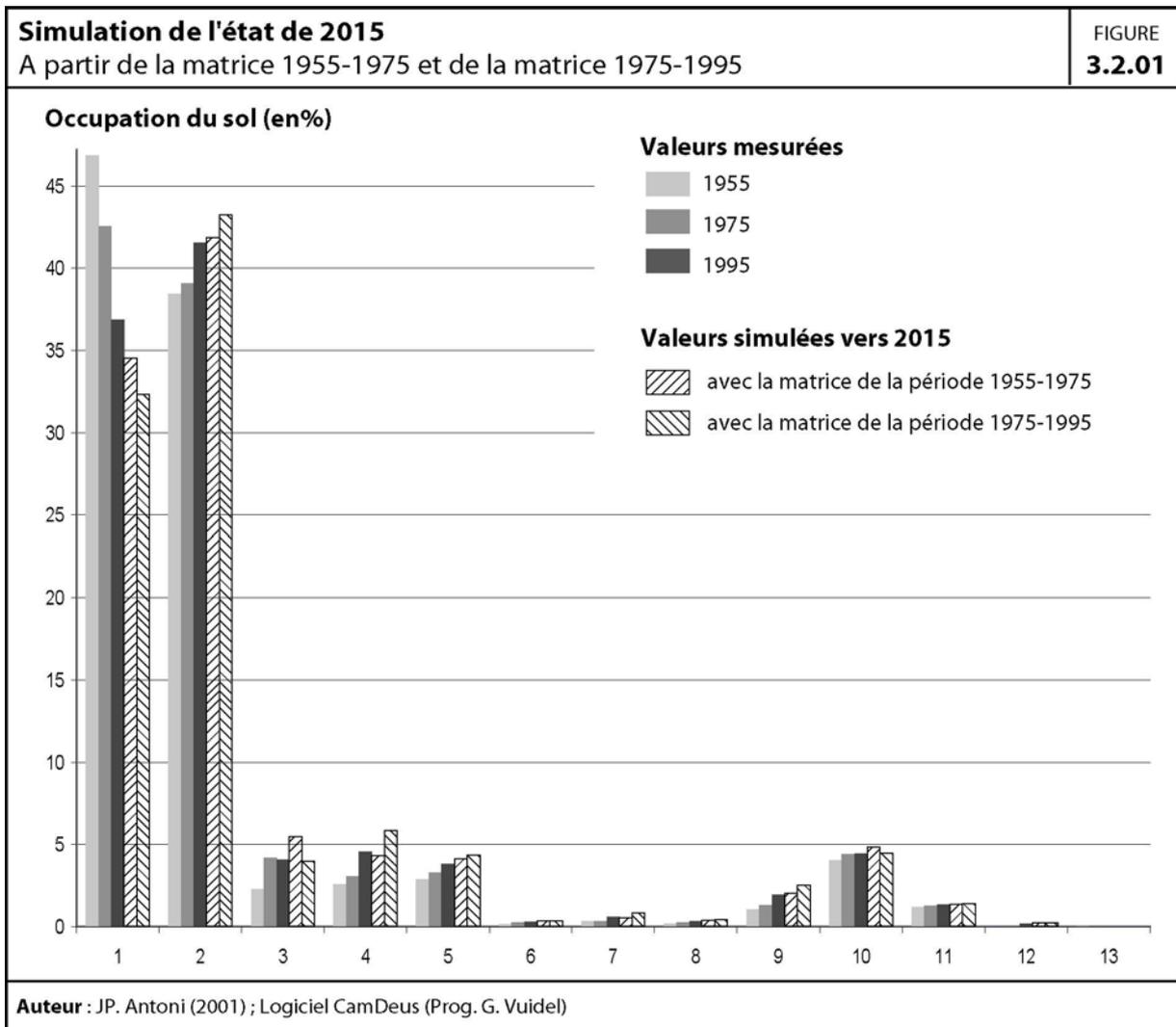
Après avoir visualisé les grandes tendances de transition des « espaces libres » au profit d'autres catégories d'occupation du sol, il est intéressant de s'appesantir sur quelques cas particuliers, qui montrent que les matrices de transition sont très liées à la période pour laquelle elles ont été mesurées. Trois exemples sont significatifs à ce sujet : les surfaces en eau, les autoroutes et le bâti collectif (caractérisant les grands ensembles issus d'opération d'*open planning*). On y retrouve l'une des caractéristiques observées précédemment dans l'exemple théorique de Beispielstadt : certains éléments de l'occupation du sol, apparus soudainement parce qu'ils ont correspondu à une innovation ou à une modification propre à une période, ne peuvent avoir la même importance dans la période suivante, sans quoi ils apparaîtraient proportionnellement trop nombreux². A Belfort, les opérations d'*open planning* et la création de l'autoroute sont propres à la première période, et ne se retrouvent pas dans la seconde. De ce fait, le vecteur produit par la matrice de transition de la période 1955-1995, multipliée par le vecteur de 1995, montre une occupation du sol en 2015, si les tendances de changement à partir de 1995 étaient celles observées entre 1955 et 1975. Un second vecteur peut être calculé de la même façon, mais à partir des probabilités de transition observées sur la période 1975-1995 (Tableau 3.2.01). L'interprétation de ces deux vecteurs renseigne sur les tendances inscrites dans les deux matrices.

La comparaison graphique des deux vecteurs simulés permet de les mettre en perspective avec les vecteurs observés aux trois dates composant la base de données : 1955, 1975 et 1995, auxquelles s'ajoute 2015 (Figure 3.2.01). A première vue, les valeurs des deux matrices ne sont pas aux antipodes les unes des autres. Mais, à y regarder de plus près, elles montrent des tendances qui s'opposent en partie. Sur le plan des espaces naturels, par exemple, la première tendance (1955-1975) accorde un avantage aux champs sur les forêts. Il en est de même pour les surfaces en eaux : elles apparaissent bien plus importantes en 2015 si l'on utilise la première matrice plutôt que la deuxième.

² L'exemple de la ville théorique Beispielstadt a permis de montrer que la reproduction d'une matrice de transition témoignant d'une modification importante, même si celle-ci représente une masse relativement faible de cellules, peut conduire à des aberrations. A Beispielstadt, on simulait ainsi la création de 17 aéroports là où un seul est nécessaire (cf. Chapitre 2.2).

Simulation de l'occupation du sol vers 2015													TABELAU
Vecteurs d'état													3.2.01
Valeurs observées													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1955	46.87	38.44	2.29	2.59	2.86	0.13	0.33	0.17	1.06	4.04	1.21	0.00	0.01
1975	42.57	39.08	4.18	3.07	3.28	0.24	0.34	0.24	1.31	4.40	1.25	0.05	0.01
1995	36.88	41.54	4.09	4.56	3.83	0.29	0.60	0.34	1.94	4.43	1.33	0.16	0.00
Valeurs simulées (2015)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(1)	34.52	41.88	5.45	4.32	4.12	0.36	0.55	0.37	2.02	4.83	1.35	0.22	0.00
(2)	32.33	43.24	3.99	5.83	4.34	0.34	0.84	0.43	2.52	4.48	1.38	0.26	0.00
(3)	33.42	42.56	4.72	5.08	4.23	0.35	0.70	0.40	2.27	4.65	1.37	0.24	0.00
(4)	32.77	42.97	4.28	5.53	4.30	0.34	0.78	0.42	2.42	4.55	1.38	0.25	0.00
(5)	33,26	42,66	4,61	5,19	4,25	0,35	0,72	0,41	2,31	4,63	1,37	0,24	0,00
Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1= espaces libres ; 2 = bois et forêts ; 3 = surfaces en eaux ; 4 = maisons individuelles ; 5 = bâti dense ; 6 = bâti collectif ; 7 = équipements ; 8 = structures d'encadrement ; 9 = zones d'activités ; 10 = routes départementales ; 11 = routes nationales ; 12 ; échangeurs autoroutiers ; 13 = gares													
Les vecteurs sont obtenus avec : (1) = matrice de 1955-1975 ; (2) = matrice de 1975-1995 ; (3) = Matrices de 1955-1975 et de 1975-1995 pondérées de manière égale (0,5 et 0,5) ; (4) = Matrices de 1955-1975 et de 1975-1995 pondérées de manière différentes (0,5 et 0,5) ; (5) = moyenne des quatre premiers vecteurs													
Auteur : JP. Antoni (2001) ; Logiciel : CamDeus (Prog. G. Vuidel)													

Ces différences s'expliquent en partie par la construction des autoroutes. L'augmentation considérable des surfaces en eaux durant la première période (elles passent de 2,29 à 4,18% de l'occupation du sol) est en effet due à l'exploitation massive de gravières, créées dans le cadre de travaux publics, liés notamment à la construction des autoroutes. Ces dernières ne seront pourtant visibles sur le terrain d'étude que sur la dernière image, celle de 1995. Ainsi, l'augmentation des surfaces en eaux est prise en compte dans la première matrice, alors que celle des autoroutes ne l'est que sur la deuxième. On ne s'étonnera pas, connaissant cela, que la reproduction des transitions montre des résultats inégaux par endroits. De ce fait, une simulation à partir de la première matrice augmente trop fortement les surfaces en eaux (en fait les gravières) en 2015 ; une simulation à partir de la deuxième matrice augmente trop fortement les autoroutes.



Un cas à peu près similaire existe pour la catégorie du bâti collectif : celui-ci a été très fortement construit dans la première période, et quasiment pas dans la seconde. Historiquement, on connaît en effet l'engouement qu'ont eu les pouvoirs publics (faisant face à une crise du logement) pour ce type de construction, dans les décennies qui suivirent la deuxième guerre mondiale. Durant cette période des Trente Glorieuses, la croissance démographique et économique a produit une augmentation considérable des populations urbaines qu'il a fallu loger rapidement. Les grands ensembles construits sur le mode de l'*open planning* ont parfaitement répondu à cette demande. La croissance laissant place à la crise à partir de la fin des années 1970, il n'a pas été nécessaire de reproduire cette construction durant la deuxième période. Aujourd'hui, une simulation à partir de la première matrice (1955-1975) aura donc tendance à créer du bâti collectif comme si l'on était toujours dans les années 60, alors que la deuxième matrice (1975-1995) n'en créera presque pas.

De ces quelques exemples, on déduira simplement qu'en tant que telle, aucune des deux matrices observées dans le passé ne permet de donner une image correcte de ce que l'avenir pourrait être en 2015 : elles apparaissent trop fortement liées à des moments particuliers de l'histoire. Néanmoins, la considération des tendances passées n'est pas sans enseignement puisque, mis à part les contre-exemples cités plus haut, dont on sait par ailleurs qu'il est peu probable qu'ils se reproduisent, elles indiquent quelques valeurs que pourraient prendre les pourcentages de l'occupation du sol si tout se passait entre 1995 et 2015 comme cela s'est passé entre 1955 et 1975 ou entre 1975 et 1995.

Pour pallier les aberrations identifiées, on propose d'uniformiser les deux matrices, afin de tenir compte simultanément des deux périodes, dont les tendances vont se compenser. La lecture de la Figure 3.2.02 montre que ce couplage apparaît en quelque sorte comme une moyenne, sur laquelle il n'est pas invraisemblable de se fonder pour simuler l'avenir. L'exemple des autoroutes³ confirme cette vraisemblance. On lit en effet sur l'occupation du sol de 1975 qu'elles représentaient 0,05% de l'espace carroyé, alors qu'elle en représentaient 0,16% en 1995. Or, en 1975, on compte un seul échangeur contre trois en 1995. Un échangeur autoroutier semble donc bien représenter environ 0,05% de l'espace considéré : le couplage (avec des pondérations égales ; $\alpha = 0,5$) des deux matrices de transitions (Tableau 3.2.01c) indique qu'en 2015, les échangeurs devraient représenter 0,24% de l'occupation du sol, ce qui correspondrait environ à 4 ou à 5 échangeurs. On sait que les projets de développement autour de l'agglomération belfortaine correspondent à ces simulations : un quatrième échangeur au moins est actuellement en projet.

Néanmoins, pour réaliser ces simulations à l'horizon 2015, on peut également estimer que la deuxième période doit être plus représentée que la première, même si les deux doivent être prises en compte ensemble pour se compenser. En effet, la deuxième matrice témoigne de tendances plus actuelles. La façon dont les espaces collectifs y sont traités (très peu de constructions) suffit à témoigner de cet état de fait. Aussi, plutôt que de considérer les deux matrices de manière égale en leur affectant un coefficient $\alpha = 0,5$, on peut estimer que la seconde est trois fois plus importante que la première et leur affecter un coefficient respectif de $\alpha = 0,75$ et $\alpha = 0,25$. La matrice issue de cette nouvelle pondération produit alors un nouveau vecteur simulé en 2015 (Tableau 3.2.01d).

Le Tableau 3.2.01 montre la synthèse de l'ensemble des résultats. D'abord, ce sont les deux premiers vecteurs, obtenus en utilisant uniquement la première matrice (a), ou bien uniquement la seconde (b). Ensuite, ce sont les vecteurs obtenus par uniformisation des deux matrices, soit par pondération égale (c), soit par pondération différentielle (d). Le dernier vecteur, enfin, présente la moyenne des quatre précédents (e). Compte tenu de ce qui a été souligné préalablement au calcul de ces vecteurs, aucun d'entre eux ne peut apparaître

³ Rappelons que les autoroutes ne sont considérées que par l'intermédiaire des échangeurs.

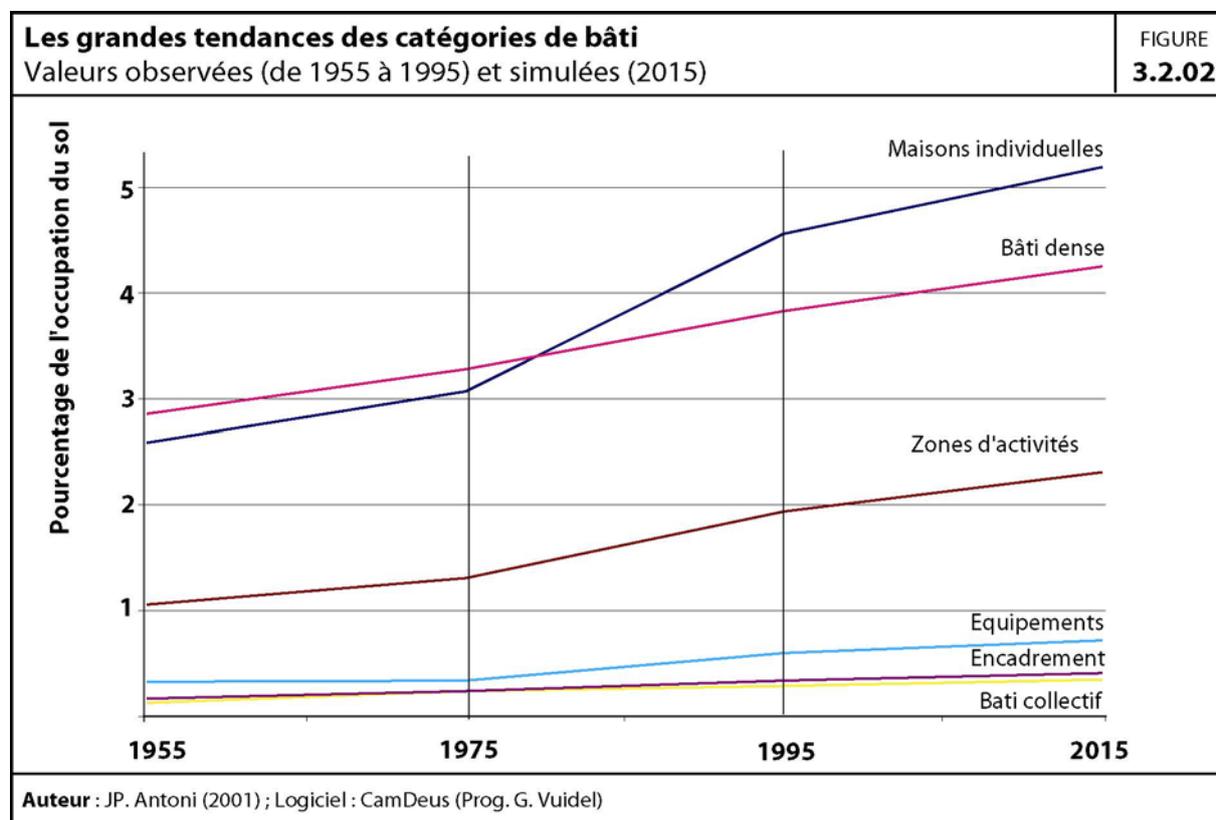
comme juste, ni sur le plan thématique, ni sur le plan théorique. Mais la considération simultanée de ces quatre possibilités issues de l'observation du passé (et finalement leur moyenne) offre une bonne fourchette de valeurs, comparables les unes aux autres, qui indique un ordre de grandeur dans lequel les choses pourraient effectivement prendre place si la dynamique urbaine, appréhendée à partir des matrices de transition, continuait entre 1995 et 2015 comme elle a été observée entre 1955 et 1995. Ces différentes valeurs permettent de calculer un nombre de cellules simulé pour chaque occupation du sol à l'horizon 2015. Elles offrent une extrapolation des transitions observées dans le passé, qui permet de mieux comprendre les processus en œuvre de 1975 à 1995.

1.1.3. Mieux comprendre les processus à l'œuvre

Pour mieux comprendre les processus à l'œuvre depuis 1955 dans la région urbaine de Belfort, on peut en effet reconstruire l'historique de l'évolution des différentes catégories du sol, et la comparer avec celle que prévoit le vecteur moyen issu des différentes simulations produites plus haut. Le premier enseignement à tirer de cette comparaison concerne les espaces naturels. Les Figures 3.2.01 et 3.2.02 montrent en effet que les phénomènes généralement associés au processus d'étalement sont bien à l'œuvre dans le Territoire de Belfort : les « espaces libres », sont en diminution constante depuis 1955.

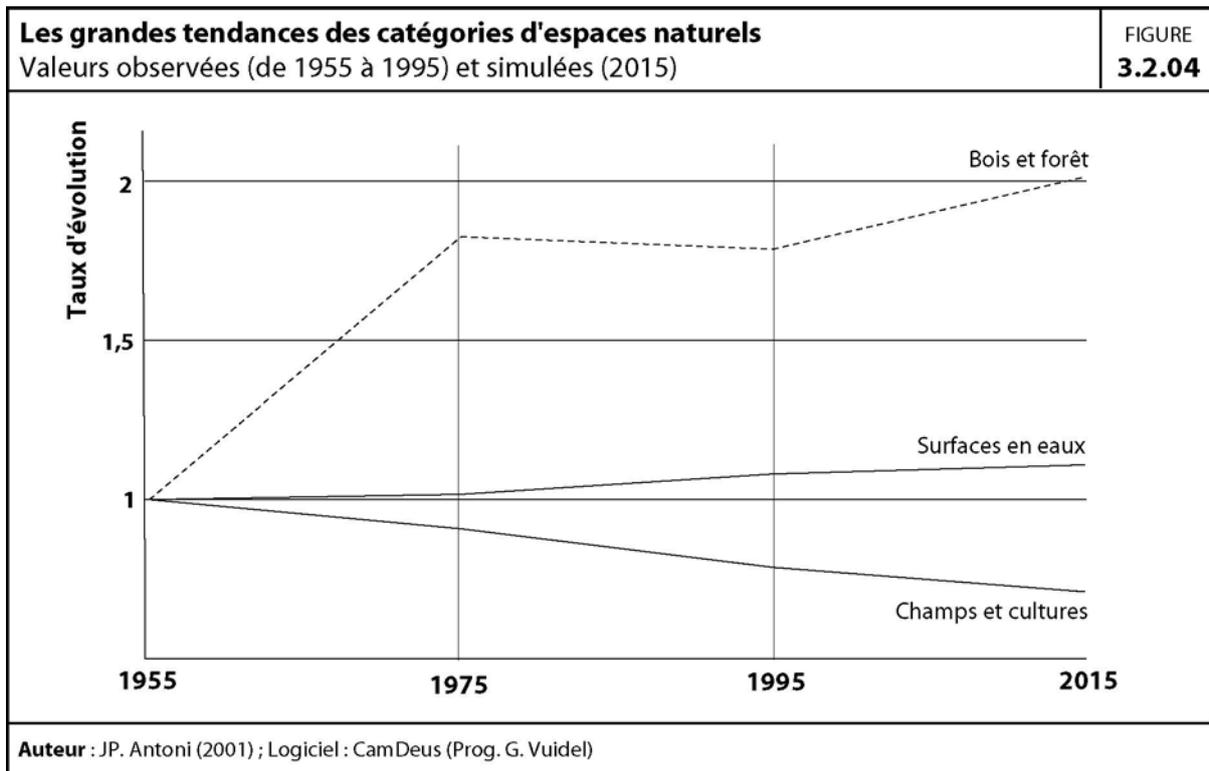
Cette diminution pose alors la question de l'agriculture périurbaine. Car, comme on l'a vu dans la Chapitre 1.2, si cette dernière est généralement menacée par l'étalement urbain, elle l'est aussi dans les périphéries de Belfort, où, comme ailleurs, la substitution de l'espace urbain à l'espace agricole trouble les anciens équilibres, et affecte les productions traditionnelles ainsi que le statut des agriculteurs. De surcroît, cette substitution semble fortement liée à un type particulier d'espace urbain : celui des maisons individuelles. Ce constat est largement confirmé par les matrices de transition : pour une part importante, ce sont les maisons individuelles qui se substituent aux champs et aux vergers, en particulier pour la deuxième période. Cette tendance est largement confirmée par la Figure 3.2.03, qui montre l'évolution des espaces bâtis mesurée entre 1955 et 1995, et simulée vers 2015. Les maisons individuelles sont la catégorie d'occupation du sol qui évolue de la façon la plus importante en 2015, comme en 1995 déjà. La simulation confirme donc la tendance observée entre 1975 et 1995 : **les maisons individuelles sont bien la forme la plus importante de croissance urbaine, qui dépasse le bâti dense que l'on associe pourtant généralement à la forme urbaine la plus traditionnelle. L'ensemble des maisons individuelles et du bâti dense s'impose cependant largement devant les autres catégories de bâti, notamment celles du bâti non-résidentiel. L'urbanisation, dans les cinquante dernières années comme dans les dix prochaines, est donc d'abord une urbanisation résidentielle. Les zones d'activités, puis les équipements et les structures d'encadrement ne viennent que secondairement.** Par rapport aux zones d'activités, qui constituent la plus importante des

catégories de bâti non-résidentiel, les autres sont d'ailleurs assez minimes, presque anecdotiques dans leur progression⁴.



Enfin, les grandes infrastructures nécessaires à l'accompagnement de l'urbanisation sont aussi visibles (dans la croissance des surfaces en eaux par exemple), et contribuent également à la réduction des espaces cultivables. On a vu, en effet, que pour une bonne part, ces surfaces correspondent à d'anciennes gravières, exploitées pour la production des matières premières utiles à la construction de réseaux de transport, notamment celle des routes et des autoroutes. Ces espaces sont certes en augmentation faible, mais ils ne diminuent pas, et la simulation vers 2015 continue de leur réserver une place constante, qui peut s'interpréter comme la nécessité, elle aussi constante, de fournir les matériaux nécessaires à l'accompagnement de l'urbanisation, qui peut prendre la forme d'une importante réticulation. C'est bien ce qu'indique la Figure 3.2.04, qui montre l'évolution des différents espaces naturels.

⁴ Rappelons que les progressions sont mesurées en nombre de cellules, c'est-à-dire en surface. Une faible augmentation, notamment pour les structures d'encadrement, ne doit donc pas s'assimiler à une stagnation des services fournis. Ces derniers peuvent en effet augmenter sans consommer aucune surface supplémentaire, ou s'améliorer sur le plan qualitatif.



Mais, cette diminution conséquente des espaces cultivables ne doit pas masquer un second phénomène qui, quant à lui, ne correspond pas aux principaux constats généralement liés au processus d'étalement urbain : **la plus grande partie des modifications qui touchent les espaces naturels dans la région urbaine étudiée concerne la croissance importante des bois et des forêts. L'étalement urbain y est donc largement concurrencé par un processus de reboisement, qui contribue également à la diminution des « espaces libres »,** mais qui constitue un point remarquable de l'espace belfortain dans la mesure où il peut être rare, parallèlement à l'étalement, de trouver de tels phénomènes.

1.2. Imaginer le passé pour imaginer l'avenir

Si les différents résultats présentés plus haut sont intéressants pour mieux comprendre ce qui s'est passé dans les périphéries de Belfort (et éventuellement ce qui peut s'y passer dans le futur), ils ne concernent que la première étape, c'est-à-dire celle pour laquelle, la quantification des observations passées suffit à déterminer les coefficients à introduire dans le modèle de transition. Quand on s'attache à la deuxième étape de la modélisation, en travaillant sur les coefficients à utiliser pour localiser les changements, on se heurte à un problème plus complexe, qui nécessite une démarche plus empirique. Il est alors nécessaire de s'intéresser à la logique spatiale de ces changements. Mais cette logique ne peut pas directement s'extraire de la base de données comme ont pu l'être les probabilités des matrices de transition. Il convient donc d'utiliser une autre méthode, qui consiste à tester

empiriquement des coefficients estimées *a priori*, pour voir s'ils permettent de reproduire les localisations observées dans le passé.

1.2.1. Des coefficients testés pas à pas

Pour tester les coefficients de masses m du modèle de potentiel et voir quels sont ceux qui correspondent aux évolutions spatiales observées dans le passé, il est possible de travailler par postdiction : la postdiction est alors au passé ce que la prédiction est au futur. On connaît l'état du terrain d'étude en 1975 et son état en 1995. En calculant des potentiels à partir de l'image de la ville en 1975, il est possible d'essayer de retrouver l'image de la ville en 1995⁵, puisque l'on peut comparer les résultats simulés avec les résultats observés, de manière à réajuster le tir au fur et à mesure que des incohérences ou au contraire que des accroches intéressantes sont trouvées. Cette opération est difficile par nature. Mais, elle est rendue encore plus complexe par le fait que le nombre de cellules propre à chaque catégorie d'occupation du sol doit systématiquement être pris en compte. Ce problème a été identifié et expliqué dans l'exemple théorique de la ville de Beispielstadt : à valeur de masse égale, une catégorie d'occupation du sol importante en nombre de cellules engendrera des valeurs de potentiel plus importantes qu'une catégorie d'occupation du sol possédant un nombre réduit de cellules. Ainsi, compte tenu des nombres de cellules différents des catégories des réseaux routiers et des catégories de bâti, il est nécessaire de sous estimer les masses du bâti, afin que les valeurs de potentiels ne croissent pas de manière exponentielle. Ce problème engendre une difficulté supplémentaire d'interprétation des résultats dans la mesure où il rend les masses m incomparables les unes avec les autres.

Néanmoins, une configuration qui paraît assez logique compte tenu de la thématique de l'étalement urbain a été définie. Elle produit des résultats partiellement justes : 34% des 2 782 cellules (soit plus d'une sur trois) qui ont été construites entre 1975 et 1995 sont correctement localisées, c'est-à-dire localisées à l'endroit exact que montre l'image de 1995 (Figure 3.2.05 en haut). Si l'on regarde le voisinage de ces localisations, on constate qu'à 150 mètres près, ce sont plus de 75% des cellules (soit plus de trois sur quatre) qui sont correctement localisées⁶. Cette configuration a été obtenue en composant plusieurs familles de catégories d'occupation du sol. L'ensemble des espaces naturels d'abord (espaces libres, bois et forêts, surfaces en eaux) est évalué comme absolument non-attractifs ; on lui affecte donc une masse $m=0$. L'ensemble des catégories composant le bâti (résidentiel et non-résidentiel) constitue la

⁵ On pourrait d'ailleurs faire exactement la même chose à partir de 1955 pour retrouver l'image de la ville en 1975. La période la plus récente a été privilégiée.

⁶ Cette opération de lecture dans les 200 mètres avoisinant chaque cellule n'est pas possible directement dans l'état actuel du logiciel CamDeus. Elle a été réalisée dans le SIG GeoConcept après transfert des résultats.

deuxième famille, jugée assez attractive. Globalement, on lui affecte une masse $m=2$ ⁷. Toutefois, à l'intérieur de cette deuxième famille, deux cas particuliers ont été distingués : les maisons individuelles, et les zones d'activité. Les maisons individuelles d'abord ont été évaluées comme plus attractives dans la mesure où, elles correspondent à un archétype de l'habitation périurbaine, duquel il peut convenir de se rapprocher pour construire d'autres maisons individuelles. On retrouve alors un phénomène ségrégatif tendant à asseoir le caractère monofonctionnel de l'étalement urbain décrit dans le Chapitre 1.3. *A contrario*, les zones d'activités ont globalement été considérées comme non attractives du fait des nuisances qu'elles sont susceptibles de produire, et se sont vues affecter un coefficient de masse $m=0$. Enfin, la dernière famille de catégories d'occupation du sol est celle qui comprend les réseaux. Parmi ceux-ci, les gares et les autoroutes n'ont pas été traitées, parce que leur faible nombre de cellules aurait nécessité la mise en place de valeurs de masse disproportionnées pour entrer en concurrence avec les catégories de bâti. Cette non prise en compte explique probablement partiellement les écarts entre les valeurs simulées et les valeurs observées : on sait en effet que ces catégories sont importantes dans les choix de localisation industrielle et résidentielle, et dans les configurations spatiales qui en résultent. Seules les catégories correspondant au réseau routier (hors autoroutes) ont donc été codées, avec des valeurs de masse correspondant respectivement à 4 pour les nationales et 3 pour les départementales. Cette distinction entre l'attractivité présumée des deux réseaux découle directement des précédentes observations quant au lien entre l'urbanisation et les réseaux de routes départementales.

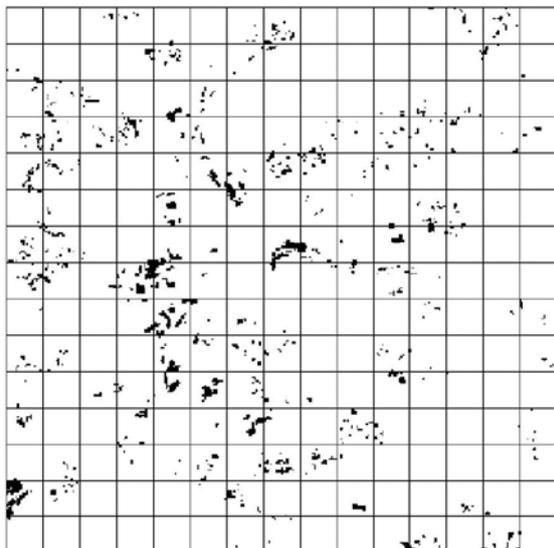
Mais, ces mêmes observations avaient également montré que, sur le plan des routes au moins, un rayon de 500 mètres était suffisant pour prendre en compte la majorité des rapports de proximité. On a vu en effet dans le Chapitre 3.1, que quelle que soit la date considérée, au moins 20% des maisons individuelles se situent dans les 50 premiers mètres autour d'une route départementale ; on en trouve au moins 50% à 200 mètres, et plus de 80% à 500 mètres. Pour le bâti dense, on avait fait un constat à peu près similaire, qui apparaît comme un indicateur précieux pour déterminer la taille de la fenêtre de convolution du calcul des valeurs de potentiel. En effet, de manière empirique, les résultats présentés plus haut ont été calculés avec une fenêtre de 1 000 mètres de rayon. Or, la considération du lien entre les réseaux de routes et l'urbanisation suggère que ce rayon pourrait être réduit à 500 mètres. Sur le plan théorique, la réduction de cette fenêtre réduit également les possibilités de recherche de contre-opportunités et d'éventuels modèles de substitution. A masses égales, les résultats obtenus avec cette nouvelle fenêtre apparaissent sensiblement différents de précédents : il n'y a plus que 29% des cellules (contre 34%) qui sont localisées exactement au bon endroit ; à 200 mètres près, par contre, ce sont 91% (contre 75%) qui se trouvent placées au bon endroit (Figure 3.2.05 en bas).

⁷ Cette masse peut sembler faible sur une échelle qui va théoriquement jusqu'à 10, mais elle tient compte du nombre important de cellules comprises dans l'ensemble de ces catégories

Paramétrage du modèle de potentiel

Un exercice de postdiction

FIGURE
2.05



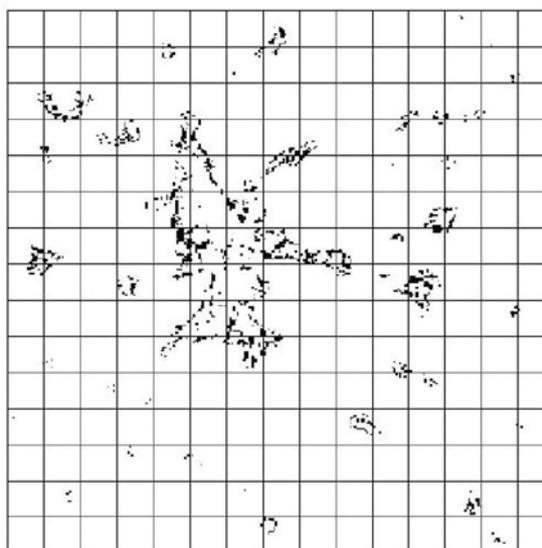
Période 1955-1975 - Valeurs observées

Espace libre, friches : 0
Bois et forêts : 0
Surfaces en eau : 0
Bâti individuel : 3
Bâti dense : 2

Bâti collectif : 2
Equipements : 2
Encadrement : 2
Zones d'activité : 0
Départementales : 2

Nationales : 4
Autoroutes : 0
Gares : 0

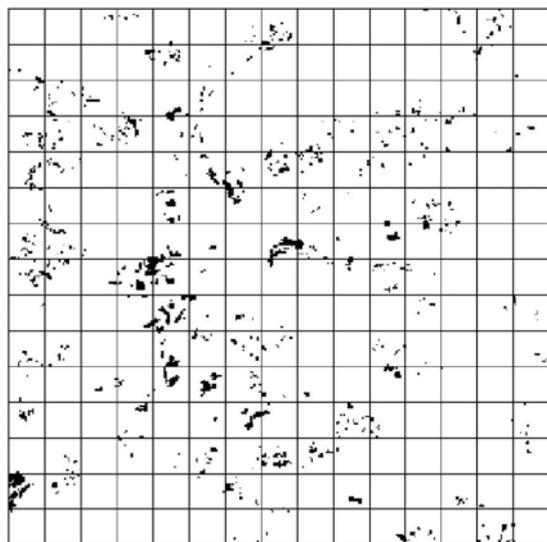
Taille du masque : 1000 mètres



Période 1955-1975 - Valeurs simulées

Cellules localisées à l'identique **34 %**

Cellules localisées à 150 mètres près **76 %**



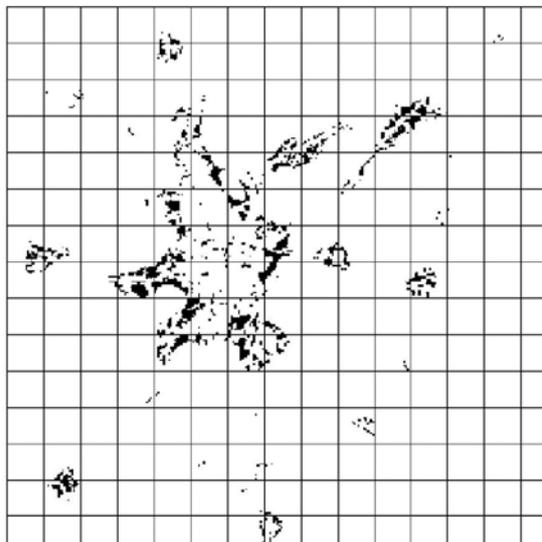
Période 1975-1995 - Valeurs observées

Espace libre, friches : 0
Bois et forêts : 0
Surfaces en eau : 0
Bâti individuel : 3
Bâti dense : 2

Bâti collectif : 2
Equipements : 2
Encadrement : 2
Zones d'activité : 0
Départementales : 2

Nationales : 4
Autoroutes : 0
Gares : 0

Taille du masque : 500 mètres



Période 1975-1995 - Valeurs simulées

Cellules localisées à l'identique **29 %**

Cellules localisées à 150 mètres près **91 %**

Auteur : JP. Antoni (2000)

Que conclure de ces résultats ? Peu de choses, mis à part que l'exercice de reproduction empirique est extrêmement difficile, et que les résultats qu'il produit sont délicats à interpréter. Ils permettent néanmoins de confirmer quelques tendances à propos du processus d'étalement urbain et des complémentarités qu'il met en œuvre, modifiées par une certaine friction de la distance et quelques contre-opportunités.

1.2.2. La forme et le processus

Les résultats ainsi obtenus empiriquement paraissent satisfaisants, parce qu'ils offrent une image de résultats en correspondance avec des formes spatiales auxquels on peut être habitués sur le plan théorique. Il convient pourtant de les observer avec la plus grande prudence. D'une part en effet, ces résultats ne sont justes que dans une certaine mesure, et ne reproduisent qu'imparfaitement la réalité : globalement, 90% des cellules qui ont été construites entre 1975 et 1995 sont effectivement bien localisées par le modèle de potentiel ; mais elles le sont dans un rayon de 200 mètres (ce qui laisse le champ ouvert à de nombreuses possibilités concrètes) et 10% des cellules restent mal localisées par le modèle. Une partie de ce qui s'est passé entre 1975 et 1995 est donc inexplicable par le modèle, soit par manque de précision, soit par inexactitude. De surcroît, il n'est pas possible de faire la différence entre les 90% de localisations correctes, et les 10% de localisations incorrectes : les mauvaises réponses sont noyées dans les bonnes, si bien qu'il est impossible, en pointant telle ou telle cellule, de dire si elle est bien ou mal localisée. On ne peut qu'évaluer sa localisation en terme de probabilités, en posant que chaque cellule a une probabilité de 0,9 d'être correctement localisée. Mais, cette probabilité ne tient pas compte d'une autre probabilité : celle que le futur soit très exactement identique au passé observé. S'il ne l'est pas (ce qui est fort probable), qu'en est-il de ces 90% de chance de localiser correctement les cellules liées à l'étalement urbain ? Derrière la modélisation, on saisit que l'interprétation des résultats propres aux modèles pose de nombreuses questions : il est très délicat d'affirmer que tout ou partie de la simulation est juste. On peut simplement penser que sous certaines conditions, la probabilité qu'elle le soit est supérieure à la probabilité qu'elle ne le soit pas. La façon d'obtenir les coefficients de paramétrage du modèle de potentiel pose donc une kyrielle de problèmes méthodologiques qui limite sa portée en tant que modèle explicatif et qui handicape ses possibilités de reproduire le passé. A un autre niveau, l'ensemble de ces problèmes renvoie à la considération plus complexe du lien entre la forme et les processus.

La question que pose la dialectique entre forme et processus est de savoir si une forme identique est toujours générée par des processus identiques. Dans notre cas, cette question est celle de la validité des coefficients retenus, indépendamment de la justesse des résultats auxquels ils mènent. Pour bien comprendre ce problème, prenons un exemple simple. Pour arriver à un résultat égal à 10, plusieurs chemins sont possibles. Si l'on souhaite y parvenir par l'intermédiaire d'une addition, on peut proposer 11 possibilités : 0+10, 1+9, 2+8, 3+7, 4+6,

5+5, 6+4, 7+3, 8+2, 9+1 et 10+0. Si l'on se contente d'aboutir à la bonne solution, l'ensemble de ces onze possibilités peut être considéré comme juste. Mais si l'on estime que chacune de ces possibilités reflète un processus, aucune n'est équivalente. En effet, en considérant que 10 correspond à une forme et que l'addition permettant d'atteindre 10 est un processus, force est de constater qu'une forme toujours identique peut être générée par des processus différents. Si un processus est validé parce qu'il donne un résultat exact, même si ce résultat est parfaitement exact, on ne pourra considérer qu'il s'agit du bon processus tant que l'on aura pas montré qu'il s'agit de l'unique processus permettant d'atteindre cette forme, ou encore que parmi une multitude de processus permettant de l'atteindre il est bien le seul à être juste compte tenu de ce qu'il représente sur le plan théorique.

Le fait qu'il soit difficile de retrouver les coefficients permettant de reproduire le passé de manière empirique, apparaît comme une difficulté de taille. Il n'est pourtant pas impossible d'imaginer des solutions pour affiner les résultats obtenus, jusqu'à ce que ces derniers se rapprochent d'une exactitude totale. A titre d'exemple, on pourrait imaginer utiliser une méthode statistique, l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM), pour mieux saisir les distances qui lient les catégories d'occupations les unes aux autres. La constitution des données relatives à ces distances découle directement du carroyage mis en place et de son traitement dans un SIG. Les résultats pourraient ainsi aider à mieux déterminer les coefficients du modèle de potentiel. Dans le même cadre d'idée, il apparaît également possible de tester toutes les possibilités et toutes les combinaisons pour le paramétrage des coefficients du modèle de potentiel, de manière à sélectionner celles qui offrent les résultats les plus proches de la réalité, voire celles qui reproduisent exactement la réalité⁸. Ces deux exemples montrent que des solutions peuvent certainement être trouvées pour mieux déterminer les coefficients permettant de reproduire un passé. Mais même si l'on parvenait à le reproduire exactement, on ne pourrait affirmer pour autant que ce résultat soit vraiment juste dans la mesure ou d'autres coefficients, voire même d'autres modèles⁹, c'est-à-dire d'autres processus auraient peut-être mené à des résultats identiques.

2. Scénarios pour le futur

Considérer le passé à travers la modélisation apparaît donc comme une gageure qui rend impossible la certitude de pouvoir disposer d'un résultat exact. L'exercice n'est pourtant pas dénué d'intérêt puisque certaines probabilités éclairent sur les grandes tendances passées.

⁸ Il n'est pas impossible que ce test demande plusieurs années de calcul.

⁹ Dans le précédent exemple, le modèle est toujours resté le même : une addition à deux éléments. On imagine bien que le chiffre 10 aurait aussi pu être produit en changeant de modèle ; on aurait pu introduire un nouvel élément dans l'addition, ou bien substituer une soustraction, ou encore une multiplication, à cette addition. Le champ des possibles devient alors énorme.

Ces tendances sont très intéressantes sur le plan thématique. En elles-même d'abord, elles indiquent et renseignent simplement sur ce qui s'est passé, de manière quantitative. En termes de simulation, ensuite, elles peuvent être reproduites et extrapolées afin que l'espace résultant de leur continuation soit visualisé. La modélisation et l'usage qui en est fait change donc de cadre puisqu'il ne s'agit plus de faire correspondre les paramétrages avec une réalité qu'on sait ne pas pouvoir exactement reproduire, mais plutôt de les associer à une réalité que l'on imagine. La question de la forme et des processus, comme celle de la probabilité d'exactitude¹⁰ ne se pose donc plus. La prospective et ses scénarios nous autorise à imaginer une correspondance totale entre les scénarios testés et les coefficients mis en place pour les tester.

2.1. Scénario : de nouvelles digitations...

Plutôt que de reproduire le passé, on essaie ici de substituer une histoire, ou une tendance, à ce passé. Elle servira à élaborer la future forme de la ville, résultant de la simulation des processus qui lui sont associés. Dans ce sens, chacune des tendances testées correspond à la description d'une action voulue, et la méthode utilisée n'est plus réellement empirique. Elle s'apparente plutôt à la méthode des scénarios, que l'on rencontre fréquemment en matière de prospective quand, ne sachant ce dont l'avenir sera fait, on teste plusieurs possibilités, souvent contradictoires, différentes ou très opposées, parfois complémentaires, de manière à balayer un champ de possibles important, à travers lequel on aura une chance maximale de trouver la solution qui se réalisera dans la réalité. Ici, on testera alors un scénario issu directement des tendances observées dans le passé, mais qui marque l'étalement de façon plus prononcée. Il tient compte de faits et de facteurs nouveaux, qui font partie des tendances et des comportements observés ou présumés à l'heure actuelle.

2.1. Le principe des scénarios

Dans le dictionnaire de R. Brunet *et al.* (1992), on peut lire que « la méthode des scénarios est bien vague, mais elle participe des modèles de simulation. Elle est une des entrées commode de la prospective en économie, en aménagement du territoire. Elle est parfois un simple procédé, un alibi pour éviter d'avoir à se prononcer, ou une présentation plus ou moins habile de préférences ». Cette dernière critique peut être mise en regard des difficultés rencontrées lorsque l'on essaie de reproduire le passé. Éviter d'avoir à se prononcer sur un futur que l'on sait ne pouvoir connaître avec exactitude relève alors autant de la sagesse que de la veulerie : il n'est pas préjudiciable de manquer de fermeté à affirmer un résultat que l'on sait certainement faux (du moins partiellement) plutôt que d'affirmer avec vigueur ce

¹⁰ C'est-à-dire le fait que l'on ne puisse savoir si, pour une cellule donnée, le résultat est juste, alors que l'on sait qu'il l'est pour 90% de l'ensemble des cellules par exemple.

même résultat, qui finira par contredire son auteur : J. de Courson (1999) rappelle que toutes les époques ont connu leurs prophètes et leur idées qui, un jour ou l'autre, se sont révélées fausses.

Dans le même dictionnaire, un scénario apparaît en fait comme une « méthode d'anticipation poussant à bout les conséquences logiques d'hypothèses ou de tendances préalables, sous des contraintes imposées ou contrastées ; ou au contraire, imaginant les conséquences d'un infléchissement, d'une nouvelle stratégie » (Brunet *et al.*, 1992). Travailler avec la méthode des scénarios apparaît donc intéressant pour mettre en correspondance une certaine vision du futur, avec une possibilité de modélisation, indépendamment de la manière avec laquelle cette vision du futur est mise au point. Car à l'inverse du précédent exercice, utiliser des scénarios pour simuler un état des choses, futur ou non, ne pose pas les problèmes rencontrés jusqu'à présent. En effet, une forte correspondance peut être postulée entre les processus qui sont simulés et les formes produites par ces processus.

Pour passer du futur que l'on imagine au futur que l'on modélise et que l'on simule pour en visualiser les conséquences, il suffit alors de traduire en coefficients les idées auxquelles on pense, et que l'on pourrait également décrire de façon très littéraire. L'idée de la « fiche de scénario » (Figure 3.2.06), livrée avec le programme CamDeus, consiste justement à faciliter ce passage du scénario écrit par ceux qui l'ont pensé au scénario chiffré, dont chaque élément correspond aux paramètres des modèles. Cette fiche a été conçue de manière à ce que l'ensemble des acteurs du territoire, réunis autour d'une table pour mettre au point les scénarios à envisager pour le futur de la ville, trouvent un terrain de discussion qui permettent à ceux qui le veulent de travailler directement avec les coefficients des modèles, et à ceux qui refusent cet effort d'abstraction de décrire littérairement les principaux éléments figurant dans leur scénario de manière à ce qu'ils puissent être traduits en termes de coefficients par une tierce personne.

Ainsi, la fiche de scénario permet d'assurer la correspondance entre la phrase « dans le scénario auquel je pense, il est interdit de construire une maison individuelle dans la forêt », et le fait que la valeur de la probabilité de transition de la forêt vers la maison individuelle soit égale à zéro ; ou encore que l'idée que « dans mon scénario, il est préférable d'installer sa maison individuelle le plus loin possible d'un échangeur autoroutier ou d'une usine » correspondent bien à une valeur de masse nulle accordée à chacune de ces deux catégories d'occupation du sol. L'expérience montre d'ailleurs que la mise au point d'un scénario passe souvent par une série de va-et-vient entre la forme littéraire et la forme chiffrée. Au départ, le scénario est généralement littéraire ; mais sa traduction en paramètres nécessite souvent que cette première version soit précisée et complétée. Ainsi, les deux façons d'aborder et de décrire le scénario se complètent mutuellement même si *in fine* c'est la version chiffrée qui apparaît la plus précise et qui témoigne le mieux de l'idée sous-jacente du scénario.

L'ensemble des éléments nécessaires à la simulation étant présenté, **il est possible de donner quelques idées de prospective à traduire en paramètres, pour mettre au point une première simulation du futur possible de la ville de Belfort. Appuyées sur l'observation des évolutions passées, mais également sur les éléments théoriques apportés dans la première partie, ainsi que sur certaines tendances aujourd'hui émergentes dans les espaces et les comportements urbains, ces idées visent à prendre en compte ce qui pourrait advenir si les constats faits jusqu'à présent sur le fonctionnement des aires urbaines continuaient dans une logique identique, ce qui contribuerait au moins à maintenir, voire à renforcer l'étalement urbain dans le futur.**

2.1.1. L'influence croissante du réseau de routes

La première partie de ce travail (Partie 1) a effectivement insisté sur le rôle prédominant des réseaux de communication dans l'urbanisation. En permettant de nouvelles mobilités, liées à de nouvelles accessibilités principalement issues de l'utilisation massive de la voiture individuelle, ces réseaux sont aujourd'hui considérés comme l'une des origines de l'étalement urbain. Dans le Chapitre 3.1, le lien fort existant entre l'urbanisation résidentielle et les réseaux a également été souligné, en montrant que la quasi-totalité du bâti résidentiel se situe dans un rayon de 500 mètres autour des routes nationales ou des routes départementales. Plus haut, on a d'ailleurs réussi à reproduire correctement les observations faites entre 1975 et 1995 en accordant des coefficients forts aux deux catégories de routes départementales et nationales (routes départementales : $m = 3$; routes nationales : $m = 4$, soit les plus forts coefficients ; Figure 3.2.05). Ceci suffit à justifier le fait que dans le cadre d'une simulation visant à reproduire le passé observé en l'ajustant de constats plus récents, on accorde une attention particulière aux réseaux routiers. Ceux-ci peuvent en effet apparaître comme les éléments structurants majeurs de l'urbanisation des années à venir.

Néanmoins, la considération de ces lignes de transports ne prendra probablement pas la même forme d'ici à l'horizon 2015 que celle qu'elle a prise entre 1955 et 1975 et entre 1975 et 1995. Plusieurs éléments permettent en effet de relativiser leur importance, et de construire autant de points qui serviront de piliers à la mise au point d'un scénario. D'abord, on peut noter que malgré le caractère polluant de la voiture individuelle, et même si celui-ci est aujourd'hui complètement entré dans les consciences, les avancées technologiques des différents constructeurs contribuent à une réduction des émissions individuelles de polluants qui compense l'augmentation du parc de véhicules. L'ensemble se maintient alors à un niveau constant, sans qu'un réel nouveau seuil de pollution ne soit franchi. A terme, on peut penser que les avancées technologiques (citons par exemple les travaux sur la pile à combustibles menés à l'Université Technologique de Belfort-Montbéliard) contribueront à diminuer le caractère polluant des automobiles indépendamment du nombre de voitures circulant sur les routes. Malgré une prise de conscience environnementale indéniable,

l'automobile individuelle comme mode de déplacement ne devrait donc pas connaître de perte flagrante d'usagers dans les années à venir puisque, d'une part, elle continuera à polluer toujours moins, et que d'autre part, elle reste l'élément phare de l'ensemble de la politique de transport national, qui permet le fonctionnement de nombreux autres moyens de déplacement. A Belfort, l'automobile est d'autant plus forte et présente que la ville se situe dans l'aire Peugeot, entre les usines de Mulhouse et de Sochaux. Autant d'éléments qui font désormais partie de la ville et de son image, et qui doivent être intégrés à la prospective : il faut construire la ville en « collaboration avec son image » (Antoni, 2002), c'est-à-dire continuer de l'inscrire comme un pôle d'excellence en matière de transports terrestre.

Parmi les autres moyens de déplacement, les Trains Express Régionaux (TER) jouent également un rôle important : il est fort probable qu'ils s'installent demain avec prégnance au cœur du système de transport. En 2003, en effet, on a compté près de 200 millions de déplacements en TER sur l'ensemble du territoire français, soit environ 2000 gares ouvertes à ce trafic pour près de 5 000 trains¹¹. Dans le grand bassin parisien (hors Ile de France), la SNCF pointe quotidiennement 38 000 navetteurs qui effectuent leurs déplacements domicile-travail en TER ; un tiers de ces déplacements couvre une distance supérieure à 75 km de Paris, reliant parfois Rouen, ou Amiens¹². Au regard de ces chiffres, le TER a mérite réellement d'être considéré comme un moyen de déplacement d'avenir. Des milliers de personnes l'empruntent déjà pour assurer leurs déplacements, et notamment leurs Migrations Domicile-Travail, à la base de la problématique de l'étalement urbain, et de la redéfinition des aires urbaines. Deux points majeurs encouragent ce mode de transport. Premièrement, c'est la fréquence des liaisons, qui en permet une réelle souplesse d'utilisation dans le cadre de déplacements journaliers et réguliers. Entre 1998 et 2003 par exemple l'offre TER entre Strasbourg et Mulhouse est passée de 17 à 30 allers-retours quotidiens ; depuis 2002, la liaison a été cadencée (les trains partent toujours aux mêmes moments à chaque heure), ce qui semble avoir contribué à une augmentation de nombre de voyageurs de 10%¹³. Deuxièmement, les tarifs pratiqués par la SNCF, subventionnés (à hauteur inégale selon les départements) par les différents Conseils Généraux, sont également très attractifs et compétitifs. De nombreuses possibilités de réduction sont disponibles. Elles touchent quasiment toutes les catégories de population et tous les types de déplacements : des tarifs spéciaux pour les salariés, les jeunes, les seniors, les familles, les groupes, qui s'appliquent pour de nombreux déplacements, qu'il s'agisse de déplacements de Week-end, de déplacements fréquents, ou bien de déplacements occasionnels. Parmi ces tarifs, la possibilité d'« abonnements de travail » permet aux navetteurs de relier leur résidence avec leur lieu de travail à un prix compétitif par rapport à celui de l'automobile, avec une vitesse, une fréquence et des conditions de confort qui lui sont souvent supérieures. Porté par une innovation constante, l'engouement actuel pour les trajets en TER ne devrait pas s'amoin-

¹¹ Sources : Les échos, 28 février 2003.

¹² Sources : Le Nouvel Observateur « Habiter la province, travailler à Paris », 28 décembre 2002.

¹³ Sources : Rail & Transports « *Le cadencement augmente la fréquentation des TER alsaciens* », 4 juin 2003.

dans les années à venir ; on peut au contraire penser qu'il se positionnera à terme comme une alternative réelle à l'automobile individuelle.

Néanmoins, ce positionnement ne pourra se faire que dans le respect d'une certaine complémentarité. En effet, la substitution du TER à l'automobile ne peut avoir lieu que sur les lignes pour lesquelles les deux réseaux sont comparables, et donc d'abord existants. Or, la contrainte majeure du rail sur la route réside bien dans la lourdeur de sa structure, fixée une fois pour toutes entre deux gares. Dans de nombreux cas, la substitution ne pourra pas se faire, ou du moins, elle ne pourra se faire que partiellement. Il s'agit alors pour les usagers qui ne sont pas directement desservis par une gare, d'utiliser leur automobile jusqu'à la gare la plus proche, puis d'opérer un transfert modal vers le train, qui les amène jusqu'à leur lieu de travail. Ce type de comportement intermodal est de plus en plus fréquent et contribue au développement de plate-formes de mobilité fondées sur l'intermodalité. Les tarifs de la SNCF prennent d'ailleurs de plus en plus en compte ce type de déplacement et propose des prix adaptés, qui combinent le réseau TER avec d'autres réseaux. Les projets de Tram-train, qui apparaissent dans plusieurs grandes villes, viennent également confirmer ce comportement et comble un vide dans l'offre actuelle de transport. On perçoit donc à la lecture de ces chiffres et de ces informations que **les réseaux de transport en commun type TER prennent une importance croissante, mais ils impliquent *a fortiori* l'automobile individuelle qui apparaît comme une condition nécessaire à leur fonctionnement. En quelque sorte, la prédominance annoncée des transports en communs conforte la position de l'automobile, mais dans un sens différent de celui qu'elle connaît aujourd'hui, et surtout, pas au même endroit. Car, si l'offre de transport en commun est assurée sur les grandes lignes, qui correspondent en partie également aux liaisons associées aux routes nationales ou aux autoroutes, elle ne l'est pas sur les petites liaisons correspondant aux routes départementales ou communales.** Cet état de fait annonce une sorte de nouveau conflit entre le réseau national et le réseau départemental.

2.1.2. Les nouveaux conflits nationales / départementales

Même si elle peut être fortement concurrencée par le rail et les transports en commun, l'influence constante du réseau de routes, ainsi que les possibilités de mobilités et de localisation résidentielle qu'elle engendre, ne peut se penser à l'aube du 21^{ème} siècle comme au cours du 20^{ème}. L'exemple du « syndrome de l'aéroport » est à ce propos très instructif. Il amène un élément intéressant et exploitable dans le cadre d'un scénario. On remarque en effet dans les comportements actuels de choix résidentiels que, dans un premier temps, les critères de choix s'effectuent souvent par rapport aux avantages que procure un lieu, essentiellement sur le plan de l'accessibilité et sur celui du prix foncier : il convient de trouver un terrain qui soit facilement accessible et de surcroît pas trop cher. Généralement, les parcelles qui jouxtent les routes nationales ou départementales à fort passage possèdent

ces deux avantages : elles permettent de relier rapidement le centre, et, compte tenu des nuisances sonores qu'impliquent les infrastructures routières, leur prix n'est pas prohibitif. Toutefois, à partir du moment où ces terrains ont été acquis, la part des inconvénients devient plus importante que celle des avantages et une lutte s'organise pour réduire les nuisances sonores. Si ces nuisances ont été intéressantes sur le plan foncier, elles apparaissent rapidement intolérables sur le plan de l'habitat et de la qualité de la vie. Ce principe est du même ressort que celui du « syndrome de l'aéroport » : dans un premier temps, les terrains situés à proximité de l'aéroport (qui n'est encore parfois qu'en projet au moment de l'accession) sont attractifs du fait de leur bas prix découlant des nuisances produites (ou à venir) ; dans un deuxième temps, les riverains, non-contents de la gêne occasionnée par ces nuisances créent les associations nécessaires pour lutter contre le bruit et surtout contre son extension. L'affaire DHL qui avait opposé le service de transport postal américain aux riverains de l'aéroport de Strasbourg à propos d'un projet de vols de nuit qui aurait contribué à asseoir le poids international de l'aéroport et à créer plusieurs centaines d'emplois, est à ce sujet très significative. Les associations d'habitants du secteur, qui pour une part habitent des lotissements de maisons individuelles en lien avec le processus d'étalement urbain, ont massivement manifesté contre ce projet, et par le biais d'un appel à la conscience publique, l'on fait abandonner, condamnant DHL à choisir un autre aéroport pour son extension nocturne.

Il existe bien sûr une différence de taille entre un réseau de routes et un aéroport, mais les constats marqués dès aujourd'hui semblent bien indiquer que le même type de comportements s'y retrouve. Sur le plan des choix de localisation résidentielle, les routes départementales apparaissent souvent privilégiées parce que les nuisances qu'elles engendrent sont moindres que celles des routes nationales¹⁴. Or, il est fort probable que ce phénomène s'accroisse dans l'avenir. De plus en plus, en effet, le caractère villageois de la périurbanisation apparaît important ; il s'associe difficilement aux nuisances des routes, qui réduisent son caractère « authentique ». De surcroît, la nécessité d'accessibilité rapide au centre et le confort actuel des infrastructures nationales contribuent à augmenter le trafic sur ce type de routes, de plus en plus empruntées. Ici aussi, la tendance à s'éloigner des nationales devrait donc s'accroître, d'autant plus qu'une localisation aux alentours d'une route départementale correctement reliée au réseau national permet une accessibilité presque équivalente au centre, avec un bon niveau de confort durant le trajet, mais sans les contraintes permanentes du bruit.

Ces quelques considérations posent donc la base d'un scénario pour simuler la continuation du processus actuel d'étalement urbain. **Les éléments présentés plus haut permettent en effet de relativiser l'importance à accorder aux différents types de réseaux routiers, et**

¹⁴ Cf. un entretien personnel avec M. Thériault, professeur et directeur du Centre de Recherche en Aménagement et Développement (CRAD) rattaché à l'Université de Laval (Canada), lors de son passage au laboratoire Image et Ville, dans le cadre d'un cycle de séminaires.

notamment à minimiser l'attractivité des routes départementales, qui peut être considérablement réduite par rapport à celle des départementales. Ainsi, c'est par l'intermédiaire des coefficients de masse m que l'on tiendra compte de ces nouvelles tendances. Dans le précédent cas, des masses de 3 et 4 avaient respectivement été affectées aux routes départementales et aux routes nationales, pour reproduire des localisations passées. Ici, on peut proposer de modifier ces coefficients et d'affecter une masse de 10 aux premières et de 5 aux secondes.

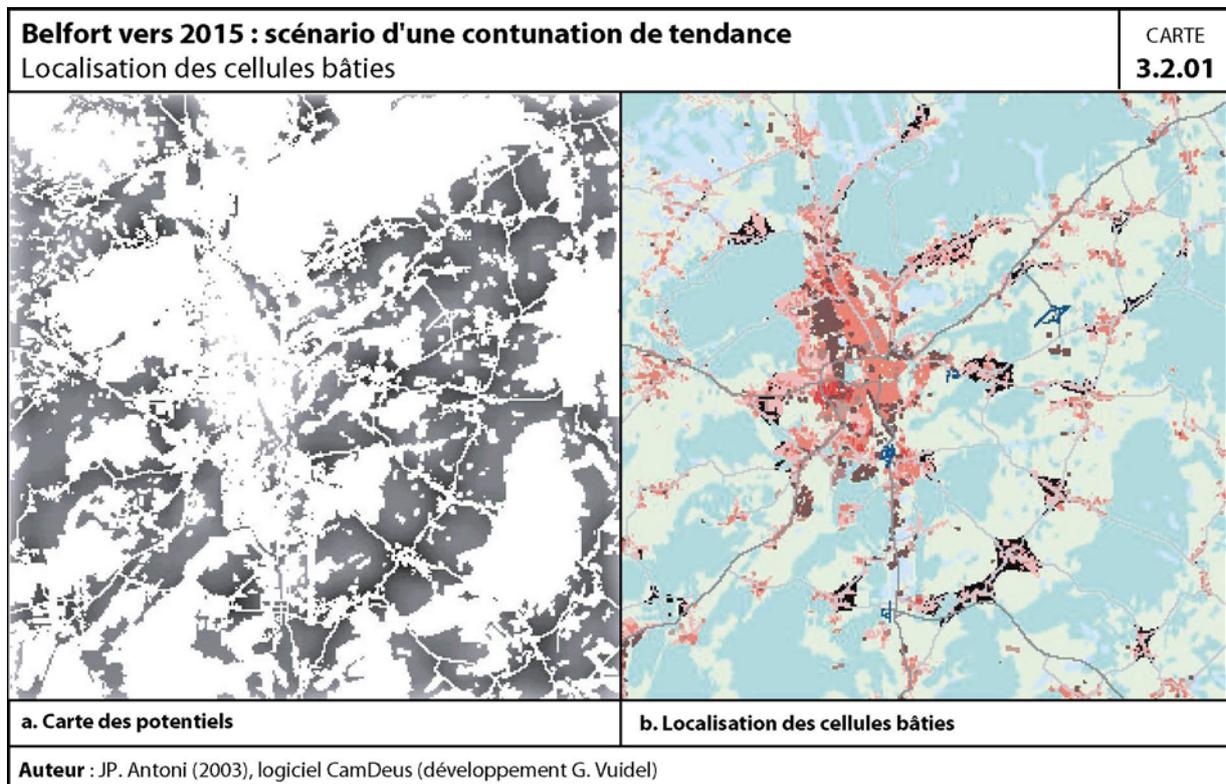
2.2. ... au nouveau mitage

Les réseaux ne sont pas les seuls éléments à prendre en compte pour paramétrer la modélisation et simuler la situation de 2015 si l'étalement urbain continue. L'observation de l'évolution de l'urbanisation belfortaine entre 1975 et 1995 a montré qu'elle se concentre massivement dans la deuxième couronne. On a vu parallèlement que sur le plan théorique, la rurbanisation est justement provoquée par le caractère rural et naturel de cette couronne, dans laquelle les implantations urbaines et leur substitution à l'espace rural prennent la forme d'un mitage. Si la continuation du processus d'étalement urbain amène une nouvelle réticulation, celle-ci ne s'affranchira pas d'un nouveau mitage.

Dans les simulations faites précédemment pour tenter de retrouver l'état de 1995 à partir de celui de 1975, les plus fortes valeurs de masse m ont été accordées aux éléments bâtis pour témoigner que la périurbanisation consistait à se rapprocher de la ville ; ici, dans le cadre d'un scénario visant à renforcer l'étalement urbain observé dans le passé, nous allons modifier cette tendance, en considérant que le principe de la périurbanisation consiste plutôt à se rapprocher des espaces naturels. Ainsi, il ne s'agit plus d'accorder de l'importance aux espaces déjà bâtis, mais d'accorder une attractivité également importante, aux champs et aux forêts, qui constituent le paysage caractérisant le « fond de commerce » de la périurbanisation. Dans un premier temps, il convient donc de relativiser l'attractivité produite par la ville et de la mettre en concurrence avec celle que produit la campagne. Mais, aucune forme d'urbanisation par mitage ne peut se dispenser d'autres réseaux, parmi lesquels les réseaux d'eau, d'assainissement et d'électricité ont une importance déterminante. Il est donc impossible de concentrer l'ensemble des critères liés aux choix de localisation sur les seules bases du paysage : l'implantation d'habitat nouveau doit forcément jouxter un habitat plus ancien, ne serait-ce que pour bénéficier de leur réseaux et les compléter.

En dehors des réseaux (qui ont été étudiés précédemment), trois catégories d'occupation du sol apparaissent alors fondamentales. Ce sont d'abord les « espaces libres » et les « forêts », recherchés pour leur caractère naturel ; on estimera leur masse à $m = 3$ (cette masse tient compte du nombre important de cellules). Ce sont ensuite les maisons individuelles, puisqu'elles offrent des possibilités de raccordement aux différents réseaux nécessaires ; on

évaluera leur masse à $m = 7$. Les masses de toutes les autres catégories sont considérées comme nulles. Un tel paramétrage contribue donc à la mise en avant du caractère villageois de la périurbanisation : les champs et les maisons font partie des archétypes ruraux français et sont les catégories d'occupation sol les plus caractéristiques des villages. Les résultats de la simulation peuvent être visualisés sur la Carte 3.2.01, sur laquelle les cellules localisées sont représentées en noir. La caractéristique villageoise de la périurbanisation ressort effectivement de ces résultats : la majorité des nouvelles implantations se fait dans la deuxième couronne et vient renforcer l'ancienne structure des villages, particulièrement ceux qui offrent une double connexion de routes (Nord-Sud et Est-Ouest). Ailleurs, la périurbanisation contribue à accentuer les digitations, notamment dans les communes d'Offemont et d'Essert, desservie par la RN 19. Plus spasmodiquement, la simulation présente également quelques anomalies, qui ne correspondent pas à ce que le scénario demandait de tester, mais qui ont émergé comme des solutions rendues possibles par le jeu des coefficients imposés : au croisement de deux routes départementales, comme à l'Est de Bessoncourt par exemple, l'urbanisation se localise ici et là selon une forme qui ressemble à l'implantation de hameaux. Directement connectées aux réseaux de communication, les cellules concernées ne jouxtent pas forcément d'anciennes zones d'habitat.



Ainsi, compte tenu des critères élaborés ci-dessus, il semble bien que le renforcement de l'étalement urbain puisse correspondre, dans le futur, à un renforcement du processus de rurbanisation. Les valeurs de coefficients affectées aux catégories d'occupation du sol

confirment que ce type d'urbanisation, dont les principes sont calqués sur ceux du processus d'étalement urbain et révisés selon de nouvelles tendances, se fondent prioritairement sur des critères ruraux. La simulation met particulièrement l'accent sur le caractère villageois *a fortiori* non-urbain de l'espace géographique, ce qui traduit bien une contradiction : celle de continuer à construire la ville, mais selon des modes et des choix de vie qui ne sont pas ceux de la ville.



En fondant les différents scénarios sur l'idée que l'étalement urbain continuera dans le futur, et qu'il sera globalement comparable à ce qui a été observé dans le passé, il est possible de partir de la base des observations faites entre 1955 et 1995, lue à la lumière du filtre qu'offrent les coefficients des différents modèles, pour mettre au point les simulations. Toutefois, **malgré le cadre offert par la modélisation, la détermination des processus passés à partir de deux images statiques du terrain d'étude est une opération complexe et incertaine : le fait que différents processus peuvent théoriquement mener à une même forme, ne permet aucune certitude quand à l'exactitude des coefficients identifiés, même si avec 90 % de résultats corrects à 200 mètres, l'exercice de postdiction peut être estimé concluant.** Les tendances émergentes, en matière de transport notamment, permettent également de modifier les observations passées, de manière à tenir compte de réalités ou d'évolutions récentes. Dans ce sens, la reproduction du passé apparaît toujours comme une hypothèse, une solution parmi d'autres. Dans le cadre des scénarios testés ici, elle montre que l'étalement urbain est effectivement un processus d'urbanisation qui modifie la dialectique entre éloignement et proximité. Les formes résultant de cette modification affichent alors un caractère profondément rural, qui confirme les constats observés dans le cas de la périurbanisation, et particulièrement de la rurbanisation, dans la couronne la plus périphérique, mais dont les principales caractéristiques ont été quantifiées par l'intermédiaire des coefficients des modèles, ce qui permet de les interpréter théoriquement par rapport aux notions d'attractivité, de complémentarité et de distance.

Références bibliographiques :

- Antoni J.P., 2002, Construire en collaboration avec son image, *Territoires en quête d'images. Les ressorts de l'attractivité*, 23^{ème} Rencontres nationales des agences d'urbanisme, Marseille, décembre 2002, pp. 20-22.
- Brunet R., Ferras R., Théry H., 1992, *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique*, Reclus-La documentation française, 518 pages.
- Claval P., 1994, Un préalable pour penser la ville de demain. In : Gorra-Gobin C. (ss. Dir.), 1994, *Penser la ville de demain. Qu'est-ce qui institue la ville ?* L'harmattan, pp. 257-264.
- De Courson J., 1999, *La prospective des territoires. Concepts, méthodes résultats*, Certu, Coll. Débats, n° 22, 70 pages.
- Duhem B., Gourdon J.L., Lassave P, Ostrowetsky S., 1994, *Ville et transports*. In : Gorra-Gobin C. (ss. Dir.), 1994, *Penser la ville de demain. Qu'est-ce qui institue la ville ?* L'harmattan, pp. 91-98.
- Dupuy G., 1994, *Les territoires de l'automobile*, Ed. Anthropos-Economica, 216 pages.
- Gorra-Gobin C. (ss. Dir.), 1994, *Penser la ville de demain. Qu'est-ce qui institue la ville ?* L'harmattan, 266 pages.
- Orfeuil J.P., 1994, *Je suis l'automobile*, Ed. de l'Aube, La Tour d'Aigues, 95 pages.
- Symes M., 1994, *De la ville industrielle à l'agglomération polycentrique*. In : Gorra-Gobin C. (ss. Dir.), 1994, *Penser la ville de demain. Qu'est-ce qui institue la ville ?* L'harmattan, pp. 83-86.
- Thom R., 1991, 1993, *Prédire n'est pas expliquer*, Flammarion, Coll. Champs, 176 pages.

Site Internet :

Trains Express Régionaux (TER) :
www.ter-sncf.com

Chapitre 3.3

Du renouvellement urbain à la non-ville

Quel que soit le niveau de connaissance que l'on parvienne à obtenir à propos du processus d'étalement urbain tel qu'il est intervenu dans l'espace de la ville de Belfort depuis 1955, soit par l'exploitation de la base de données spatio-temporelle, soit par la postdiction liée à la modélisation, il est fort possible qu'il n'aide en rien à envisager le futur de la ville. En effet, les simulations présentées au Chapitre 3.2 montrent une sorte de continuation des tendances, établies à partir de l'étude fine des changements observés entre 1955 et 1975 puis entre 1975 et 1995. Ces simulations postulent forcément que l'avenir sera identique au passé, ou au moins très ressemblant. Or, rien n'est moins sûr. **Dans tous les cas, la probabilité que l'avenir soit strictement identique à ce qu'a été le passé est faible, même si certaines tendances peuvent persister. Il est fort probable que de nombreux facteurs évoluent dans un sens qui n'est pas prévisible à la lecture de cartes de 1955, 1975 et 1995.** Pour s'en convaincre, il suffit de reprendre l'exemple des échangeurs autoroutiers, qui avait lui-même donné lieu à un exemple plus simple sur la ville de Beispielstadt : certaines évolutions technologiques particulières, concernant notamment les réseaux de transports, provoquent des changements temporaires dans l'organisation urbaine, et apparaissent comme une bifurcation par rapport à ce qui avait pu être observé avant ces évolutions. Cet exemple enseigne qu'il est nécessaire, non pas uniquement de mettre l'accent sur l'observation du passé pour simuler l'avenir, mais de coupler cette observation avec une anticipation des grandes tendances qui peuvent survenir demain, compte tenu de ce que nous en connaissons aujourd'hui. Les possibilités de scénarios pour cet avenir sont alors multiples,

et pourraient, par exemple, suivre les indications qu'indiquent les ouvrages de science-fiction. *City of Quartz*¹, par exemple, de M. Davis (1992) fait partie de ces ouvrages qui retracent un historique urbain avant de l'extrapoler pour préposer un scénario concernant le futur de la ville de Los-Angeles. Evidemment, personne n'a encore écrit de livre du même type sur la ville de Belfort ; il n'est donc pas possible d'utiliser ce type d'ouvrages comme une base de scénarios. Mais, l'évolution du contexte politique et réglementaire de l'urbanisme offre à lui seul suffisamment d'éléments pour qu'un scénario soit écrit sans trop se référer aux observations passées : **l'idée de renouvellement urbain, fortement présente aujourd'hui dans l'esprit de ceux qui sont en charge de la planification urbaine, propose de reconstruire la ville sur elle-même, afin de limiter l'étalement urbain. Elle suffit en elle-même à mettre au point un scénario** : si le renouvellement urbain peut trouver une application concrète, celle-ci peut également se traduire en coefficients pour le paramétrage des différentes étapes de la modélisation, qui permettront une simulation. Ensuite, il est également possible de se détacher temporairement de la réalité pour **simuler l'idée que les réseaux de communication actuellement en fort développement – Internet par exemple – pourraient demain devenir omniprésents, et prendre une importance supérieure à celle qu'ils connaissent aujourd'hui**. La simulation de cette idée permet alors de créer une nouvelle image de la ville qui, par les modifications qu'elle provoque sur la dialectique éloignement-proximité, montre les conséquences sur la ville et ses périphéries.

1. Le renouvellement urbain

Parmi les alternatives à l'étalement urbain, on ne peut ignorer celle qui mobilise à l'heure actuelle un grand nombre d'urbanistes et de travaux sur la ville : le renouvellement urbain. Sur le plan théorique, le renouvellement urbain correspond très simplement à l'idée que plutôt que de continuer à construire la ville dans ses périphéries, il est préférable de (re)considérer certaines de ses parties, particulièrement celles qui sont au centre. En effet, construites et utilisées depuis longtemps, certaines ont été abandonnées, c'est-à-dire celles qui ne sont plus utilisées (ou qui sont mal utilisées) et sur lesquelles trônent encore les vestiges qui témoignent de temps anciens (anciennes industries, entrepôts, traces d'anciennes activités, etc.) mais qui n'ont plus aujourd'hui d'actualité économique. On saisit alors le lien qui peut exister entre le renouvellement urbain et la volonté de recréer une certaine proximité de la ville avec elle-même.

¹ Extrait du quatrième de couverture : « Rythmé par un va-et-vient permanent entre culture et société, entre réel et imaginaire, entre passé et présent, *City of Quartz* explore le destin de Los Angeles à travers son urbanisation et son architecture, ses élites politiques et économiques, ses intellectuels et ses artistes, sa police et sa multiethnicité. Pétrie de mythe hollywoodiens et de contradictions écologiques et sociales, la mégapole L.A. y est décrite comme le prisme grossissant permettant de saisir certaines tendances locales de la société américaine [...] ».

1.1. Une tendance dans la tendance

Ainsi, le renouvellement urbain apparaît aujourd'hui comme une tendance dans la tendance, c'est-à-dire une manière particulière de construire la ville, qui correspond bien à la situation également particulière dans laquelle se situe l'urbanisation actuelle : le processus d'étalement urbain. **Outre le fait que, par une recomposition et une re-concentration très simple à comprendre des objets urbains de la périphérie vers le centre, la notion de renouvellement urbain permet de lutter contre l'étalement urbain, elle vise également à l'application du principe de développement durable.** Ce second point contribue néanmoins à le positionner selon le même problème que le développement durable lui-même : si théoriquement il n'est pas très compliqué de comprendre ce que sont le renouvellement urbain et le développement durable, il est bien plus difficile de trouver les applications qui permettent concrètement de les mettre en place. La loi SRU peut être considérée comme un élément législatif permettant de faciliter leur concrétisation.

1.1.1. Renouveler la ville ?

On a vu en effet que la loi SRU, entrée en application en 2000, met en évidence la nécessité d'assurer une plus grande cohérence entre les politiques d'urbanisme et les politiques de déplacement dans la perspective du développement durable. Elle cherche alors à considérer toute la mesure des enjeux de la ville actuelle, et notamment à lutter contre la périurbanisation et le gaspillage de l'espace en favorisant le renouvellement urbain, à inciter à la mixité spatiale et sociale, à mettre en œuvre une politique de déplacement au service du développement durable, etc. On a vu également que son premier intérêt consiste alors à offrir aux décideurs territoriaux de l'aménagement un nouveau cadre juridique dans lequel s'inscrivent les SCoT et les PLU. Mais, pour envisager ce développement, la loi SRU propose aussi cette alternative, qui fait partie de son nom : le renouvellement urbain. Sur le site Internet du Ministère délégué à la ville et à la rénovation urbaine, le renouvellement urbain est défini comme « l'ensemble des interventions mises en œuvre dans les quartiers en crise, en vue d'améliorer leur fonctionnement et de favoriser leur insertion dans la ville ». Et plus loin : « Ces interventions empruntent plusieurs voies et vont de la restructuration des immeubles de logements, l'amélioration de la desserte des transports, la création de nouveaux services publics, à l'implication d'entreprises et l'accompagnement social des habitants ». Ainsi, en changeant la ville (c'est-à-dire en la renouvelant par une modification durable de la physionomie des quartiers en difficulté), on pense pouvoir changer la vie des habitants. La ville apparaît alors physiquement fortement liée au social et l'idée du renouvellement urbain semble bel et bien consister à « mettre le projet urbain au service du projet social ». On a vu dans la première partie que ces deux notions étaient fortement liées puisque la coalescence urbaine, et avec elle les densités de la ville, pouvait avoir comme

conséquences des prises de positions assez radicales sur le plan social (cf. Chapitre 1.3), et donc intervenir directement sur la cohérence urbaine.

Dans une autre définition, plus générale, donnée par G. Cavalier (2000), le renouvellement urbain « intéresse à la fois le traitement des quartiers victimes de processus combinés, de relégation sociale et de dévalorisation urbaine, et, au-delà, dans le temps le plus long de production de la ville et de l'espace large de la zone agglomérée, la fabrication patiente d'une ville plus équilibrée et dont l'aspect et l'usage seraient pour chacun plus équitables ». **En proposant l'idée de renouvellement urbain, la loi SRU espère donc bien insuffler le principe d'une utilisation économe de l'espace et d'une préservation des ressources naturelles.** L'espace des aires urbaines, qu'il soit urbain, périurbain, rurbain ou même rural, doit alors se considérer comme un bien rare, dont l'utilisation et l'exploitation ne doit pas conduire au gaspillage. Sans pour autant inciter à la construction de tours et de barres (qui apparaissent pourtant comme une solution possible qui ferait simplement intervenir la densité pour limiter un éventuel gaspillage), les SCoT et les PLU devraient permettre une meilleure gestion de la ville, de manière à ce que celle-ci continue d'être un lieu d'épanouissement offrant un cadre de vie satisfaisant à ses habitants, et aux futures générations d'habitants. On retrouve donc ici les grands principes du renouvellement urbain : « servir les fins du développement durable à travers la réutilisation de terrains déjà mis en valeur et de bâtiments existants, la conservation de sites vierges et la protection de la campagne et de la nature » (Chaline, 1999). Cet objectif doit ainsi permettre de maîtriser l'expansion urbaine périphérique et le mitage des espaces ruraux, en réduisant les surfaces à urbaniser, dans une perspective de sauvegarde des espaces naturels. Or, si cet espace périphérique urbanisable est restreint, le développement urbain (qui ne s'arrête pas pour autant) doit avoir lieu à l'intérieur de la ville existante. Par des opérations de renouvellement urbain, on entend alors urbaniser davantage des quartiers peu denses ou bien des zones en friches, souvent issues des fermetures et des délocalisations des industries qui étaient au départ installées au centre, et qui, comme le montrent les travaux de B. Merenne-Schoumaker (1974, 1981), trouvent aujourd'hui une nouvelle place en périphérie (cf. Chapitre 1.1).

C'est donc dans ce contexte que la notion de régénération urbaine, importée du monde anglo-saxon, et particulièrement d'Angleterre (*urban regeneration*), prend toute son importance. Touchée plus précocement par la révolution industrielle, comme ensuite par la désindustrialisation, la Grande Bretagne a en effet du faire face depuis les années 1970 aux problèmes de dégradation des centres-villes et à la reconversion nécessaire de nombreuses friches urbaines. C'est essentiellement pour répondre à ces problèmes que la notion de régénération urbaine est apparue, en tant que concept global visant à remettre en état, à renforcer et à assainir une partie de la ville. Sur le plan théorique, il est néanmoins possible de distinguer la régénération urbaine telle qu'elle a pu exister au Royaume-Uni et le renouvellement urbain inspiré de la loi SRU : dans le cas britannique, les actions visant une

simple « remise en état » apparaissent souvent moins radicales que celles proposées dans le cas français, qui vise véritablement le remplacement de certains espaces, sur le plan de son architecture comme de sa fonction ou de la population qui l'habite. Le renouvellement d'un quartier passe donc souvent d'abord par une politique d'amélioration du cadre de vie : infrastructures, espaces publics, environnement, etc. Elle est ensuite souvent marquée par la réalisation d'un projet phare correspondant à la réhabilitation d'un bâtiment caractéristique du site, qui servira à insuffler le nouvel esprit dans lequel l'ensemble de la zone sera ensuite construite. A ces actions s'ajoute enfin une politique d'aide sociale qui vise à attirer de nouvelles personnes et de nouvelles activités sur le secteur. **Les exemples les plus connus de renouvellement urbain concernent aujourd'hui les villes portuaires, dans lesquelles d'anciens docks et des zones urbaines liées à l'exploitation du port ont été réutilisées à d'autres fins. Cette tendance tend à se généraliser, et devient un principe important en matière d'urbanisme et d'aménagement, et ce d'autant plus qu'il apparaît effectivement comme un moyen de lutter contre l'étalement urbain.** L'ouvrage de la Fnau (2001) co-édité par la Caisse de Dépôts et Consignation, montre de nombreux exemples de renouvellement urbain, collectés sur les quatre agglomérations de Lyon, Clermont-Ferrand, Nantes et Montbéliard.

1.1.2. Le renouvellement urbain : lutter contre l'étalement

Ainsi, avec la notion de renouvellement urbain, « l'attention, voire la priorité, se porte désormais dans de nombreuses agglomérations sur le vaste registre d'un urbanisme de transformation, que l'on exprime, de manière quelque peu simplificatrice, par la formule *reconstruire la ville sur elle-même*, ce qui n'est ni évident, ni spontané » (Chaline, 1999). Cette opération, on l'a vu, peut passer par la reconquête des friches urbaines, et leur remise en valeur. L'origine de ces friches peut, quant à elle, être provoquée par de multiples raisons, qui s'inscrivent dans une durée parfois relativement longue. La disparition de l'activité principale d'un site ou d'une zone, par exemple, peut être due à des mutations ou des innovations technologiques, des délocalisations, des comportements collectifs, etc. Pour toutes ces raisons, certaines activités abandonnent leur localisation proche du centre-ville. Les espaces qu'elles laissent vacants ne sont pas toujours directement réutilisés, ce qui provoque leur dégradation progressive, ainsi que celle du tissu urbain qui les entoure. C'est bien ici l'un des effets pervers de l'idée de proximité autour de laquelle la ville s'organise (cf. Chapitre 1.2) : avec la disparition de son activité principale, la vie d'un quartier se trouve entièrement bouleversée, qu'il s'agisse des employés qui travaillaient dans cette activité, ou des commerces et des services que fréquentaient ces employés. Le premier départ entraîne alors les autres, puisque les seuils proximaux (cf. Chapitre 1.2) se trouvent profondément modifiés, et qu'il devient plus intéressant de déménager pour se rapprocher d'autres commerces et services plutôt que de devoir parcourir une distance plus importante pour y accéder. Avec la disparition de l'activité, c'est ainsi l'identité d'un quartier qui peut

disparaître selon un processus que l'on qualifie souvent de spirale ou d'effet boule de neige : la présence de la friche réduit l'attractivité du quartier, les entreprises ferment, l'environnement physique se dégrade. La proximité de la friche transmet finalement une image négative à l'ensemble du quartier.

Aujourd'hui, dans la majeure partie des zones concernées, les friches sont généralement assez proches du centre ville, mais, sur le plan des infrastructures, elles se retrouvent également sous-équipées et enclavées. **Il faut donc faire face à un paradoxe : celui de disposer à proximité du centre-ville de surfaces non exploitées dans le cadre de l'urbanisation alors que, parallèlement, on assume un développement dans les périphéries des villes.** Le principe du renouvellement urbain peut alors s'engager, en se basant lui aussi sur un principe lié à la proximité. Dans un premier temps, il s'agit de recréer une proximité à la fois physique et fonctionnelle qui passe par le désenclavement et par la réalisation d'infrastructures de transport adaptées. Souvent un élément symbolique (comme un pont ou une passerelle, par exemple) suffit à matérialiser ce lien physique entre le site et le centre. Dans un deuxième temps, il s'agit ensuite de recréer une proximité économique puisque dans la majorité des cas, c'est justement cette absence qui caractérise la friche. Pour relancer une activité, on cherche alors à attirer de nouvelles entreprises, de nouveaux commerces et de nouveaux services, en espérant que l'on assiste à un phénomène d'induction, c'est-à-dire que les premières unités attirent naturellement les secondes selon un principe de proximité et un effet boule de neige identique à celui qui avait vu la naissance de la friche urbaine. Enfin, il conviendra pour finir de recréer un espace public à la hauteur des ambitions que l'on compte donner au nouveau quartier : il pourra par exemple être un moteur en matière de mixité, qu'il s'agisse de mixité sociale ou de mixité fonctionnelle, ainsi qu'un élément important pour l'appropriation du quartier par ses habitants. De ce fait, la mise en valeur des friches urbaines (qu'elles soient de nature industrielle, ferroviaire, portuaire ou militaire) se révèle souvent d'une grande valeur stratégique pour qualifier les grandes villes. On sait par exemple que, pour toute une série de raisons l'industrie n'a plus réellement sa place en ville aujourd'hui : les terrains qu'elle utilisait auparavant peuvent alors faire l'objet d'opérations immobilières intéressantes, qui bénéficieront des atouts d'une importante proximité au centre, et éviteront la croissance périurbaine de constructions équivalentes.

1.1.3. Belfort : idées pour un renouvellement urbain

Pour lutter contre l'étalement urbain, une solution consiste donc à réutiliser les friches laissées par les activités urbaines, de manière à construire la ville sur elle-même, ou à faire de la ville sur la ville. Mais ce n'est ici qu'une seule des possibilités multiples et ouvertes pour renouvellement urbain. A vrai dire, c'est même l'une des seules aujourd'hui identifiée dans le monde de l'urbanisme comme permettant de faire correspondre l'idée de renouvellement

avec une application concrète et réellement réalisable. Comme alternative à l'étalement, on propose alors de reconsidérer les densités au sein de la ville, en densifiant certaines parties. Mais comment le faire concrètement ? A ce sujet, le concours d'architecture Europan 4 (concours Européen Pour des Architectures Nouvelles)², portant justement sur le thème *Construire la ville sur la ville*, apporte un certain nombre d'idées. Il a en effet été question de penser tous les développements possibles de ces nouveaux territoires urbains, en travaillant sur des lieux contemporains, localisés dans des espaces possédant déjà une identité forte, mais actuellement en situation de mutation sociale. Trois directions ressortent des différents projets présentés par les concourants : 1. La réhabilitation et la restructuration de l'existant incluant parfois l'articulation de nouvelles extensions ; 2. La densification de certains espaces et la valorisation de la nature comme nouvel espace public ; 3. La création de « micro-centralités » commerciales et culturelles accompagnées d'habitat.

Compte tenu de ses spécificités, héritées de son histoire industrielle et militaire, la ville de Belfort a fait l'objet d'un exemple pour mettre en œuvre l'idée de renouvellement urbain : elle a été proposée comme l'un des sites de travail du concours³ avec une candidature appuyée par le texte suivant : « Dans un contexte périphérique dilué, la transition entre un faubourg ordonné et une entrée de ville sans qualité doit être gérée à partir de la restructuration d'un bâtiment industriel obsolète dont l'emplacement de bonne qualité paysagère peut permettre le traitement d'espaces publics intéressants et la réalisation d'une opération d'habitat exemplaire » (l'intégralité du texte est présenté sur la Figure 3.3.01). Deux projets ont été mentionnés, qui proposaient de reconsidérer les abattoirs de la ville, en cessation d'activité depuis 1994. Néanmoins, plutôt que de focaliser sur cet équipement unique, on pourrait dresser une liste plus exhaustive des espaces qui se trouvent aujourd'hui ou qui se trouveront demain dans une situation comparable à celle qu'ont pu connaître les abattoirs depuis 1994. Deux types d'espaces entrent dans cette catégorie.

² Dans la perspective d'une ouverture et d'une Europe élargie, Europan vise à approfondir les connaissances et les réflexions dans le domaine de l'habitat et de l'urbanisme, et à favoriser les échanges sur ce sujet entre les différents pays d'Europe. Europan a avant tout pour but d'aider les jeunes architectes européens à développer et à faire connaître leurs idées sur la scène européenne et sur la scène internationale. Il a également pour objectif d'aider les villes et les aménageurs ayant proposé des sites à trouver des réponses urbaines et architecturales novatrices. Europan organise donc des appels d'idées, suivis de réalisations expérimentales sur des thèmes qui articulent les questions liées aux nouveaux modes de vie urbains, à l'habitat, à l'architecture et à l'urbanisme. Ces appels d'idées portent sur des sites proposés par 70 villes européennes et s'adressent à tous les jeunes architectes et les jeunes professionnels de la conception (âgés de moins de 40 ans) d'Europe (www.archi.fr/EUROPAN/).

³ Site n° 26, classé dans la catégorie « Frange de centre-ville / Equipement obsolète ».

Renouvellement urbain

L'exemple du concours Europân à Belfort

FIGURE
3.3.01

BELFORT - FRANCE

Ville. Belfort / Population : 50 000 (agglomération 80 000) / Nom du lieu : Les abattoirs / Catégorie : Frange de Centre-Ville Équipement Obsolète / Contact: Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort (AUTB) Monsieur Barillot 8 rue de Mulhouse, BP 07 90002 Belfort cedex / Téléphone : 33 - 84 46 51 51 / Surfaces : Zone d'intervention 70 hectares, zone à construire 3 hectares

Agglomération. La ville de Belfort est implantée à un carrefour géographique (entre Vosges et Jura) et à une croisée de voies de communication (axes ferroviaires et axes routiers). L'évolution urbaine a successivement été conditionnée par un urbanisme militaire puis une expansion due au développement économique. Le visage de Belfort a profondément changé depuis quelques décennies. De grands ensembles d'habitat social, le renouvellement du tissu industriel, la modification des grandes infrastructures routières, l'emprise libérée des terrains militaires ont opéré une césure avec l'ordonnance urbaine héritée du XIXe siècle et recomposée entre les deux guerres. Dès la fin des années 70, une procédure appelée "contrat ville moyenne" est passée avec l'État, a permis de réorganiser le cœur de la ville. Aujourd'hui, l'action urbaine se situe essentiellement dans les anciens faubourgs, les quartiers des grands ensembles ou sur des terrains nouvellement ouverts à l'urbanisation comme les sites militaires. Un projet de ville récemment élaboré identifie les différents enjeux d'un développement de la ville pour les quinze prochaines années. Les abattoirs se placent dans ce cadre de réflexion.

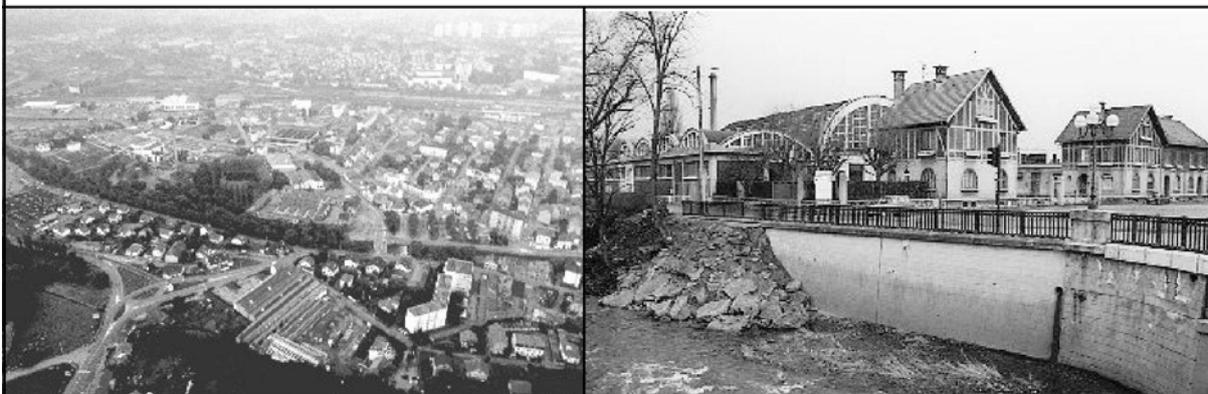
Site. En périphérie de la commune, le terrain se trouve à la frontière entre le faubourg de Montbéliard, dense et ordonné, composé d'un bâti ancien, et l'entrée sud-ouest de la ville, totalement déstructurée et constituée de locaux industriels et de services correspondant à une dégradation brutale de la qualité du tissu urbain. Le long de la rivière, la Savoureuse, le site se compose des abattoirs, bâtiment en béton datant de 1933 et devenu obsolète en raison d'une cessation d'activité depuis 1994, avec ses pavillons d'entrée; d'un parking récemment boisé; d'un étang totalement isolé; constituant ainsi un ensemble d'éléments dilués sans articulation avec la trame urbaine. Le lieu appartient entièrement à la Ville et est stratégique car, situé le long de la rivière, il constituera un des jalons d'un futur ensemble cohérent d'implantation d'équipements pour jeunes. Il fait partie des quatre grands espaces urbains prioritairement concernés par la démarche " projet de ville ". Les abattoirs s'inscrivent donc dans ce périmètre plus large de réflexion sur l'entrée sud de Belfort comprenant des équipements de loisirs (piscine, restauration rapide, maison des arts).

Objectifs. La municipalité réfléchit actuellement aux possibilités d'émergence d'une nouvelle dynamique urbaine conjuguant équipements publics destinés aux jeunes et habitat, et ayant pour point d'ancrage le site des abattoirs. Toutefois, elle affirme sa volonté de conserver des repères de la mémoire de la ville. La rivière de " La Savoureuse " pourrait constituer un lieu de référence.

Programme. L'obsolescence des bâtiments des abattoirs permet des transformations d'usages qui doivent faire émerger un pôle d'activités sportives (tennis de table, musculation, sports de combat,...) et culturelles (salle de rock,...). La démarche doit aussi s'accompagner d'une réflexion sur la production d'espaces publics de qualité. Toutefois, l'un des enjeux forts du devenir du site réside dans la recherche d'une meilleure intégration de ce dernier à son environnement, dans un souci de renforcement de la continuité urbaine et en particulier par l'implantation d'un programme d'habitat intermédiaire.

Thème. Dans un contexte périphérique dilué, la transition entre un faubourg ordonné et une entrée de ville sans qualité doit être gérée à partir de la restructuration d'un bâtiment industriel obsolète dont l'emplacement de bonne qualité paysagère peut permettre le traitement d'espaces publics intéressants et la réalisation d'une opération d'habitat exemplaire.

Ce texte est accompagné de deux photos (sans légende ni commentaire) :



Sources : www.archi.fr/EUROPAN

Ce sont d'abord les sites industriels, et particulièrement celui de l'entreprise Alstom, localisé en plein cœur de la ville. Suite à la déstructuration des activités du groupe, certaines parties de ce site sont actuellement en friche, d'autres sont déjà ré-occupées par de nouvelles entreprises. A terme, on peut estimer (mais on se place alors déjà dans le cadre d'un scénario) qu'environ un quart du site pourrait hypothétiquement être à nouveau investi par de nouvelles activités. Ces quelques éléments donnés par le principe du renouvellement urbain et par la situation particulière de l'agglomération de Belfort, offrent les bases d'un scénario qui pourrait très bien faire l'objet d'une modélisation en trois étapes (quantification, localisation, différenciation), techniquement appuyée sur Cam.Deus. En effet, si l'on extrapole la situation actuelle, et si l'on tente un chiffrage, et même si ce dernier ne peut être qu'approximatif (donc risqué), il est possible de déterminer les paramètres des trois étapes de la modélisation. Par exemple, il est possible de considérer qu'environ 25% des cellules qui composent aujourd'hui le site d'Alstom peuvent être considérées comme des cellules ouvertes à l'urbanisation, et qui pourront être traitées comme telles par le modèle de potentiel et par les automates cellulaires. Ce sont ensuite les anciens terrains militaires correspondant aux champs de Mars et au fort Hatry peuvent subir le même traitement, et être considérés de la même manière. On sait en effet que le désinvestissement des militaires à Belfort contribue à libérer des terrains ; le temps d'un scénario ici aussi, le champs de mars et le Fort Hatry peuvent être considérés comme faisant partie des prochaines opérations de réhabilitation.

1.2. Paramétrer le renouvellement urbain

Ainsi, si l'on peut concevoir qu'à Belfort, certaines opportunités existent pour asseoir une politique volontariste de renouvellement urbain, il peut apparaître intéressant également de simuler ce à quoi cette politique peut effectivement mener. Par l'intermédiaire d'un scénario, la modélisation peut alors permettre une simulation de ce type. Mais, il convient de préciser dès le départ que l'ensemble des idées énoncées précédemment au sujet du renouvellement urbain ne pourra pas être modélisé, et notamment celles qui concernent directement la réhabilitation architecturale : seules les grandes lignes, inspirées de la notion, pourront servir de base au scénario. **La question primordiale est alors de savoir comment effectuer le passage entre l'idée inspirée par le renouvellement urbain et la modélisation. Dans un premier temps, il convient de dégager les grandes lignes qui devront être modélisées. Ensuite, par l'intermédiaire de paramètres plus classiques, on interviendra spécifiquement sur le modèle de transition, le modèle de potentiel et les automates cellulaires, afin respectivement, de bloquer la construction de maisons individuelles, d'affirmer la centralité du centre, et de privilégier la mixité.** Pour ce faire, on partira alors de la base des changements observés entre 1975 et 1995. Comparés avec les transitions de 1955-1975, elles donnent un ordre de grandeur intéressant pour paramétrer une nouvelle matrice de transition (Tableau 3.3.01).

Matrices de transition														TABLEAU 3.3.01
Les deux matrices de transition de base : 1955-1975 et 1975-1995														
MATRICE DE TRANSITION 1955-1975														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	S
1	88,11	3,8	3,03	2,14	1,06	0,24	0,14	0,13	0,63	0,48	0,22	0,04	0	100
2	0,25	96,11	2,16	0,23	0,16	0,01	0,02	0,07	0,16	0,82	0,03	0	0	100
3	10,24	4,51	82,92	0,44	0,15	0	0	0,15	0,63	0,1	0,24	0,63	0	100
4	17,96	2,79	0,69	72,95	2,01	0,26	0,04	0,26	0,77	1,97	0,21	0,09	0	100
5	3,57	0,78	0,08	0,43	90,14	0,5	0	0	0,62	3,38	0,5	0	0	100
6	1,77	0	0	0,88	11,5	80,53	0	0	4,42	0,88	0	0	0	100
7	14,63	2,04	1,36	0,34	0	0,68	79,59	0	1,36	0	0	0	0	100
8	10,39	7,79	0	0	0	0	0	80,52	0,65	0	0,65	0	0	100
9	10,28	2,83	0,21	0,94	0,52	0	0	0	82,69	2,1	0,42	0	0	100
10	3,99	2,45	0	1,02	0,96	0	0	0,03	0,19	91,15	0,11	0,11	0	100
11	2,93	1,1	0,18	0,55	1,92	0	0,55	0,46	0,37	0,18	90,85	0,91	0	100
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
S	164,12	124,2	90,63	79,92	108,42	82,22	80,34	81,62	92,49	101,06	93,23	101,78	100	
MATRICE DE TRANSITION 1975-1995														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	S
1	82,15	10,73	0,14	3,09	1,06	0,05	0,52	0,15	1,07	0,48	0,32	0,23	0	100
2	4,62	93,88	0,01	0,55	0,24	0	0,05	0,06	0,32	0,1	0,18	0,01	0	100
3	0,67	2,16	95,96	0,69	0,05	0	0,13	0,08	0,19	0,05	0,03	0	0	100
4	0,07	0	0	96,05	1,34	0,14	0,22	0,07	0,58	1,45	0,07	0	0	100
5	0,07	0	0	0,24	97,29	0,47	0,41	0,17	0,37	0,98	0	0	0	100
6	0	0	0	0	0	99,55	0	0	0,45	0	0	0	0	100
7	0	0	0	0	0	0	99,67	0	0,33	0	0	0	0	100
8	0	0	0	0	0	0	0	99,07	0,47	0,47	0	0	0	100
9	0,17	0	0	0	0	0,17	0	0,17	98,98	0,51	0	0	0	100
10	0,93	4,45	0,25	0,81	1,26	0,03	0	0	0,51	91,38	0,18	0,2	0	100
11	2,67	0,18	0,09	1,07	0,18	0	0,09	0,09	0,09	6,93	88,62	0	0	100
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100
13	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	60	100
S	91,35	111,4	116,45	102,5	121,42	100,41	101,09	99,86	103,36	102,35	89,4	100,44	60	
Les valeurs de la diagonale sont en grisé.														
Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1= espaces libres ; 2 = bois et forêts ; 3 = surfaces en eaux ; 4 = maisons individuelles ; 5 = bâti dense ; 6 = bâti collectif ; 7 = équipements ; 8 = structures d'encadrement ; 9 = zones d'activités ; 10 = routes départementales ; 11 = routes nationales ; 12 ; échangeurs autoroutiers ; 13 = gares														
Auteur : JP. Antoni (2001)														

1.2.1. Modèle de transition : bloquer les maisons individuelles

On a vu que l'idée du renouvellement consiste à réinvestir le centre-ville et à limiter la prolifération de constructions périphériques. Or, les espaces périphériques correspondent généralement à des constructions peu denses, dont les maisons pavillonnaires individuelles sont un archétype. Parallèlement, le centre des villes est généralement associé à des constructions denses, correspondant à la catégorie d'occupation du sol « bâti dense ». Un

scénario de renouvellement urbain pourrait alors correspondre à ce que, dans l’avenir, la construction de maisons individuelles diminuent par rapport à ce qu’il pu être dans le passé. Entre 1955 et 1975, la probabilité que des maisons individuelles soient construites (indépendamment de la catégories d’occupation du sol sur laquelle elles ont été construites) était de 0,697. Entre 1975 et 1995, cette même probabilité était de 0,645. Pour réduire les maisons individuelles, on considère alors simplement que cette probabilité de construction diminue. Posons, par exemple, qu’elle est divisée par deux, soit une probabilité de 0,3 environ qui doit être ventilée dans l’ensemble des catégories du sol pouvant devenir des maison individuelles. Or, compte tenu du scénario et du thème du renouvellement urbain, on estime que les espaces naturels doivent être préservés. On élimine alors la probabilité que les champs et les forêts ne deviennent des maisons individuelles ; la probabilité générale passe alors à 0,281. Ainsi, en annulant simplement deux valeurs de la matrice de transition 1975-1995, on crée une matrice nouvelle correspondant au scénario testé.

Scénario du renouvellement urbain														TABLEAU
Matrice de transition														3.3.02
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	S
1	85,25	10,73	0,14	0	1,06	0,05	0,52	0,15	1,07	0,48	0,32	0,23	0	100
2	4,62	94,41	0,01	0	0,24	0	0,05	0,06	0,32	0,1	0,18	0,01	0	100
3	0,67	2,16	95,96	0,69	0,05	0	0,13	0,08	0,19	0,05	0,03	0	0	100
4	0,07	0	0	94,89	2,5	0,14	0,22	0,07	0,58	1,45	0,07	0	0	100
5	0,07	0	0	0,24	97	0,75	0,41	0,17	0,37	0,98	0	0	0	100
6	0	0	0	0	0	99,55	0	0	0,45	0	0	0	0	100
7	0	0	0	0	0	0	99,67	0	0,33	0	0	0	0	100
8	0	0	0	0	0	0	0	99,07	0,47	0,47	0	0	0	100
9	0,17	0	0	0	0,15	0,17	0	0,17	98,83	0,51	0	0	0	100
10	0,93	4,45	0,25	0,81	1,26	0,03	0	0	0,51	91,38	0,18	0,2	0	100
11	2,67	0,18	0,09	1,07	0,18	0	0,09	0,09	0,09	6,93	88,62	0	0	100
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
S	94,45	111,93	96,45	97,70	102,44	100,69	101,09	99,86	103,21	102,35	89,40	100,44	100,00	
La matrice de base est la matrice 1975-1995 ; Les probabilités modifiées sont représentées en gras ; les valeurs de la diagonale sont en grisé														
Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1= espaces libres ; 2 = bois et forêts ; 3 = surfaces en eaux ; 4 = maisons individuelles ; 5 = bâti dense ; 6 = bâti collectif ; 7 = équipements ; 8 = structures d'encadrement ; 9 = zones d'activités ; 10 = routes départementales ; 11 = routes nationales ; 12 ; échangeurs autoroutiers ; 13 = gares														
Auteur : JP. Antoni (2001)														

Mais, cette matrice peut encore être modifiée pour tenir compte d’autres modifications liées au renouvellement urbain. On a vu par exemple qu’une partie du site Alstom pouvait être réhabilitée. Il n’est pas inenvisageable que cette réhabilitation concerne des logements qui, compte tenu du site et de son architecture, seront des logements collectifs denses dans l’éventualité d’une réhabilitation. Sur les matrices de transitions observées dans le passé, la probabilité que les cellules classées en « zones d’activités » deviennent « bâti dense » a

toujours été nulle : cette transition n'a jamais été observée. Il est donc nécessaire de la créer en modifiant la matrice de transition. On estime, par exemple, que la valeur de la probabilité est équivalente à celle d'une opération de densification standard permettant de passer du bâti individuel vers le bâti dense. Les matrices de transitions montrent que ces valeurs sont de 0,201 entre 1955 et 1975 et de 0,134 entre 1975 et 1995. Pour tenir compte de ces deux tendances, on fixe à 0,15 la probabilité d'une réhabilitation créant des logements dense à partir d'une ancienne zone d'activité. Les zones d'activités n'ont donc plus qu'une probabilité de 0,9748 de rester des zones d'activités (contre 0,9898 entre 1975 et 1995) ; et une probabilité de 0,15 de devenir des logements denses.

Scénario du renouvellement urbain													TABELAU
Le vecteur d'occupation du sol simulé													3.3.03
Valeurs observées													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1955	46.87	38.44	2.29	2.59	2.86	0.13	0.33	0.17	1.06	4.04	1.21	0.00	0.01
1975	42.57	39.08	4.18	3.07	3.28	0.24	0.34	0.24	1.31	4.40	1.25	0.05	0.01
1995	36.88	41.54	4.09	4.56	3.83	0.29	0.60	0.34	1.94	4.43	1.33	0.16	0.00
Valeurs simulées (2015)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2015	33.48	43.47	3.99	4.41	4.39	0.35	0.85	0.43	2.52	4.48	1.38	0.26	0.00
Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1= espaces libres ; 2= bois et forêts ; 3= surfaces en eaux ; 4= maisons individuelles ; 5= bâti dense ; 6= bâti collectif ; 7= équipements ; 8= structures d'encadrement ; 9= zones d'activités ; 10= routes départementales ; 11= routes nationales ; 12= échangeurs autoroutiers ; 13= gares													
Auteur : JP. Antoni (2001) ; Logiciel : CamDeus (Prog. G. Vuidel)													

Dans le même cadre d'idées, on peut également estimer que des logements individuels subiront le même type de réhabilitation, dans le but de densifier le logement. Ceci correspondrait alors à la transition de la catégorie « bâti individuel » à la catégorie « bâti dense ». La probabilité de cette transition est de 0,201 entre 1955 et 1975 et de 1,34 entre 1975 et 1995. Pour la renforcer, on la fixe à 0,025 dans la nouvelle matrice (celle du scénario du renouvellement urbain). Mais, cette modification se répercute forcément sur la probabilité que les cellules restent dans la même catégorie : elle passe de 0,9605 entre 1975 et 1995 à 0,9489 dans la matrice de simulation. Comme pour le logement individuel, il est possible d'imaginer des opérations de densification plus importantes, concernant des bâtiments que l'on considère aujourd'hui déjà comme denses. Ainsi, une telle transition consisterait à transformer le bâti dense en bâti collectif. Mais ce bâti collectif ne sera pas exactement de la famille des grands ensembles (type *open planning*) car si une densification doit avoir lieu, elle ne reprendra certainement pas la forme de l'échec qu'ont pu être les barres et les tours des années 1960 et 1970 : de nouvelles formes et de nouveaux principes architecturaux peuvent aujourd'hui être exploités pour créer une densité supérieure. L'urbanisme de dalles fournit

des exemples qui vont dans ce sens. Toutefois, pour tenir compte de cette transition du bâti dense vers un bâti encore plus dense, sans pour autant modifier les catégories d'occupation du sol présentes dans la base de données, on assimilera ces nouveaux logements à l'ancienne catégorie du bâti collectif, puisque les deux correspondent à un niveau de densité à peu près équivalent. Concrètement, on peut estimer que la probabilité de cette transition sera relativement faible, dans la mesure où elle correspond à des opérations qui restent exceptionnelles en urbanisme. On la fixe alors à 0,75, en réduisant la probabilité que le bâti dense ne reste lui-même (la probabilité passe de 0,9729 à 0,97) et la probabilité que les logements collectifs, n'empiètent sur les espaces naturels et ne deviennent des zones d'activités. Ces deux modifications conduisent à une probabilité de 0,98 pour que le bâti dense devienne du bâti collectif.

Ainsi, l'ensemble des modifications présentées ici tient compte de l'idée de renouvellement urbain par l'intermédiaire de ces grands principes et constituent un scénario qui se traduit directement dans les coefficients d'une matrice de transition (Tableau 3.3.02). Ce scénario souligne également le fait qu'un tel paramétrage se fonde uniquement sur l'opinion de celui qui l'effectue, même si celle-ci est parfois guidée par les observations passées. Ici, quasiment toutes les probabilités de transitions qui ont été changées correspondent à des valeurs observées pour des changements préalablement identifiés. L'affectation de nouvelles probabilités consiste à estimer que les changements entre telle et telle catégorie dans le futur seront les mêmes que ceux observés entre telle et telle autre dans le passé. Dans ce sens, une rétrospective et une prise en compte des données présentes dans les matrices de transition éclairent le paramétrage de la modélisation, en donnant un ordre de grandeur aux simulations à venir. Le Tableau 3.3.03 montre les valeurs d'occupation du sol contenues dans le vecteur simulé à partir de la matrice de transition du scénario « Renouvellement urbain ».

Le Tableau 3.3.04 montre ensuite le nombre de cellules générées par ce vecteur dans chaque catégorie d'occupation du sol, comparé au nombre de cellules existant sur le terrain d'étude en 1995. Il indique également le nombre de cellules qui devront être créées dans chaque catégorie⁴. Ainsi, en ce qui concerne les espaces bâtis, le scénario du « renouvellement urbain » ne devrait créer aucune cellule de maison individuelle supplémentaire ; il produira par contre 498 cellules de « bâti dense », 51 cellules de « bâti collectif », 241 cellules d'« équipements », 96 cellules d'« encadrement », et 574 cellules de « zones d'activités ». Au total, se sont donc 1459 cellules qui seront créées par le scénario, et qu'il convient de localiser, dans une deuxième étape.

⁴ En fait, ce tableau reprend exactement une fenêtre du programme CamDeus dans laquelle, en fonction des informations contenues dans chaque case du tableau, il est demandé à l'utilisateur de lier la première étape de la modélisation avec la deuxième en sélectionnant les catégories d'occupation du sol et le nombre de cellules calculé par le modèle de transition qui leur est associé, qu'il conviendra de localiser à l'aide du modèle de potentiel.

Scénario du renouvellement urbain Comparaison des cellules entre 1995 et 2015			TABLEAU 3.3.04
Catégorie d'occupation du sol	Nombre de cellules en 1995	Nombre de cellules en 2015	Nombre de cellules à créer
(1)	33027	30127	-
(2)	37389	39119	1730
(3)	3677	3589	-
(4)	4098	3973	-
(5)	3450	3948	498
(6)	260	311	51
(7)	521	761	240
(8)	293	389	96
(9)	1693	2267	574
(10)	3990	4031	41
(11)	1194	1242	48
(12)	146	234	88
(13)	3	0	-

Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1 = espaces libres ; 2 = bois et forêts ; 3 = surfaces en eaux ; 4 = maisons individuelles ; 5 = bâti dense ; 6 = bâti collectif ; 7 = équipements ; 8 = structures d'encadrement ; 9 = zones d'activités ; 10 = routes départementales ; 11 = routes nationales ; 12 = échangeurs autoroutiers ; 13 = gares

Auteur : JP. Antoni (2001) ; Logiciel : CamDeus (Prog. G. Vuidel)

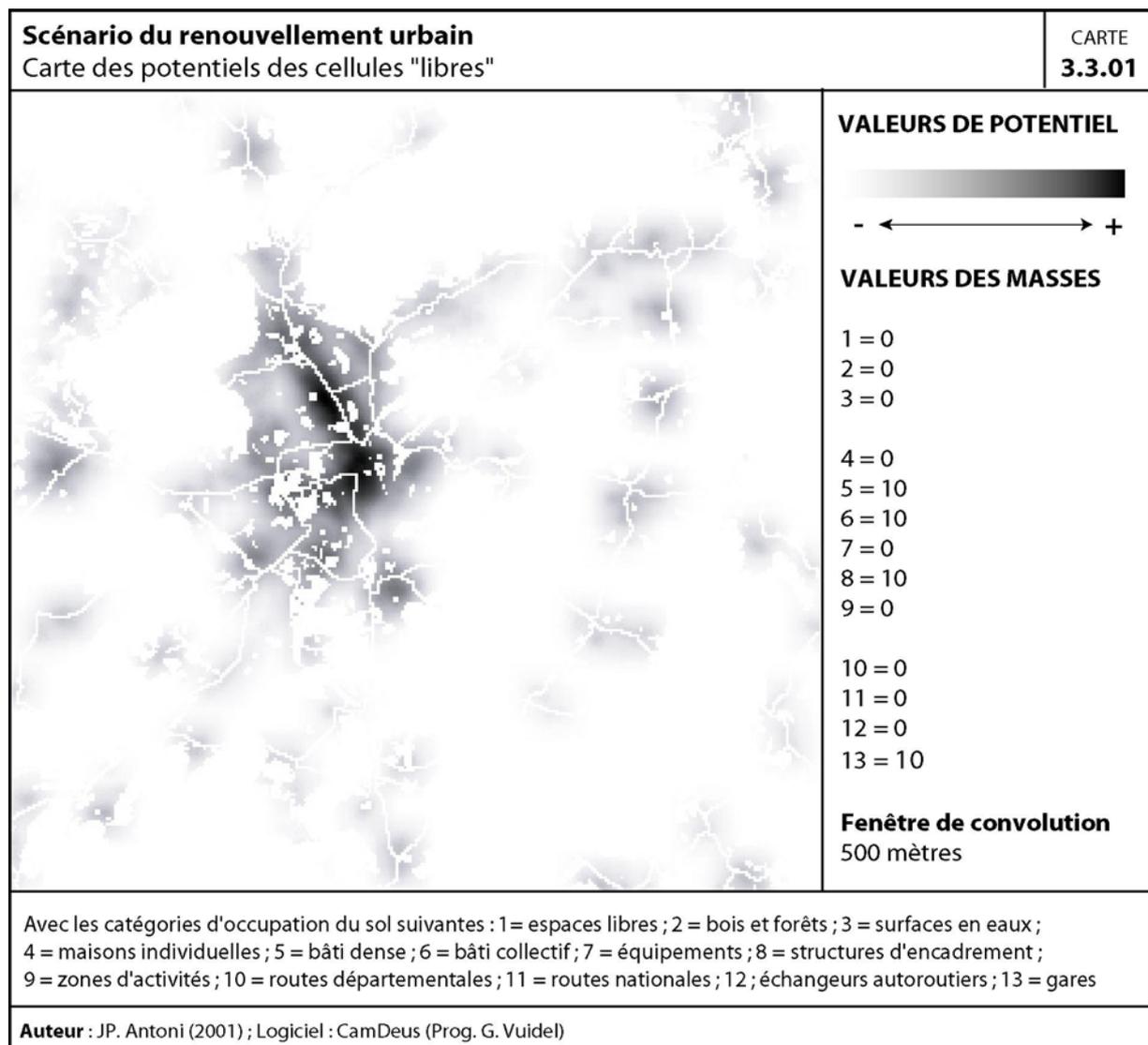
1.2.2. Modèle de potentiel : affirmer la centralité du centre

L'idée du renouvellement, une fois traduite en probabilités de transition pour correspondre au premier modèle (modèle de transition), permet de quantifier les changements urbains, en lien avec un scénario particulier. Dans une deuxième étape, l'objectif du modèle de potentiel est de localiser ces changements. Mais, cette localisation doit se faire en correspondance stricte avec ce qui a été fait jusqu'ici, et il ne doit y avoir aucune contradiction entre le premier et le deuxième modèle ; ils doivent au contraire apparaître complémentaires. Ainsi, pour paramétrer les valeurs qui serviront au modèle de potentiel, il est possible de se référer à un autre point théorique constaté en étudiant l'étalement urbain : les centres des villes se vident pendant que les périphéries progressent et cette crise des centres se caractérise généralement par une désertion des activités produisant le maximum d'interactions, celles que l'on utilise très fréquemment et dont on cherche généralement à se rapprocher prioritairement. Aujourd'hui, les grands centres commerciaux, et de plus en plus les structures d'encadrement, privilégient une localisation périphérique. On a vu que les logements ont tendance à suivre le même mouvement, contribuant de ce fait à l'étalement urbain. Ainsi, une reconquête des centres villes comme espaces résidentiels permettrait de les re-qualifier : elle pourrait constituer à considérer à nouveaux les centres comme des lieux à privilégier pour l'établissement de locaux commerciaux, et d'activités tertiaires ; le logement pourrait alors également suivre cette nouvelle donne. De surcroît, un objectif de

mixité sociale visant à combattre la ségrégation sociale pourrait accompagner cette reconquête des centres, et y introduire une nouvelle cohésion sociale. L'ensemble de ces actions a alors pour but de favoriser l'accès des habitants au centre ville, ce qui ne peut se faire que par la mise en place de projets plus ou moins globaux. La réalisation du tramway de Strasbourg est un exemple de ce type de projets, largement suivi depuis par d'autres villes.

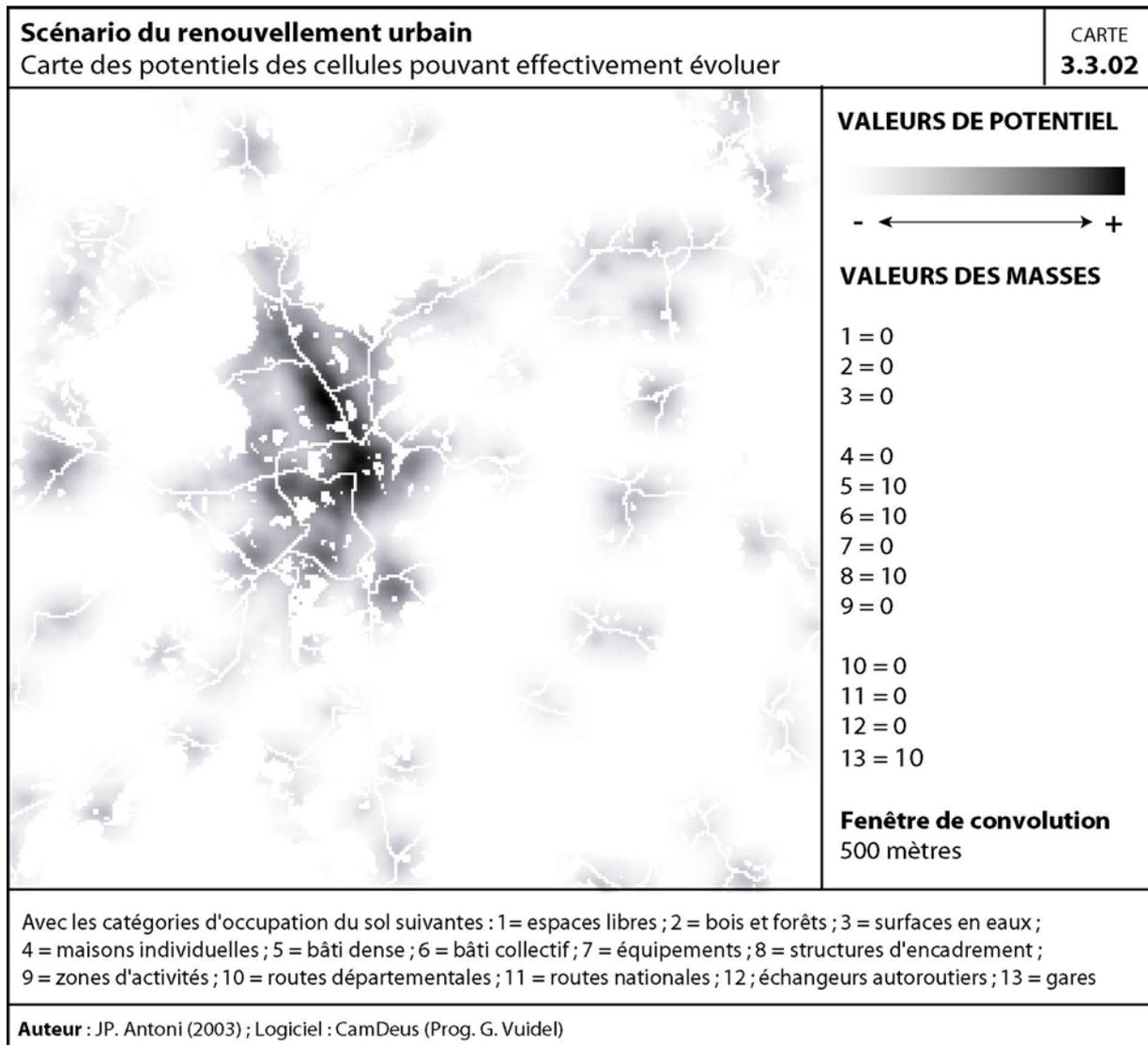
En distinguant treize catégories d'occupation du sol, le modèle de potentiel peut calculer la carte des potentiels les plus forts, liés à ce scénario de renouvellement urbain. Il est cependant nécessaire de le paramétrer en affectant à chaque catégorie une valeur de masse m correspondant à son attractivité présumée dans le cadre du scénario. Pour correspondre à ce qui a été dit plus haut, et pour créer un scénario très démonstratif, on proposera alors de n'accorder que deux valeurs à ces masses m : elles seront égales soit à 0 (valeur la plus faible correspondant à une attractivité nulle) ou à 10 (valeur la plus forte correspondant à une attractivité maximale). On crée alors deux groupes : les éléments dont on cherche à se rapprocher (et qui correspondent à une attractivité forte) s'opposent à ceux dont on ne veut pas se rapprocher (et qui correspondent à une attractivité faible).

Dans le premier groupe (groupe attractif), on place alors le bâti dense, le bâti collectif, les structures d'encadrement et les gares. Tous ces éléments correspondent en fait à des éléments « purement urbains » caractéristiques du centre des villes. Dans le deuxième groupe (non attractif), on trouve alors tous les réseaux. Ils sont effectivement moins utilisés du fait que la reconquête du centre génère de nouvelles proximités limitant l'utilisation de l'automobile. Mais, dans ce deuxième groupe, on trouve également les maisons individuelles et les équipements dont la localisation est généralement plutôt périphérique, ainsi que les espaces naturels qui, par définition, sont non-urbains. L'ensemble des valeurs de masses étant déterminé, il reste à régler le problème de la fenêtre de convolution avant de lancer le calcul. Pour ce faire, on se réfère à l'étude des périodes passées du Chapitre 3.2, qui indique que les routes sont généralement très proches des habitations. Dans la mesure où ils constituent autant d'éléments de paysage avec lesquels les complémentarités sont favorisées, on peut considérer que toutes les autres catégories d'occupation du sol doivent également l'être. On estime alors que l'ensemble doit se situer dans les 500 mètres aux alentours de chaque cellule pour être pris en compte dans la calcul des potentiels, soit une fenêtre de convolution d'un rayon de 10 cellules.



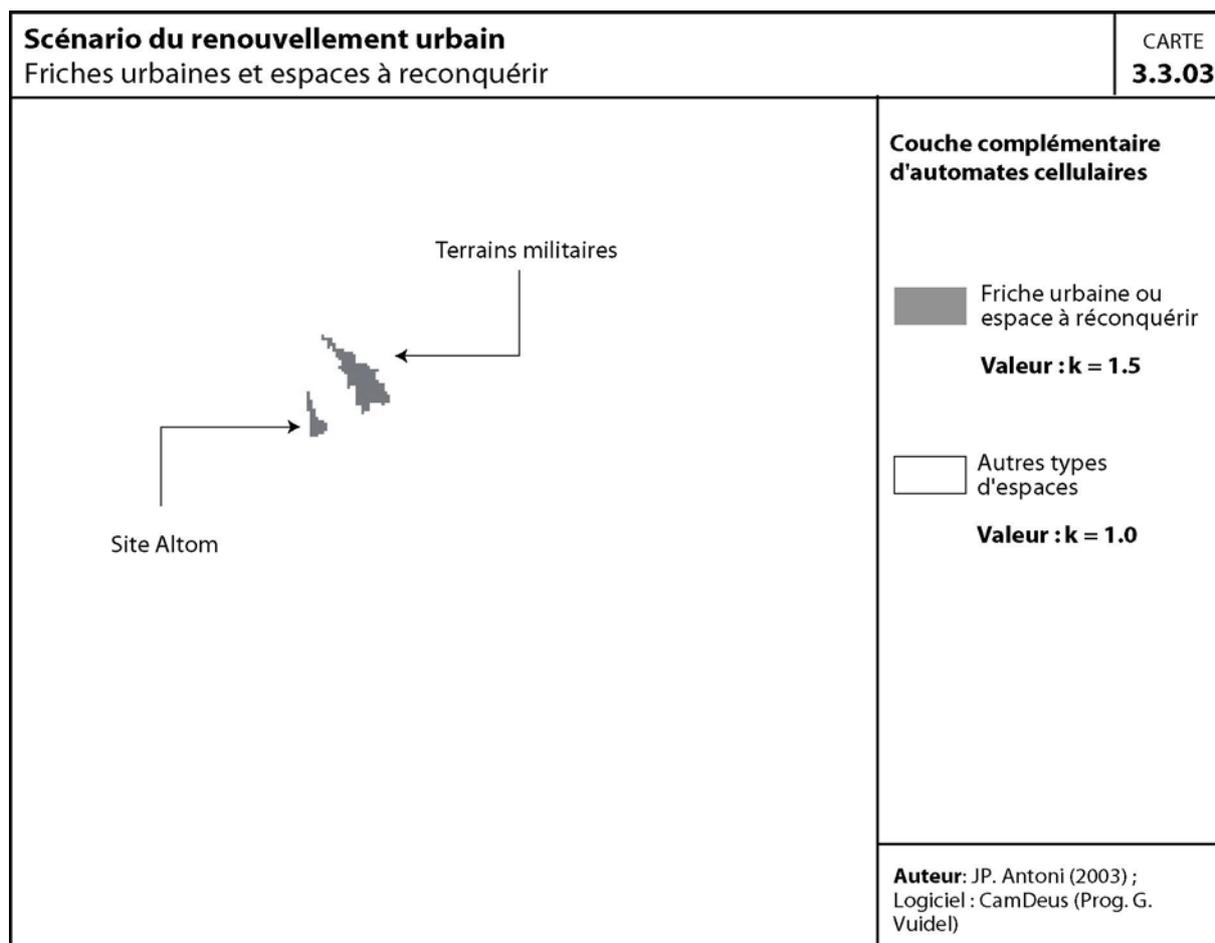
On peut alors produire une carte des potentiels (Carte 3.3.01). Mais, contrairement aux précédents exemples, elle ne montre pas uniquement des valeurs calculées pour les espaces libres : on a vu que d'autres transitions existent et qu'elles doivent être prises en compte. Les zones d'activités, par exemple, peuvent accueillir du logement ; le logement actuel peut se densifier, etc. Pour tenir compte de ces éléments de scénario et pour garder une cohérence entre les différentes étapes de la modélisation, il est donc nécessaire de calculer une valeur de potentiel pour l'ensemble des catégories d'occupation du sol qui peuvent évoluer.

Ainsi, compte tenu des modifications apportées dans le modèle de transition, la Carte 3.3.02 montre des valeurs calculées pour les espaces libres bien sûr, mais également pour le bâti dense, le bâti collectif et les zones d'activités et les maisons individuelles, qui sont également sensés pouvoir évoluer.

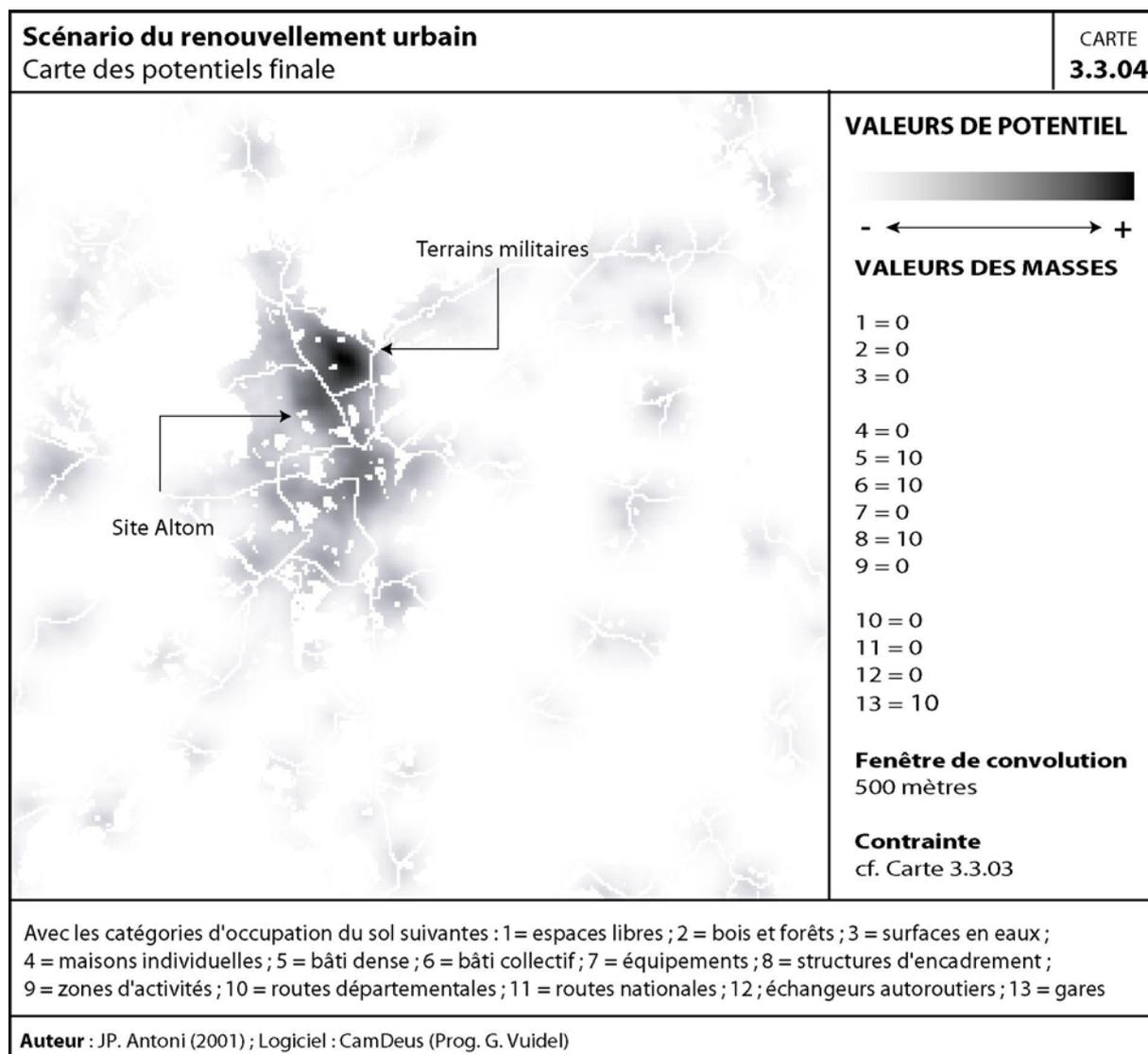


Toutefois, la majorité de ces espaces n'est pas modifiable en tant que telle : certaines cellules sont déjà bâties et leur probabilité la plus forte est de rester dans leur catégorie. Ainsi, on ne peut pas considérer que toutes les cellules de ces catégories d'occupation du sol sont susceptibles d'évoluer sous prétexte que certaines (qui en représentent une faible proportion) le sont. De surcroît, ces quelques cellules sont généralement identifiées, et correspondent aux possibilités de réhabilitation faisant suite à l'abandon de terrain ou à la reconquête de friches industrielles. Dans la cas de Belfort, elles correspondent à une partie du site Alstom (évaluée à environ 25% du site), et à l'ensemble Champ de Mars et Fort Hatry appartenant actuellement à l'armée. Globalement, ces cellules peuvent être identifiées en terme de cellules, comme sur la Carte 3.3.03. Aussi, plutôt que de calculer des valeurs de potentiel pour l'ensemble des cellules, il est plus précis de les calculer uniquement pour la catégorie « espaces libres » à laquelle on ajoute les cellules concernées du site Alstom, du champ de Mars et du Fort Hatry. Mais, dans la mesure où le scénario privilégie une expansion urbaine centrale par rapport à une expansion périphérique, il est tout à fait possible d'accentuer les

valeurs de potentiels de ces cellules pour s'assurer qu'elles seront urbanisées de façon prioritaire, avant celles de la périphérie. Pour ce faire, on utilise alors le coefficient de contrainte k en leur attribuant une valeur $k=1,5$. Compte tenu de ces deux changements (la classification des cellules au sein d'une catégorie d'occupation du sol unique et l'affectation d'un coefficient de contrainte), le modèle de potentiel, avec les mêmes valeurs de masse m que précédemment, produit les résultats de la Carte 3.3.04.

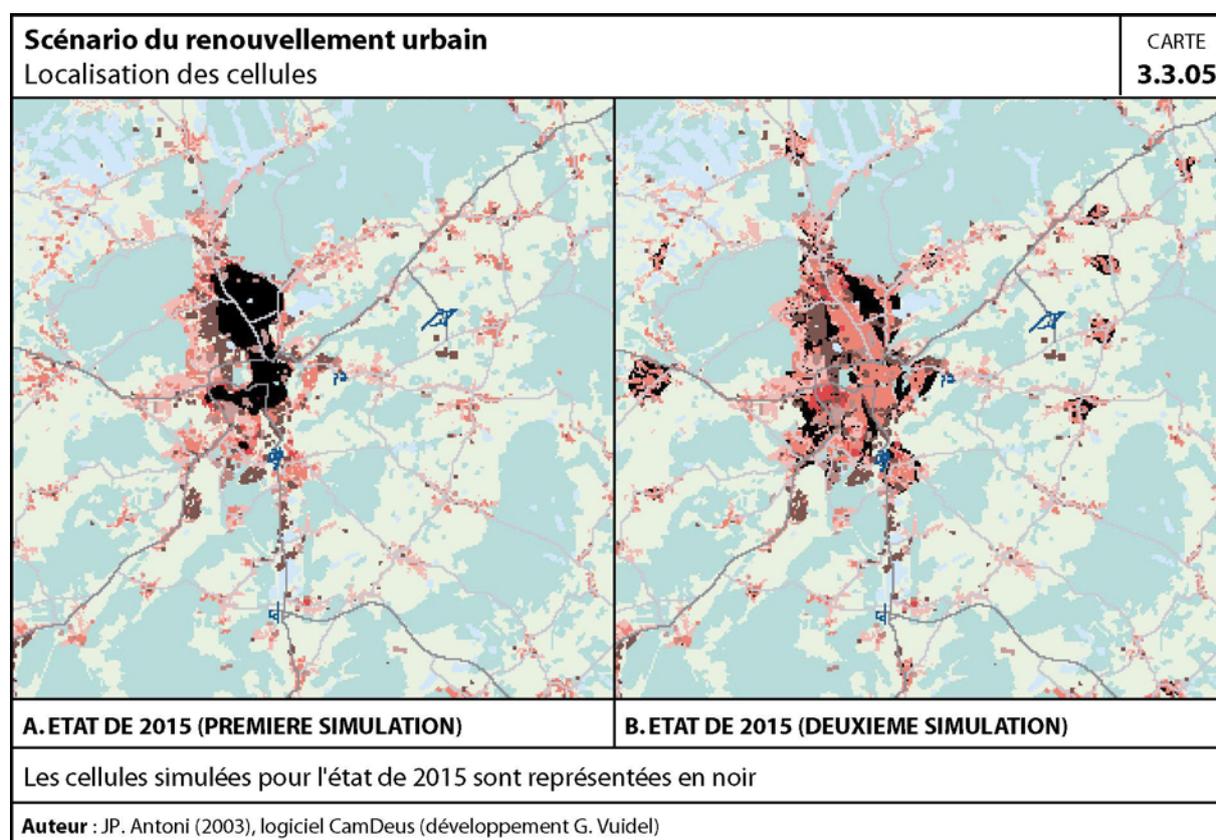


En comparant les Cartes 3.3.02 et 3.3.04, on voit que les potentiels les plus forts ne se prennent pas la même place dans la ville mais que, dans le deuxième cas, leur répartition est très fortement influencée par les friches urbaines du site Alstom, le champ de Mars et le Fort Hatry. Dans le premier cas (Carte 3.3.02), ces potentiels découlent plus directement du bâti dense. Ainsi, à partir de la Carte 3.3.04, il est possible de localiser les 1459 cellules qui devraient être construites dans le cadre du scénario « renouvellement urbain » : elles prennent place sur les 1459 cellules aux potentiels les plus forts.



La Carte 3.3.05a montre alors que les résultats, et avec eux le scénario, est irréaliste : la très grande majorité des cellules qui devraient être construites sont localisées en plein milieu urbain, et viennent presque se substituer à l'intégralité du bâti ancien de la ville de Belfort. L'idée de construire la ville sur elle-même est certes bien représentée dans ces résultats, mais avec des proportions telles qu'elle n'a plus ni de possibilité de se réaliser concrètement ni même de sens : il apparaît impossible de faire du renouvellement sur près de 1 500 cellules ; certaines d'entre elles devront se localiser dans les périphéries non construites et seul un petit nombre pourra véritablement faire l'objet d'une réhabilitation. Pour pallier ce problème, il est donc nécessaire de modifier la carte des potentiels, non pas en changeant les masses correspondant à chaque catégorie d'occupation du sol, mais en calculant une valeur de potentiel pour la catégorie « espace libre », qui jusqu'ici était associée à un potentiel nul : il n'était pas possible d'y construire. Cette opération revient à ouvrir des possibilités d'urbanisation dans les parties non construites de la ville et de ses périphéries, actuellement occupées par des champs, des vergers, etc. La Carte 3.3.05b montre la nouvelle localisation

des 1459 cellules après cette modifications. Leur répartition continue d'être relativement centrale : les espaces centraux assimilés à des friches industrielles et militaires sont effectivement comblés par l'urbanisation à venir. Quand celle-ci est périphérique, elle jouxte très directement les anciens espaces bâtis, en venant prioritairement combler les espaces laissés vides par l'ancienne structure urbaine, ou en s'installant entre les digitations. **Par rapport aux scénarios élaborés dans le chapitre précédent, et qui simulaient une continuation des tendances de l'étalement urbain, ce nouveau scénario prend un contre-pied, et propose effectivement d'accorder une nouvelle centralité au centre, qui apparaît plus attractif que la première ou la deuxième couronne.**



Dans les couronnes périphériques, la tendance est également au renouvellement urbain : le bâti dense vient combler les interstices jusqu'ici inoccupés des villages de la deuxième couronne. Comparée à une situation d'étalement, on assiste bien ici à une densification de la ville, qui devient plus compacte, et continue son expansion sans pour autant s'étaler davantage dans les périphéries et les campagnes environnantes.

1.2.3. Modèles d'automates cellulaires : privilégier la mixité

A ce stade de la modélisation, l'image de la forme urbaine simulée est déjà relativement claire, et peut être largement commentée. Un scénario orienté vers le renouvellement urbain

ne montre pas la même ville qu'une continuation de tendance. Toutefois, à ce stade, les catégories d'occupation du sol des cellules qui sont censées évoluer ne sont pas encore connues : la dynamique n'est pas encore différenciée ; toutes les cellules sont noires et classées dans la catégorie provisoire BLANK. La dernière étape de la modélisation, qui recourt aux automates cellulaires permet de faire cette différenciation. On s'occupe des deux catégories qui évolueront le plus massivement d'après le premier modèle – le bâti dense et les zones d'activités (respectivement +498 et +574 cellules ; Tableau 3.3.04). Pour ce faire, on postule que les agrégats se feront par ressemblance et donc que les constructions denses se rapprocheront des constructions denses et que les constructions peu denses se rapprocheront des constructions peu denses. Concrètement, pour simuler cette idée, on pose alors la première règle suivante, écrite dans le langage propre aux automates cellulaires de Cam.Deus⁵ :

```

BLANK -> DENS :
  NbCell(DENS) < 3948 and
  pvoisincar (DENS, 2) >= 30%
  or pvoisincar (INDI,2) >= 40%
  or pvoisincar (COLL,2) >= 40% ;

```

Cette première règle signifie que, dans la limite des 3948 cellules de bâti dense (DENS) prévues par le modèle de transition lors de la première étape (fonction *NbCell* ; ligne 2), la transition des cellules indifférenciées BLANK vers des cellules DENS peut se faire si (ligne 1) :

1. La proportion de voisins dans un rayon de 2 cellules de type DENS est supérieure ou égale à 30% (fonction *pvoisincar*, ligne 3) ;
2. La proportion de voisins dans un rayon de 2 cellules de type INDI (c'est-à-dire « maisons individuelles ») est supérieure ou égale à 30% (fonction *pvoisincar*, ligne 4) ;
3. La proportion de voisins dans un rayon de 2 cellules de type COLL (c'est-à-dire « bâti collectif ») est supérieure ou égale à 30% (fonction *pvoisincar*, ligne 5).

```

BLANK -> ACTI :
  NbCell(ACTI) < 2267 and
  nbvoisincar (ACTI, 2) >= 40% ;

```

⁵ De façon très simple, CamDeus utilise un certain nombre de fonctions faisant intervenir le voisinage pour exécuter les transitions d'une catégorie d'occupation du sol à une autre. Ces fonctions sont toutes structurées de la même manière, autour du terme *voisin*. En préfixe, on trouve alors soit *nb*, indiquant que l'on cherche un nombre de cellules, soit *p*, indiquant que l'on cherche une proportion de cellules. En suffixe, on trouve soit *cer*, indiquant que les recherches se feront dans un voisinage circulaire, soit *car*, pour un voisinage carré. Dans la parenthèse qui suit obligatoirement la cellule est indiquée la catégorie des cellules que l'on recherche (premier élément), et le rayon du voisinage (deuxième élément). Les quelques règles présentées ici suffisent à se familiariser avec les bases de ce langage.

Cette deuxième règle signifie que, dans la limite des 2267 cellules ACTI (c'est-à-dire « zones d'activités ») prévues par le modèle de transition lors de la première étape (fonction *NbCell* ; ligne 2), la transition des cellules indifférenciées BLANK vers des cellules ACTI peut se faire si (ligne 1) : la proportion de voisins de type ACTI dans un rayon de 2 cellules est supérieure ou égale à 40%.

DENS -> COLL :
NbCell(COLL) < 311 and
pvoisincer (DENS, 1) >=50%
and nbvoisincar (COLL, 2) >= 1;

Cette troisième règle signifie que, dans la limite des 311 cellules COLL (c'est-à-dire « bâti collectif ») prévues par le modèle de transition lors de la première étape (fonction *NbCell* ; ligne 2), la transition des cellules indifférenciées BLANK vers des cellules COLL peut se faire si (ligne 1) : 1. La proportion de voisins de type DENS dans un rayon circulaire de 1 est au moins de 50% (fonction *pvoisincer* ; ligne 3) et 2. Le nombre de voisins de type COLL dans un rayon carré de 2 est au moins de 1 (fonction *nbvoisincar* ; ligne 4).

INDI -> EQUI :
NbCell(EQUI) < 761 and
pvoisincar (INDI, 1) =100% ;

Enfin, cette quatrième règle signifie que, dans la limite des 761 cellules EQUI (c'est-à-dire « équipements ») prévues par le modèle de transition lors de la première étape (fonction *NbCell* ; ligne 2), la transition des cellules de maisons individuelles INDI vers des cellules EQUI peut se faire si (ligne 1) : 1. La proportion de voisins de type INDI dans un rayon circulaire de 1 est de 100% (fonction *pvoisincer* ; ligne 3).

Avec quelques trois règles, il est possible d'exécuter l'ensemble de la troisième étape, selon les grands principes donnés par le scénario du renouvellement urbain. L'idée est la suivante : le bâti résidentiel se positionne à proximité du bâti résidentiel (règle 1), et les zones d'activités à proximité des anciennes zones d'activités (règle 2). Mais, à partir du moment où ces deux catégories d'occupation du sol sont positionnées, elles vont continuer à se différencier : d'une part, le bâti résidentiel va se densifier puisque certaines cellules passeront de la catégorie « bâti dense » à la catégorie « bâti collectif » ; d'autre part, le bâti de

« maisons individuelles » va s’accompagner plus spécifiquement d’équipements, de manière à ce que l’ensemble témoigne d’une meilleure mixité. Cette étape de différenciation peut alors encore s’appuyer plus finement sur le scénario. On a vu, en effet, que de manière théorique, l’idée de renouvellement suggérait une certaine mixité. Cette mixité, que l’on entend généralement comme une mixité sociale, peut dans un premier correspondre à une mixité des types d’occupation rencontrés au sein de la ville. La prise en compte de la coalescence précède alors la prise en compte de la cohérence urbaine. Ici, l’idée consiste alors à éviter la mono-fonctionnalité produite par l’étalement urbain, c’est-à-dire à réduire l’émergence de « plaques » d’occupations bâties identiques, dont les lotissements pavillonnaires sont un archétype. Pour ce faire, on propose de repérer systématiquement des types de concentration identiques et de les réaménager en y implantant soit des équipements (par exemple des stades), soit des structures d’encadrement (établissements socioculturels, administrations, etc.), soit des activités (l’artisanat et petits commerces). Concrètement, on pose des règles de transition, qui vient compléter les précédentes :

DENS -> EQUI :
 NbCell(EQUI) < 761
 and pvoisincer (DENS, 2) =100% ;

puis, on en pose une seconde :

DENS -> ENCA :
 NbCell(ENCA) < 389
 and pvoisincer (DENS, 2) =100% ;

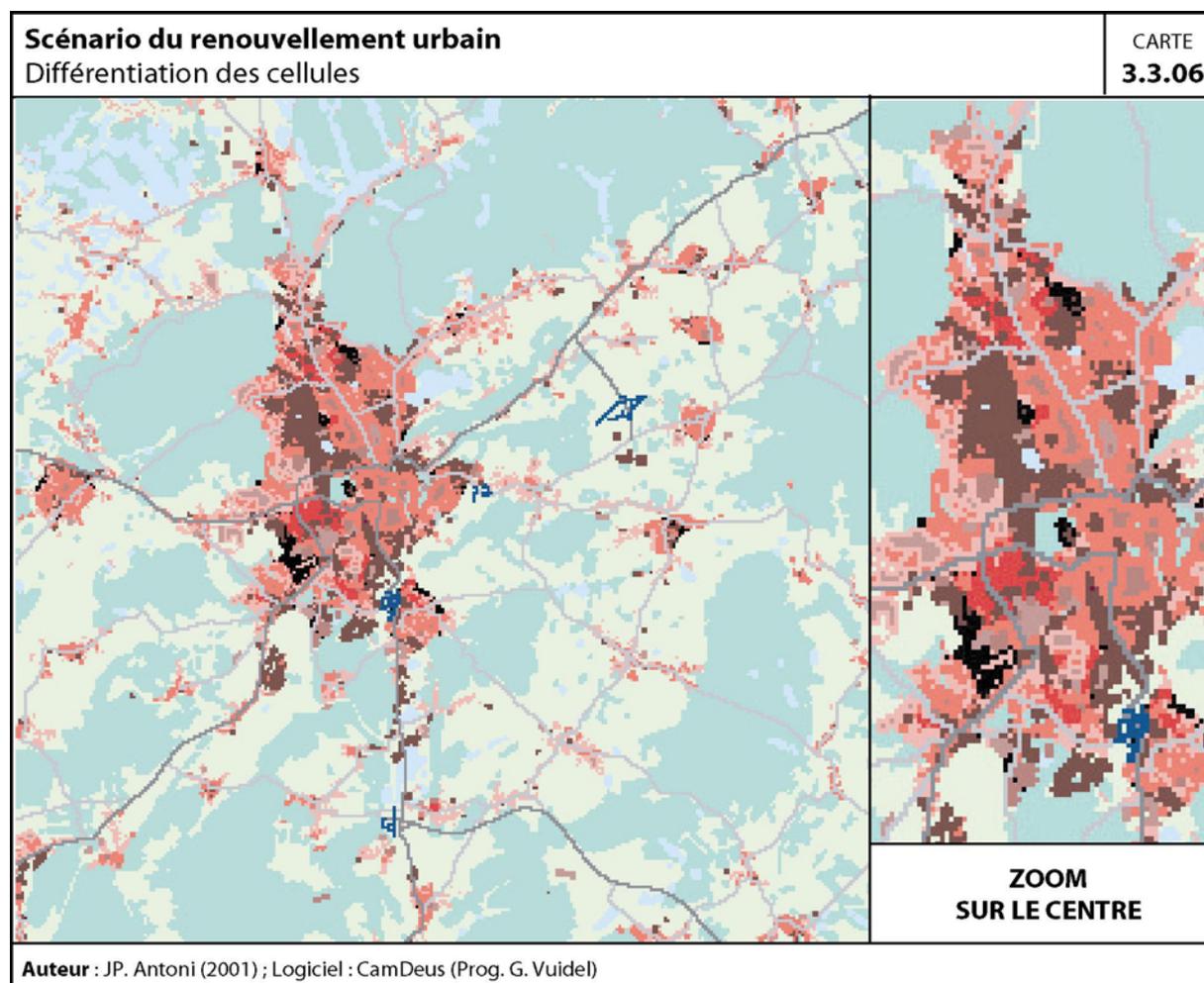
et, enfin, une dernière :

ACTI -> EQUI :
 NbCell(EQUI) < 3948 and pvoisincer (DENS, 2) =100% ;

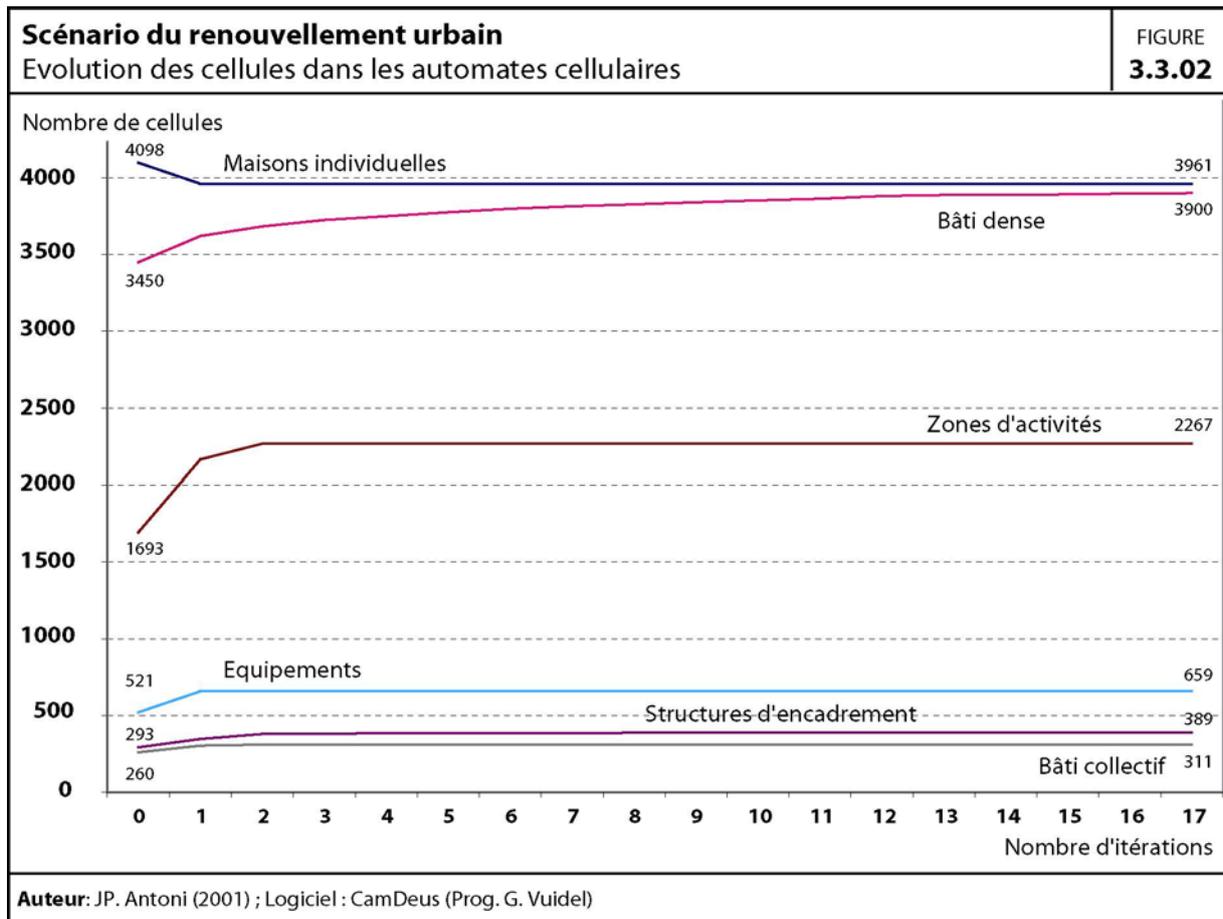
Ces nouvelles règles signifient que le bâti dense ne peut se concentrer à outrance sans s’accompagner d’équipements (règle 4) ou de structures d’encadrement (règle 5). Elles n’interviennent que si la monofonctionnalité d’une zone est détectée , c’est-à-dire si dans un cercle de diamètre de 250 mètres, toutes les cellules sont de la même catégories d’occupation du sol. Enfin, une dernière règle signale que les zones d’activités ne peuvent pas s’agglomérer à l’infini sans qu’aucune opération de mixité n’y soit menée : il est nécessaire qu’elles accueillent un certain nombre d’équipements. Dix-sept itérations de ces règles⁶, , mènent à une situation de blocage, dans laquelle la majorité des cellules est affectée à une

⁶ En mode synchrone, c’est à dire que les cellules se voient évoluer en même temps qu’elles évoluent. Elles n’évoluent donc pas toutes en même temps.

catégorie d'occupation du sol, mais une petite minorité de cellule reste dans la catégorie BLANK (Carte 3.3.06).



Ces cellules noires sont celles qui ne rentrent dans aucun des cas de figure présentés par les règles, même après plusieurs itérations. Mais, la différenciation de la majorité des cellules est effectuée. Elle se fait en correspondance avec les résultats du modèle de transitions, obtenus à la première étape. La Figure 3.3.02 montre en effet le nombre de cellules dans chaque catégorie d'occupation du sol au départ de la troisième étape (soit les chiffres de l'état de 1995 auquel on retranche les cellules de type BLANK) et à l'arrivée de cette troisième étape (soit les chiffres prévus par le vecteur d'occupation du sol correspondant à l'état de 2015 dans le cadre du scénario). Entre le départ et l'arrivée, les évolutions se font lors des 17 itérations des règles des automates cellulaires. La Figure 3.3.02 peut alors être comparée au Tableau 3.3.04 : on voit que les transitions correspondent et que les modèles apparaissent complémentaires, dans la mesure où les résultats des de l'un permettent de contraindre les autres.



2. L'obsolescence de l'outil urbain

Par l'intermédiaire d'un scénario, la modélisation montre ainsi la forme que la ville de Belfort pourrait prendre à l'horizon 2015 si les idées et les principes du renouvellement urbain, et particulièrement la reconquête des friches proches du centre ville, se réalise dans le futur. Il apparaît donc clairement que les simulations obtenues en résultat ne sont que la conséquence des paramètres liés au scénario, et qu'il est donc possible, en changeant de scénario, d'obtenir une image de la ville à partir de n'importe quelle idée concernant le développement urbain. C'est justement l'idée du dernier scénario proposé ici : tester une simulation à partir de principes largement extrapolés, de manière à voir dans quelle mesure l'urbanisation, dans sa forme actuelle étalée, peut résister à des principes sociaux et urbains qui vont à l'encontre de la ville en tant qu'outil proximal d'organisation de l'espace ; on propose alors de parler de l'obsolescence de l'outil urbain.

2.1. Des réseaux qui annihilent la proximité et l'espace

Pour ce faire, on insistera d'abord sur les contraintes que représentent aujourd'hui les villes pour leurs habitants, puis sur les réseaux de transport et de communication qui permettront peut-être demain de s'en affranchir. Certaines peuvent cependant être trouvées dans la littérature, notamment celles qui envisagent le futur de la ville, comme : Ragon, 1975 ; Cancellieri, 1992 ; Driant, 1992 ; Lelievre *et al.*, 1992 ; Jean, 1994 ; Prél, 1994 ; Beaucire, 1996 ; Ascher *et al.*, 1998 ; Emelianoff, 1998 ; Godard, 2001 ; etc. Elles contribuent simplement à montrer que la modélisation, outre la continuation de tendances observées et mesurées dans le passé, permet également de tester des idées plus originales ou nouvelles, et montre une possibilité de développement urbain qui, confrontée à d'autres, permet de mieux imaginer la manière dont la ville fonctionne et ses futurs possibles.

2.1.1. La ville : une série de contraintes

Dans le contexte actuel de l'étalement, la ville peut peut-être en effet aussi se résumer par une série de contraintes : le bruit, la pollution, la promiscuité (plus haut la notion de *crowding* a été évoquée) produite par la densité (cf. Chapitre 1.3), sont effectivement autant de contraintes qui font partie de la ville, et qui dans certains cas, apparaissent comme les principaux mots-clés permettant de la définir. G. Duby, à l'issue de sa rédaction de l'Histoire de la France urbaine (4 volumes), a d'ailleurs fait remarquer à ce propos que « la ville se décompose, et c'est parce que ces attraits séculaires sont l'un après l'autre mis en question, parce que le sentiment s'avive qu'elle est une prison délétère, où l'on étouffe, dont il faudrait s'évader, et que l'on fuit en effet à chaque occasion. Les vraies richesses ne sont-elles pas ailleurs ? » (cité dans : Viard, 1997). Et c'est bien cette image de la ville qui asphyxie et qui tue que de nombreux français retiennent aujourd'hui avant de choisir de migrer vers la périphérie, pour retrouver un contact avec la nature. Pourtant, S. Barles (1999) a montré que comparée à la ville de la Révolution Industrielle (qui quant à elle était réellement délétère), celle dans laquelle nous vivons, et malgré les problèmes qu'elle engendre, apparaît plutôt comme un havre de paix, tant les principaux problèmes d'hygiène, de salubrité et de santé publique y ont été réglés. Rien de nouveau sauf que jusqu'à présent, la recherche de proximité obligeait à vivre en ville : si la ville est vue comme une machine à interagir, la proximité rend l'interaction possible, et avec elle autant d'économies, de temps, d'énergie, d'argent, etc. (cf. Chapitre 1.2). Aujourd'hui, la généralisation de la voiture individuelle permet de s'affranchir de cette contrainte.

L'automobile individuelle, mais surtout la mobilité importante et rapide qui en découle, permet en effet de faire d'une pierre deux coups. L'utilisation massive de la voiture repousse la contradiction entre le proximal et le distal (cf. Chapitre 1.2) en permettant à tout un chacun de choisir son niveau d'éloignement par rapport à une ville qui continuera finalement d'être

proche en termes de distances-temps : on est plus proche du centre quand on en est éloigné de 10 km et que l'on se déplace en voiture, que quand on habite à quelques centaines de mètres et que l'on se déplace à pied. D'autre part, l'automobile permet de choisir son niveau de densité, en permettant d'habiter un espace peu dense tout en bénéficiant chaque jour (par l'intermédiaire de déplacements quotidiens) de la proximité découlant des densités fortes propres aux centres des villes. Compte tenu de cela, il s'agit d'essayer d'**extrapoler cette prégnance de l'automobile et ses conséquences sur l'organisation spatiale des villes, notamment les recompositions centre-périphéries qu'elle permet. Sur le plan théorique, on peut alors rapprocher cette extrapolation de l'idée de nomadisme et penser que les villes peuvent demain prendre une forme nomade.** Sédentaire par définition, elles seraient alors sujettes à une sorte de néo-nomadisme, c'est-à-dire de croissance exponentielle des déplacements constants au sein de son aire d'influence, de l'aire urbaine, elle même en voie d'expansion constante.

2.1.2. Les réseaux de transport : vers les villes nomades

Les enseignements de la périurbanisation montrent que l'on peut aujourd'hui reconsidérer les réseaux de transport comme des moteurs réels pour l'urbanisation à venir. Or, si l'on a l'habitude de mettre l'accent sur les voitures individuelles, rien ne dit qu'elles continueront d'afficher la même prégnance dans le futur. Cette idée n'a rien à voir avec une chute soudaine des mobilités : elle postule au contraire que les mobilités et les déplacements quotidiens continueront d'augmenter, mais que des moyens de transports alternatifs à la voiture réduiront sa part dans l'avenir. En effet, si l'automobile continue d'être le moyen de locomotion privilégié des « navetteurs », elle est de plus en plus concurrencée par le rail, notamment sur les Migrations Domicile-Travail sur les longues distances. Plusieurs mesures sont à l'origine de cette nouvelles donne. D'abord, c'est la politique volontariste des collectivités territoriales, notamment des Conseil Régionaux, consistant à favoriser l'alternative à l'automobile par la mise en place de tarifs préférentiels (les abonnements de travail, prévus spécialement pour les navetteurs, sont des solutions financièrement bien plus avantageuses que l'automobile) et de conditions de transport attractif en train (nouvelles rames et fréquences de départ augmentées). Les Trains Express Régionaux (TER) résultent directement de cette volonté. La vitesse réelle que permettent ces moyens de transports joue également un rôle important : comme leur nom l'indique, les TER 200 se déplacent à 200 km/h (alors qu'un train de grande ligne classique de type Corail n'atteint que 180 km/h et que sa vitesse de croisière se situe autour des 160 km/h). Ils bénéficient de surcroît de l'avantage du site propre, qui leur offre une voie réservés leur permettant de maintenir cette vitesse indépendamment de la densité du trafic. Pour prendre un exemple, en TER, Strasbourg se situe aujourd'hui à 19 minute de Sélestat alors que les deux villes sont éloignées d'environ 40 km, ce qui correspond à un temps de trajet inférieur à celui que met un navetteur pour relier la très proche banlieue du centre en automobile à une heure de

pointe. On a vu d'ailleurs dans un précédent scénario la confiance que certains pouvaient placer dans ce mode de transport (cf. Chapitre 3.2). Ainsi, si l'on ne peut parier sur la continuation d'une utilisation massive de l'automobile pour les déplacements quotidiens domicile-travail, d'autres modes de déplacement sont actuellement en cours de développement ou d'amélioration, qui font penser que la demande en mobilité sera en correspondance avec l'offre, et donc en augmentation dans les années à venir. La mise en place de tram-trains dans certaines grandes agglomérations conforte encore cette idée en offrant un mode de transport inédit, qui vient compléter la gamme des possibilités de déplacement non (ou peu) polluants, et qui vient combler le vide laissé par le tram (focalisé sur les déplacements urbains ou intra-urbains) et le train (dont l'envergure atteint une dimension régionale au minimum). Elle contribue à la généralisation des réseaux de transports, ouverts sur de nouveaux territoires périurbains (cf. l'exemple de Mulhouse ; AURM, 2001).

La généralisation de ces déplacements de plus en plus rapides et de plus en plus fréquents contribue à augmenter les possibilités d'interaction entre une ville et les endroits qui l'utilisent et qui fonctionnent avec. En lisant l'étude de C. Marchetti (1991), on peut penser que c'est la demi-heure de déplacement avec le moyen transport le plus rapide qui donnera la limite de l'influence d'une ville, à l'intérieur de laquelle les possibilités d'interaction décroissent en même temps que la distance augmente, mais restent possibles. Compte tenu de cela, l'organisation des espaces (urbain et ruraux, fonctionnant dans le même système de déplacement) peuvent s'organiser en fonction des nouvelles possibilités de mobilité. L'un des scénarios pour réfléchir à ce nouvel arrangement des lieux consiste alors à penser qu'il engendrera une hyper-spécialisation de l'espace, dans des activités très particulières. Celle-ci prendrait alors le relais extrapolé de l'actuel étalement mono-fonctionnel observé dans les villes d'aujourd'hui. En fait, **les possibilités de mobilité pourraient devenir si importantes que la proximité de faible distance serait remplacée par une proximité de longue distance, appuyée par des distances-temps supportables permises par les réseaux.** Dans ce contexte, pourquoi Bob le bricoleur perdrait-il dix minutes à marcher jusqu'à la quincaillerie de son quartier pour acheter ces clous, alors qu'avec le réseau de tramway, connecté à l'ensemble des réseaux ferrés, il peut rejoindre le centre commercial périphérique spécialisé dans la vente de clous en moins de dix minutes (cf. Chapitre 2.3). **La généralisation d'un tel comportement pourrait alors placer la population dans une situation de néo-nomadisme, c'est-à-dire de nécessité de mouvement constant, pour relier des lieux spécialisés, voire des villes disposant chacune de leurs particularités propres et intéressant ainsi tout un chacun pour les complémentarités spécifiques qu'elle génèrent.** L'Agence d'Urbanisme de l'Agglomération de Tours (AUAT), en collaboration avec le laboratoire ICOTEM de l'Université de Poitiers, étudie d'ailleurs déjà les prémisses de ce type de comportement de déplacement, en tentant de recenser et de mieux appréhender les cas pressentis de « sur-mobilité », cette nouvelle contrainte urbaine issue d'une nécessité constante de déplacement (AUAT, 2001).

2.1.3. Les réseaux de communication : les nouveaux sédentaires

Néanmoins, si les réseaux de transport semblent, à terme, permettre de nouvelles possibilités de mobilités généralisées, il convient de les mettre en regard, à l'aube du 21^{ème} siècle, avec une autre catégorie de réseaux, eux aussi de plus en plus importants, mais bien plus jeunes dans l'histoire des villes : les réseaux de communication. Par réseau de communication, on peut évidemment évoquer le téléphone, mais considère surtout d'internet. Le premier est en effet largement généralisé dans l'espace français, et l'ensemble des possibilités qu'il offre sont aujourd'hui à peu près toutes consommables. Les innovations et les améliorations ne constituent que des agréments complémentaires qui ne modifient pas la technique et les possibilités de communication en tant que telles. Le deuxième par contre – Internet – a déjà contribué à modifier considérablement la façon de vivre et de travailler des français, et il est fort possible que ses développements futurs (aujourd'hui prometteurs) permettront demain de décupler les possibilités offertes par les connexions aux réseaux d'information virtuels.

La fonction d'Internet est pourtant la même que celle du téléphone : elle consiste à rendre virtuellement non-distantes des choses ou des personnes qui sont distantes dans la réalité. C'est donc bien sur les rapports de proximité que se situent les modifications produites par la généralisation d'Internet, mais celui-ci ne peut se faire que par l'intermédiaire d'un monde virtuel, qui apparaît comme le reflet numérique du monde réel. Au téléphone déjà, les voix des correspondants sont « virtualisées » et transformées en impulsions électriques codées au départ (au niveau de l'émetteur) et décodées à l'arrivée (au niveau du récepteur). Cependant, là où le téléphone ne peut utiliser que le courant électrique, Internet s'appuie sur l'outil informatique et l'ensemble de ses dérivés qui s'associent à autant d'émetteurs (clavier, scanner, micro, camera, etc.) et de récepteurs (écran, haut-parleur, imprimante, etc.) mais qui ajoutent surtout de multiples possibilités de stockage (disques fixes et amovibles). De ce fait, les possibilités sont décuplées puisque les informations échangées ne sont plus seulement phonique, mais peuvent prendre la forme de tout ce qui est codable puis décodable par un ordinateur. Ainsi, il devient possible de faire circuler une multitude choses entre un lieu *i* et un lieu *j* sans que personne n'ait à se déplacer pour transporter ces choses. Le courrier électronique voyage seul, comme les informations web et les fichiers joints. Les photographies s'échangent par e-mail sans qu'il n'y ait besoin de se rencontrer. Grâce à la technologie numérique, elles sont d'ailleurs développées instantanément par l'utilisateur sans qu'il n'y ait de recours aux services d'un professionnel pour le tirage. Dans le même ordre d'idée, la majorité des grands musées du monde, comme les mairies des plus grandes villes, disposent et tiennent à jour leur site Internet, qui propose une visite guidée et virtuelle de leurs œuvres ou de leurs rues, sans qu'il soit nécessaire de se déplacer pour accéder à cette ballade culturelle.

Ainsi, si ces services sont d'ores et déjà disponibles aujourd'hui, peut-on imaginer ce qu'ils deviendront demain ? Deux inventions éclairent sur le futur possible d'Internet et apparaissent comme autant d'éléments permettant d'envisager l'avenir des territoires qui utiliseront cette technologie. Tout d'abord, c'est la signature d'authentification électronique, qui devrait permettre de signer officiellement n'importe quel document à partir de chez soi, et de l'envoyer ensuite à qui l'on veut. Cette signature n'est pas encore opérationnelle aujourd'hui, mais de nombreuses recherches tendent à la mettre au point rapidement. En conséquence à cette découverte et à sa généralisation, il deviendrait alors possible de contractualiser à distance⁷, et surtout de produire, voire d'autoproduire un certain nombre de papiers officiels. Pourquoi alors continuer de faire la queue devant les guichets de la préfecture si une demande peut être envoyée par mail aux fonctionnaires préfectoraux, et une réponse, officiellement signée, retournée par la même voie. D'évidence, et comme précédemment, ceci conduirait à une réduction possible des déplacements, notamment des déplacements pénibles. Mais, l'invention apparaît en réalité bien plus révolutionnaire, et peut amener à une refonte complète des espaces territoriaux et des hiérarchies urbaines. En effet, dans le contexte actuel, hérité de la révolution française, n'est pas préfecture qui veut. Le système administratif est fait de telle manière qu'il couvre la totalité du territoire national de manière à peu près égale. Or, la mise au point de signatures électroniques annihilera la distance séparant de ces points, et avec elle leur couverture territoriale, faisant fi de l'ancienne hiérarchie entre les places et les lieux, qui commande pourtant aujourd'hui (pour une part) à la répartition des activités et des services. La deuxième innovation qui va dans le même sens, et qui n'existe encore qu'à l'état de prototype, est l'imprimante 3D. Elle permet de reproduire à un endroit des formes réelles envoyées d'un autre endroit, par le biais d'une « virtualisation » numérique temporaire (le temps du trajet entre les deux lieux, à la vitesse de la lumière). Evidemment, cette machine, qui fonctionne aujourd'hui par moulage en trois dimensions d'une matière plastique, selon les informations contenues dans les fichiers informatiques qu'elle réceptionne et qu'elle décode, ne permet pas encore de reproduire tous les objets, notamment parce qu'elle ne reproduit pas leur matière, qu'elle assimile forcément à du plastique. Et, même si elle le pouvait, elle ne ferait que des copies, sans que l'original ne soit déplacé et ne parvienne à son destinataire... Pour faire cela, il faudra attendre la téléportation (d'objets ou de personnes), qui apparaît dès aujourd'hui comme l'étape ultime des recherches développées dans ce domaine.

Néanmoins, **de nombreuses ouvertures vont aujourd'hui déjà dans ce sens d'échanges de plus en plus importants de documents et d'objets en tous genres, sans qu'aucun déplacement ne soit nécessaire. Et, il semble bien que sur le plan de la géographie, elles puissent conduire à une néo-sédentarisation, qui ne consisterait pas seulement à disposer d'un habitat spatialement stable, mais également à rester spatialement stable dans son habitat spatialement stable.** Autrement dit, il n'est plus nécessaire de quitter son domicile, ni pour visiter un musée, ni pour dialoguer avec des amis, ni pour faire des virements

⁷ Ceci est en partie déjà possible, comme le stipule l'article 1316 du Code Civil.

d'argent sur des comptes en banque, etc. Dans ce contexte, la proximité, qui est immédiate de façon virtuelle n'a pas forcément de raison d'être de façon réelle. On retrouve alors le principe du télé-travail qui permet aujourd'hui déjà, au prix d'une communication permanente, de s'affranchir de la proximité réelle de son bureau et de ses collègues. En extrapolant les constats faits aujourd'hui, il est possible de pronostiquer des possibilités concernant notre façon d'être dans les mondes urbains de demain. Mais, ceci n'est qu'une étape, qui prend une dimension supérieure s'il devient possible de simuler concrètement ses implications spatiales.

2.2. Paramétrer la non-ville⁸

« C'est sans doute en acceptant que nous venons de vivre la fin des villes, comme hier celle des paysans, que nous saurons construire le territoire de la mégalopole citoyenne aux cotés des citoyennetés de proximité » (Viard, 1997). Cette citation indique que pour envisager la ville de demain, il est nécessaire d'envisager les proximités, sans forcément croire que celles-ci prendront encore la forme de villes. Car, *a fortiori*, il sera toujours question de proximité, que celle-ci soit réelle ou virtuelle... mais peut-être plus de villes (du moins dans la forme sous laquelle nous les connaissons aujourd'hui), si les interactions spatiales nécessaires aux travaux humains peuvent passer par d'autres vecteurs que ceux de la proximité issue de la densité. Un éventuel néo-nomadisme ou une éventuelle néo-sédentarisation permettraient d'envisager ce genre de choses. On peut alors envisager une nouvelle composition des territoires dépassant l'ancienne dichotomie urbain-rural. Comment percevoir cette nouvelle composition ? Les trois étapes de la modélisation peuvent chacune reprendre l'une ou l'autre des idées évoquées plus haut, pour construire une simulation qui en montre les grandes lignes.

2.2.1. Modèle de transition : privilégier les faibles densités

Située entre néo-nomadisme et néo-sédentarité, la ville imaginée par ce scénario peut se passer de densités. On a vu en effet qu'elle fondait ces rapports de proximité sur d'autres éléments : les réseaux de transport et de communication. La proximité réticulée remplace alors la densité réelle et la proximité physique des habitations les unes par rapport aux autres. Dans ce contexte, l'habitat n'est plus forcément un habitat dense tel qu'on le connaît

⁸ Cette non-ville que nous évoquons ici n'a rien à voir avec le non-lieu dont parle M. Agier (1999) et qui correspond en quelque sorte à une ville des exclus. Pour comprendre ce dont nous parlons, il convient de partir du principe (développé dans la première partie) que la ville est une machine interagir qui utilise la proximité pour provoquer un maximum d'interactions. La proximité y apparaît alors comme un élément de définition. Ici, les exemples présentés tendent à annihiler cette proximité urbaine, sans pour autant réduire les possibilités d'interaction. L'un fonctionnant sans l'autre, le premier diffère du second et ne peut être qualifié du même nom ; c'est donc une non-ville.

traditionnellement au centre des villes (immeubles de cinq à six étages), mais peut se contenter de maison individuelles. Ainsi, on peut poser que l'ensemble de la création de bâti résidentiel se fera sous la forme de maisons individuelles, mais en aucun cas de bâti dense ou de grands ensembles collectifs. Pour aller plus loin, on peut même imaginer que certaines zones centrales, actuellement denses, se dé-densifient, et que leur immeubles collectifs se transforment ici et là en maisons individuelles, agrémentées de terrains et de jardins plus vastes, en plein cœur de la ville. Assurément, ce scénario prend alors le contre-pied du précédent.

Pour mieux appréhender cette idée, on crée une matrice de transition entièrement dédiée au scénario, dans laquelle les transitions de n'importe quelle catégorie d'occupation vers le bâti dense ou le bâti collectif seront réduites à 0. Par contre, l'urbanisation résidentielle (c'est-à-dire la création de bâti résidentiel) sera entièrement contenue dans la transition qui permet le passage des champs (les « espaces libres ») ou de la forêt à la maison individuelle. Mais comment déterminer la valeur de cette transition ? Il est tout à fait possible de partir d'une matrice vierge, dans laquelle, au départ, toutes les probabilités des diagonales (c'est-à-dire les probabilités que les cellules de chaque catégorie restent dans cette catégorie) soient égales à 1. Pour modifier ces valeurs on peut se fonder sur les dernières valeurs observées dans le passé : on sait qu'entre 1975 et 1995 (Figure 3.3.01), la probabilité de transition des « espaces libres » vers la « maison individuelle » était d'environ à 0,02 (valeur identique à celle de la période 1955-1975) de 0,002 des « espaces libres » vers le « bâti dense » (contre 0,01 dans période précédente) et de 0,001 des « espaces libres » vers le « bâti collectif » (contre 0,002 dans la période précédente). Avant d'être reproduites, ces valeurs demandent néanmoins d'être converties et rapportées aux maisons individuelles. En effet, on ne met pas autant de logements et de foyers dans une maison individuelle que dans un immeuble collectif. Mais dans quel rapport ces capacités d'accueil diffèrent-elles ? Cette différence est extrêmement difficile à évaluer. Une étude de C. Weber *et al.* (1997) montre néanmoins, à partir de l'exemple de Strasbourg, qu'à superficie égale (un pixel issu d'une image satellite ou un carreau de carroyage) une maison individuelle contient environ trois fois moins de monde que le bâti dense, et sept fois plus que le bâti collectif⁹. La morphologie urbaine et la typomorphologie du bâti de Strasbourg et de Belfort étant plus ou moins comparables, il est possible d'utiliser des coefficients identiques pour cette simulation. Pour calculer la valeur de l'unique transition des champs vers la maison individuelle, qui représente la création de bâti résidentiel, on pose donc l'équation suivante :

⁹ La relation population / habitat est obtenue par une régression selon un modèle simple mettant en relation estimation de la population et type de bâti résidentiel : $Population_{c_i} = coef.bâti \cdot S_{c_i}$ (avec c_i = cellule i et S = surface en nombre de pixel). Ainsi, « population de l'unité spatiale cible = coefficient de bâti dense x nombre de pixels de bâti dense de l'unité + coefficient de bâti collectif x nombre de pixels de bâti collectif de l'unité + coefficient de bâti pavillonnaire x nombre de pixels de bâti pavillonnaire de l'unité ; soit [coef. $B_1 \times S_1 c_i$] + [coef. $B_1 \times S_1 c_i$] + [coef. $B_1 \times S_1 c_i$]. cf. Weber *et al.* (1997)

$$\begin{aligned}
 q_{1,4(2,3)} &= 1 \cdot ((q_{1,4(0,1)} + q_{1,4(1,2)})/2) + 3 \cdot ((q_{1,5(0,1)} + q_{1,5(1,2)})/2) + 7 \cdot ((q_{1,6(0,1)} + q_{1,6(1,2)})/2) \\
 &= 1 \cdot 0,02 + 3 \cdot 0,006 + 7 \cdot 0,0015 \\
 &= 0,0485
 \end{aligned}$$

Cette équation (dont la formalisation fait référence au Chapitre 2.2 et aux codes attribués aux catégories d'occupation du sol dans le Chapitre 2.1) signifie simplement que la valeur de transition de la catégorie 1 (champs) vers la catégorie 4 (maisons individuelle) est calculée à partir des moyennes des transitions des catégories 1 vers 4 et 5 et 6 sur les deux périodes, pondérées par les coefficients décrits plus haut.

Parallèlement à cela, on peut encore imaginer, comme cela est prévu dans l'énoncé du scénario, des opérations de dédensification qui pourraient apparaître dans des proportions comparables aux opérations de densification observées sur les deux périodes. Les valeurs de transition entre 1955 et 1975 sont de 0,02 de la maison individuelles vers le bâti dense et 0,003 vers le bâti collectif ; entre 1975 et 1995, elles sont respectivement de 0,013 et de 0,0014. Si l'on veut tenir compte des deux périodes en faisant la moyenne, on obtient la valeur suivante pour la transition de la « maison individuelle » vers le « bâti dense » :

$$q_{5,4(2,3)} = (q_{4,5(0,1)} + q_{4,5(1,2)})/2 = 0,016$$

et la valeur suivante vers le « bâti collectif » :

$$q_{6,4(2,3)} = (q_{4,6(0,1)} + q_{4,6(1,2)})/2 = 0,002$$

Si l'on postule que les équipements et les structures d'encadrement, qui seront de plus en plus remplacés par des services réticulés numériques, suffisent dans l'état où ils sont aujourd'hui, on peut également bloquer leur évolution en leur affectant des probabilités de transitions nulles. Ceci nous permet de construire la matrice de transition suivante, qui correspond au scénario testé : Tableau 3.3.05.

Scénario de la non-ville Matrice de transition														TABLEAU 3.3.05
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	S
1	95,15	0	0	4,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
2	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
3	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
4	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
5	0	0	0	1,6	98,4	0	0	0	0	0	0	0	0	100
6	0	0	0	0,2	0	99,8	0	0	0	0	0	0	0	100
7	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
8	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	100
9	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
S	95,15	100	100	106,65	98,4	99,8	100	100	100	100	100	100	100	

La matrice de base est une matrice vierge dans laquelle les valeurs de la diagonale sont à 100 ;
Les probabilités modifiées sont représentées en gras ; les valeurs de la diagonale sont en grisé

Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1 = espaces libres ; 2 = bois et forêts ; 3 = surfaces en eaux ;
4 = maisons individuelles ; 5 = bâti dense ; 6 = bâti collectif ; 7 = équipements ; 8 = structures d'encadrement ;
9 = zones d'activités ; 10 = routes départementales ; 11 = routes nationales ; 12 ; échangeurs autoroutiers ; 13 = gares

Auteur : JP. Antoni (2001)

Scénario de la non-ville Le vecteur d'occupation du sol simulé														TABELAU 3.3.06
Valeurs observées														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1955	46.87	38.44	2.29	2.59	2.86	0.13	0.33	0.17	1.06	4.04	1.21	0.00	0.01	
1975	42.57	39.08	4.18	3.07	3.28	0.24	0.34	0.24	1.31	4.40	1.25	0.05	0.01	
1995	36.88	41.54	4.09	4.56	3.83	0.29	0.60	0.34	1.94	4.43	1.33	0.16	0.00	
Valeurs simulées (2015)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
2015	35.09	41.54	4,09	6.41	3.77	0.29	0.6	0.34	1.94	4.43	1.33	0.16	0	

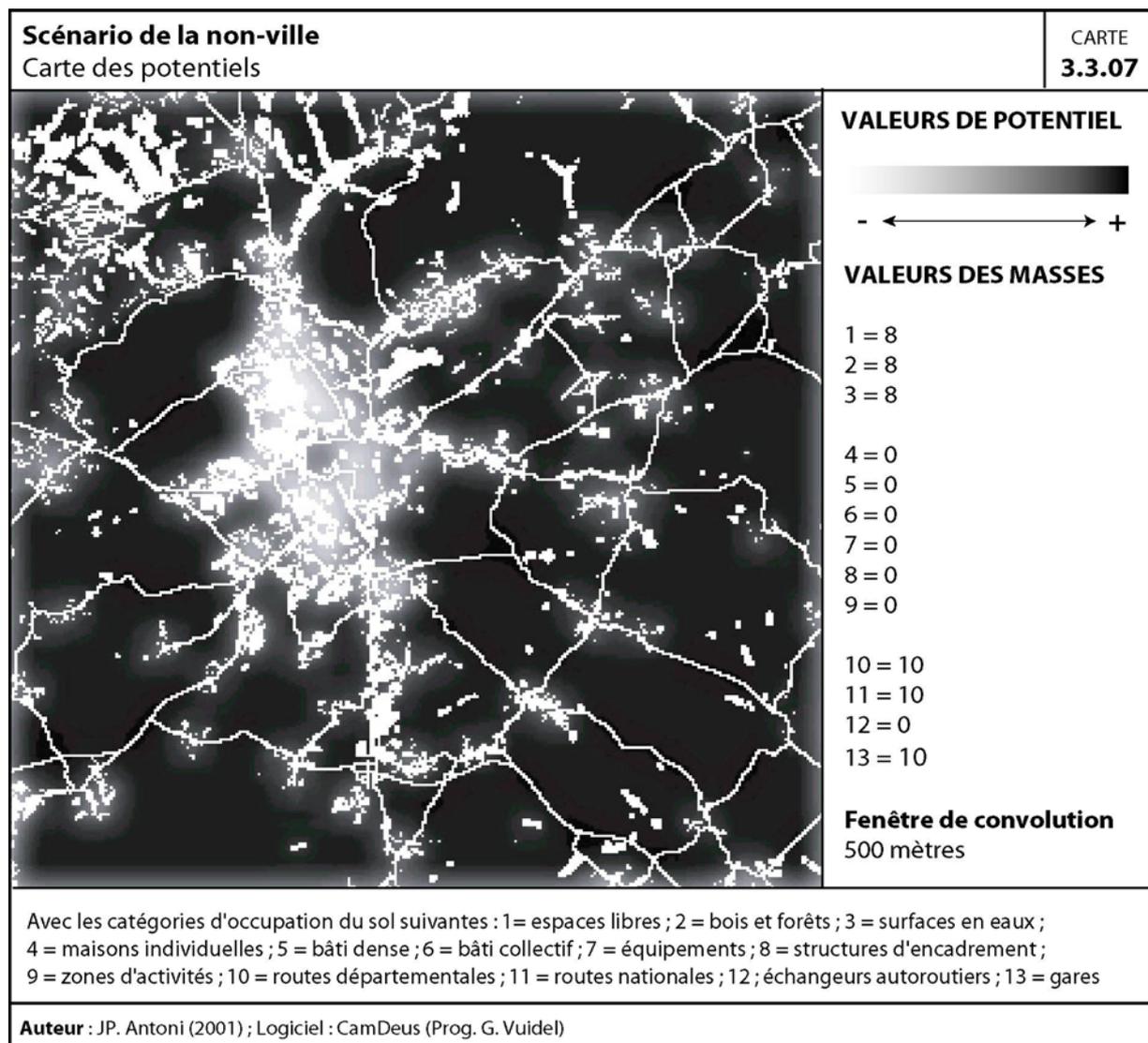
Avec les catégories d'occupation du sol suivantes : 1 = espaces libres ; 2 = bois et forêts ; 3 = surfaces en eaux ;
4 = maisons individuelles ; 5 = bâti dense ; 6 = bâti collectif ; 7 = équipements ; 8 = structures d'encadrement ;
9 = zones d'activités ; 10 = routes départementales ; 11 = routes nationales ; 12 ; échangeurs autoroutiers ; 13 = gares

Auteur : JP. Antoni (2001) ; Logiciel : CamDeus (Prog. G. Vuidel)

La multiplication du vecteur correspondant à l'état de 1995 par cette matrice permet alors de calculer le vecteur d'occupation du sol simulé pour la date de 2015. Le Tableau 3.3.06 montre ce vecteur en le comparant à ceux des autres états (1955, 1975 et 1995). Il prévoit effectivement, une augmentation non négligeable du nombre de maisons individuelles (elles augmentent presque autant en 1995 et 2015 que sur l'ensemble de la période d'étude 1955-1995 ; la catégorie passe de 4104 à 5769 cellules, soit une augmentation de 1665 cellules), au prix d'une diminution du bâti résidentiel dense (la catégorie passe de 3451 à 3395 cellules, soit une diminution de 56 cellules qui n'avait jamais été observée jusqu'à présent). Le bâti collectif quant à lui diminue également, mais le faible nombre de cellules dans cette catégorie ne permet pas de visualiser les changements : ceux-ci apparaissent trop infimes en termes de pourcentages pour être significatifs (la catégorie perd une seule cellule en tout).

2.2.2. Modèle de potentiel : privilégier le cadre rural

Au total, ce sont donc environ 1665 nouvelles cellules de maisons individuelles qu'il convient de localiser au sein de l'espace urbain (ce chiffre est calculé avec la même méthode que dans le scénario précédent). D'après les indications fournies dans le scénario, on sait également que ces cellules pourront prendre la place de celles actuellement codées en champs, en forêt, en bâti dense ou en bâti collectif. Ces quatre catégories d'occupation du sol correspondent donc à celles pour lesquelles il est nécessaire de calculer une valeur de potentiels puisque ce sont celles sur lesquelles l'urbanisation future pourra se développer. Pour calculer ces valeurs de potentiels, il est cependant nécessaire de déterminer des masses m correspondant à chaque catégorie pour prendre en compte leur valeur d'attractivité présumée. Ici encore, le scénario est riche en indications et permet de déterminer des coefficients.

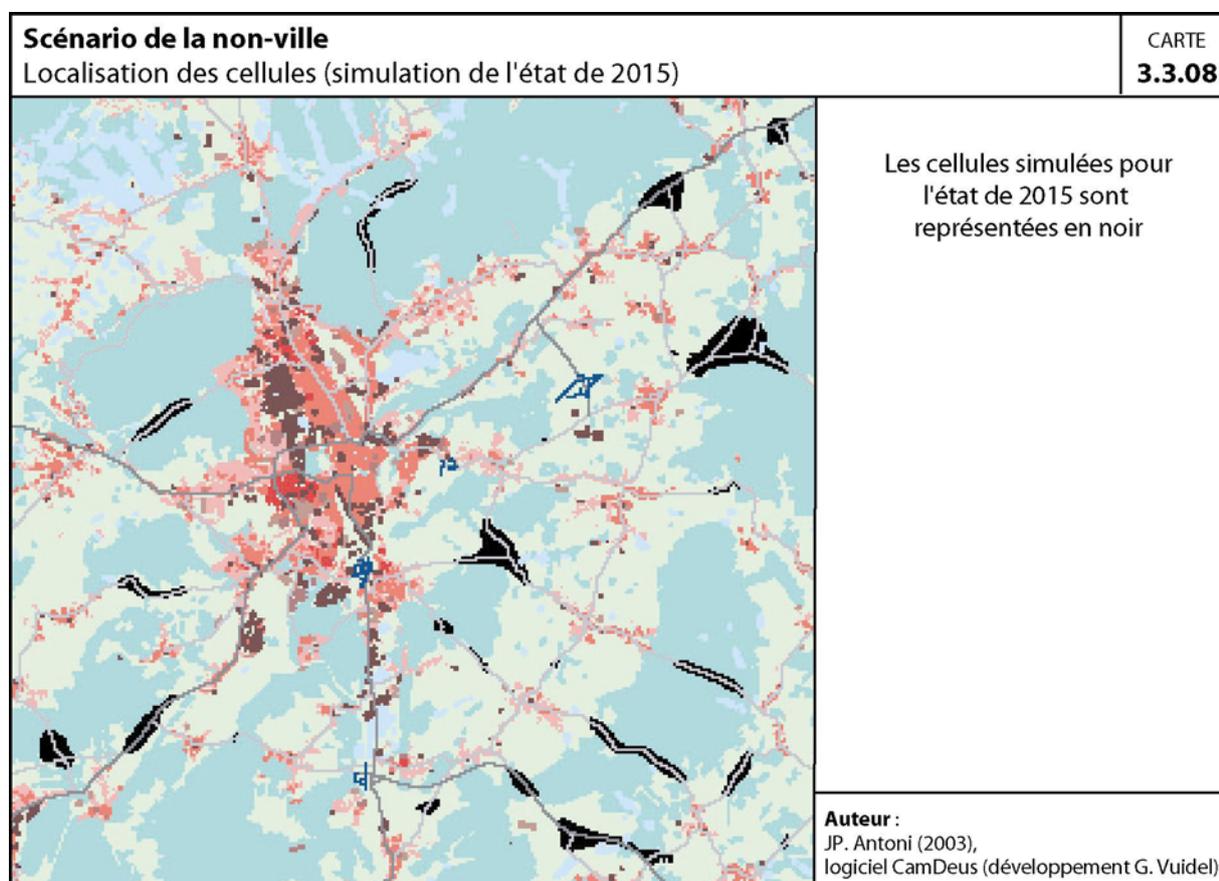


Compte tenu des idées énoncées plus haut (notamment le néo-nomadisme et la néo-sédentarisation), les zones bâties, qu'elles soient résidentielles, industrielles ou à caractère économique, ne sont plus forcément les zones les plus attractives. On a vu justement que quelle que soit la localisation d'un objet au sein de l'aire urbaine réticulée, il lui était très rapidement possible soit de rejoindre, soit de communiquer avec n'importe quel autre lieu. Ainsi, plutôt que de choisir un immeuble comme élément de paysage, ou bien le mur d'un site industriel, on préférera un paysage naturel, de champs, de forêts, de lacs ou d'étangs. On affecte alors une masse importante à chacune de ces trois catégories. Mais comme précédemment (exemple de Beispielstadt), il est nécessaire de tenir compte du nombre de cellules présentes au départ de manière à ne pas biaiser les résultats. Ici, les forêts et les champs sont bien plus représentés (en nombre de cellules). Il convient donc de minimiser leur masse et d'augmenter celle des surfaces en eau. On peut alors proposer une masse de 5 pour les champs et les forêts et une masse de 10 pour les surfaces en eaux.

Cependant, l'intérêt que l'on peut porter au paysage ne doit pas faire oublier qu'il est très fortement contraint par la réticulation, et que, si l'habitat peut se priver d'une proximité aux autres habitats, il ne peut se soustraire à la présence des réseaux de communication. Ainsi, les réseaux de routes doivent également correspondre à des masses m importantes. Les plus gros coefficients sont affectés aux routes départementales, puisqu'elles apportent généralement moins de nuisances que les routes nationales, en terme de bruit lié à l'intensité du trafic notamment. Posons alors un coefficient de masse $m = 10$ pour les routes départementales, et de 5 pour les routes nationales. De la même manière, il convient d'affecter un coefficient important aux gares et arrêts de chemin de fer (et même certainement un coefficient plus important que celui des routes, compte tenu de l'avenir prometteur que le scénario réserve à ce mode de déplacement). Néanmoins, cette idée est concrètement difficile à prendre en compte dans la modélisation, pour la raison qu'une seule gare existe aujourd'hui sur le terrain d'étude. Pour pallier ce problème, et pour créer d'autres gares, il aurait été possible de modifier la matrice de transition à l'étape précédente pour que celle-ci crée quelques arrêts supplémentaires. Mais, c'est une transition extrêmement complexe à mettre au point. En effet, une gare ne correspond généralement qu'à une seule cellule. Aussi, si elle devait apparaître en milieu rural, c'est-à-dire à la place d'un ancien champ, il faudrait paramétrer une transition des champs vers les gares qui ne produirait qu'une, deux ou trois cellules. Compte tenu du nombre très important de cellules de champs (« espaces libres »), la valeur de probabilité de cette transition serait tellement petite qu'elle n'aurait plus réellement la signification d'une probabilité de transition. On touche donc ici à l'une des limites des modèles. Elle peut néanmoins être palliée si des gares sont dessinées manuellement sur le terrain d'étude. Leur nombre et leur localisation peuvent alors correspondre à une réelle volonté, mise au point après réflexion et concertation auprès des services concernés par ce type de problème, notamment la SNCF, les services de la DDE et les maires des différentes communes impliquées. Dans le cas de Belfort, on sait par exemple qu'une nouvelle gare devrait voir le jour entre 2008 et 2010 sur la commune de Meroux-Moval, pour accueillir le TGV. Cette gare devrait également être connectée à celles de Belfort et de Montbéliard, s'inscrivant ainsi pleinement dans le réseau ferroviaire régional. Cette information étant connue, il est possible de la rajouter dans la base de données, et donc d'affecter deux valeurs de masse importantes (disons égales à 10) supplémentaires, la première à la gare de Belfort, la deuxième à celle de Meroux-Moval¹⁰.

¹⁰ En ce qui concerne la taille de la fenêtre de convolution, on se référera à l'exemple précédent (scénario du renouvellement urbain) pour reprendre des valeurs identiques, soit une fenêtre d'un rayon de 10 cellules.

La Carte 3.3.07 montre les valeurs de potentiel obtenues avec ces coefficients. Par rapport à la précédente carte des potentiels du scénario du « renouvellement urbain », elle apparaît presque comme l'inverse : les valeurs les plus fortes se situent dans les champs et dans les prés ; au fur et à mesure que l'on se rapproche d'une zone bâtie, les valeurs de potentiels diminuent. C'est au centre de la ville de Belfort, dans les parties denses et anciennes, que les valeurs sont les plus faibles. La Carte 3.3.08 montre ensuite le résultat de la simulation des 1 665 cellules de maisons individuelles. Ces résultats peuvent aisément être comparés à l'état de la ville en 1995 à partir duquel la simulation a été faite. On peut globalement en tirer trois conclusions. Premièrement, la configuration obtenue témoigne effectivement d'une non-ville, dans la mesure où aucune des cellules localisées ne prend un élément déjà bâti comme point d'ancrage : toutes les configurations nouvelles naissent *ex nihilo* au sein de l'espace rural. Deuxièmement, si ces configurations nouvelles sont issues d'un scénario d'extrapolation futuriste, les configurations spatiales qu'il génère le sont beaucoup moins. On a peu de mal en effet à reconnaître dans l'espace simulé des arrangements assez proches de ceux qu'on pu connaître la majorité des villages français. Ainsi, soit ces nouveaux villages s'agglomèrent à l'endroit de croisements routiers – on reconnaît alors le rôle du carrefour que l'on considère souvent comme l'un des principaux moteurs pour la genèse de l'habitat – soit ils prennent place le long des routes, et s'associent de ce fait à la catégorie des villages-rues, fréquents, parfaitement connus et caractéristiques d'un mode d'habitat particulier. Troisièmement, on

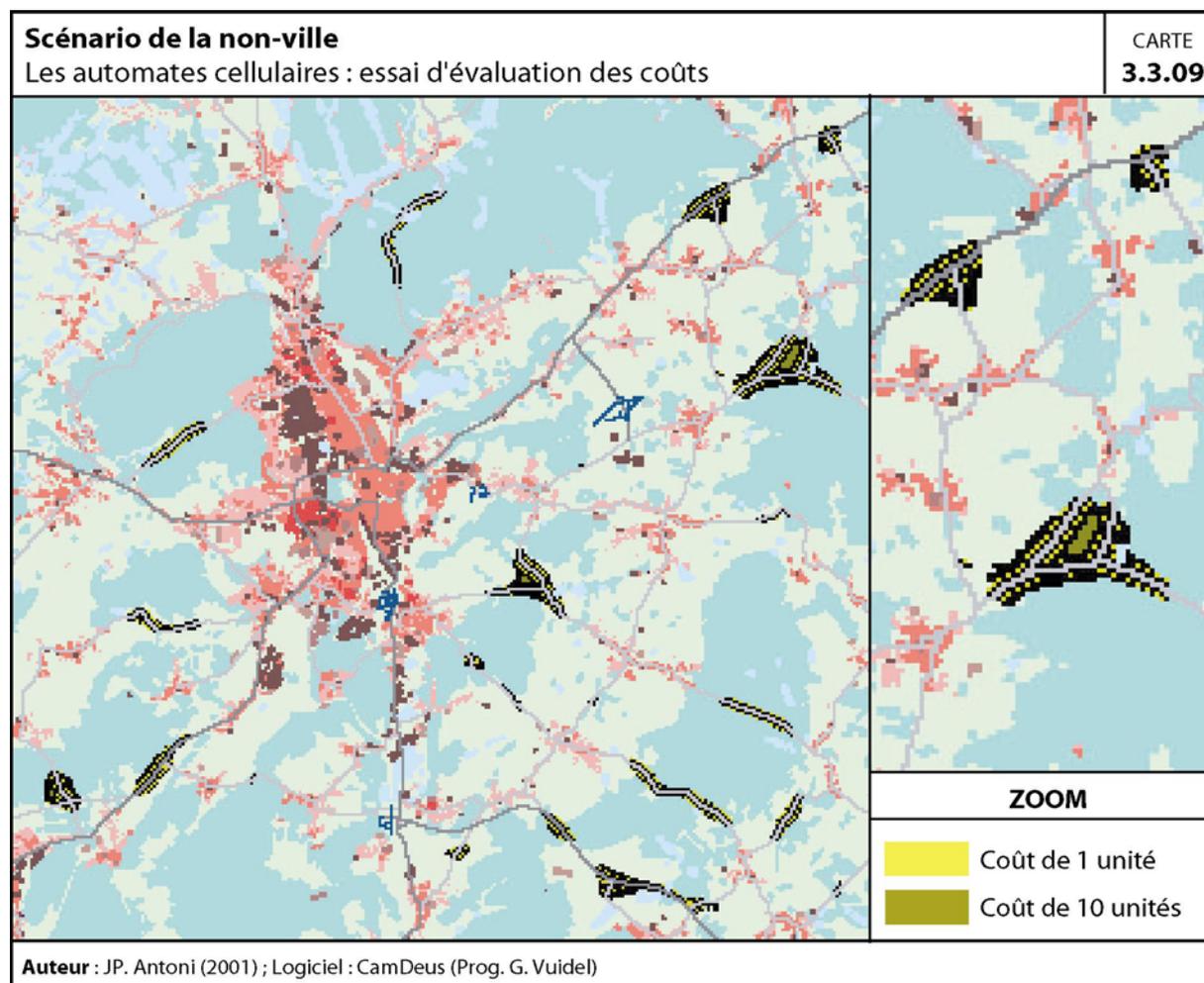


notera que ce scénario possède une inévitable incohérence interne. En effet, on a postulé que l'urbanisation à venir éviterait de se rapprocher d'autres types d'habitat pour ne chercher que la proximité au monde rural et naturel.

A l'issue du scénario, on constate pourtant que des espaces assez importants sont entièrement construits de maisons individuelles, plantées les unes à côté des autres... soit justement l'un des points que le scénario voulait éviter. Ce problème pose la question de la synchronie de la simulation. En effet, ici, tout se passe comme si le comportement des cellules était synchrone, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent pas se voir évoluer, parce qu'elles évoluent en même temps. Ainsi, au moment où une maison se localise à côté d'une cellule que l'on pense être une forêt, on ne sait pas que cette cellule de forêt a suivi le même raisonnement et qu'elle est déjà une maison. Pour pallier ce problème, il conviendrait de simuler le scénario en plusieurs étapes et de représenter l'évolution des cellules à chaque itération. On reproduira alors la possibilité de comportement synchrone propre aux automates cellulaires.

2.2.3. Modèle d'automates cellulaires : une évaluation automatique des coûts

Dans le présent exemple, la simulation effectuée à partir du scénario est assez formelle à propos de la différenciation des cellules : les 1665 cellules localisées à l'étape 2 appartiennent à la catégorie des maisons individuelles. Il n'est donc pas nécessaire de poursuivre la simulation dans sa troisième étape, et l'on peut stopper l'ensemble de la modélisation après la production des résultats du modèle de potentiel. La différenciation n'étant plus à faire, il est néanmoins possible d'utiliser les automates cellulaires pour construire d'autres informations, qui ont également leur intérêt en matière d'urbanisme et de prospective. A titre expérimental, on peut par exemple chercher à les utiliser pour évaluer le coût de l'urbanisation, si les 1 665 cellules de maisons individuelles prennent effectivement place à l'endroit où les situe la Carte 3.3.08. Pour ce faire, il est indispensable de connaître un certain nombre d'indications concernant le coût de l'urbanisation. On se référera alors aux éléments du Chapitre 1.2, qui expliquent que plus l'habitat est faiblement dense, plus le prix de revient d'une unité d'habitation est élevé. De surcroît, on devine que la dissémination de l'habitat futur loin de toute base habitée pose des problèmes conséquents de raccordement aux réseaux d'adduction d'eau et d'assainissement. Or, si des solutions d'autonomie apparaissent pour les seconds, le raccordement aux premiers est une condition *sine qua non* de la construction. Dans un tel contexte, il est intéressant de connaître, même avec une forte approximation, les zones dont la viabilisation coûtera le plus cher, de manière à ré-étudier éventuellement leur configuration à l'échelle locale, pour tenter de réduire ces coûts.



Pour ce faire, il est nécessaire de postuler que les opérations de viabilisation sont moins importantes dans des habitations qui jouxtent directement les réseaux routiers. Les différents réseaux peuvent en effet y être acheminés plus directement. Par contre, si aucune route n'est à proximité des habitations, il est nécessaire de se frayer un chemin à travers les champs, voire dans le cas de lotissements, de prévoir ces installations dès le départ à travers la masse bâtie des habitations individuelles. Ces quelques critères d'évaluation des coûts permettent de dégager une approximation des ressources financières à mobiliser pour le scénario. Posons ainsi que la viabilisation d'une zone complète de 9 cellules de maisons individuelles, réparties au sein d'un carré, coûte 10 unités de coûts. Par contre, une zone de plusieurs maisons individuelles prenant place en bande le long d'une route ne coûte qu'une unité de coût. On pose alors les règles suivantes : 1. Une maison individuelle entourée exclusivement par des voisins du même type se transforme en 10 unité de coût ; 2. Une maison individuelle entourée de trois cellules du même type au plus et jouxtant une route se transforme en 1 unité de coût. Concrètement, dans le langage des automates cellulaires, ces règles s'écrivent de la façon suivante :

BLANK -> COUT1 :
nbvoisincar (BLANK, 1) >=2
and (nbvoisincar (RNAT, 1) = 1 or nbvoisincar (RNAT, 1) = 1) ;

et :

BLANK-> Cout10 : PVOISINCAR (BLANK, 2) = 100%;

Les résultats de l'application de ces deux règles très simples peuvent être visualisés sur la Carte 3.3.09. Ici, l'information produite par les automates cellulaires n'est donc pas une information concernant l'occupation du sol, mais une information annexe qui se substitue à l'occupation du sol.. Ce calcul est un exemple des possibilités offertes par la modélisation, particulièrement par les automates cellulaires, pour aboutir à des résultats différents de la stricte simulation des changements urbains. Une multitude d'exemples du même type pourraient être développés.



A l'issue du dernier chapitre, deux nouveaux scénarios de développement urbains viennent compléter les simulations qui visaient jusqu'ici à visualiser les conséquences spatiales de l'étalement urbain. Leur objectif est différent : il ne suffit plus de continuer une tendance connue et identifiée par ailleurs, mais de simuler des options et des idées que l'on aimerait voir se réaliser (c'est le cas du renouvellement urbain) ou qui n'existent pas et qui n'existeront peut-être jamais (c'est le cas du scénario de la non-ville). Ainsi, logiquement, les constats et les conclusions que ces scénarios permettent de tirer, ne concernent plus l'étalement urbain en tant que tel : ils donnent une image de l'avenir de la ville indépendamment du fait que celle-ci s'étale ou ne s'étale pas. De ce fait, ils renseignent sur la dynamique de l'expansion spatiale urbaine de façon générale, et en particulier sur la dialectique entre l'éloignement et la proximité. On a vu en effet, par l'intermédiaire de la modélisation, que **c'est en intervenant sur l'attractivité présumée de certains éléments, en postulant préalablement que l'on pouvait choisir de s'en rapprocher ou *a contrario* de s'en éloigner, que la forme de la ville a été dessinée. Une modification des possibilités d'éloignements est alors également susceptible de modifier considérablement la ville, et de réaménager**

l'espace urbain selon de nouvelles logiques, parmi lesquelles l'attention peut être particulièrement portée sur les réseaux de transports et de communication. Parallèlement à ce premier constat thématique, il est également possible de tirer des conclusions sur la modélisation en elle-même. D'une part, en effet, si la modélisation en trois étapes se fonde sur la complémentarité de trois modèles, elle peut encore être complétée par d'autres modèles, qui répondent, ici et là, à des questions plus particulières. Par exemple, on a fait appel à une régression pour estimer la population dans chaque cellule, en fonction de la densité de bâti de cette cellule (Weber *et al.*, 1997). Ces modèles complémentaires pourraient aussi être intégrés comme une étape ou une sous-étape complémentaire de la logique générale. D'autre part, même si la modélisation doit au départ répondre à un but précis et particulier, il n'est pas impossible qu'elle permette également d'atteindre d'autres buts, non définis au départ, surtout s'ils sont d'une logique similaire. L'étape de différenciation a été utilisée, non pour différencier des cellules, mais pour évaluer le coût de l'urbanisation. La modélisation apparaît donc comme une solution qui fonctionne, mais qui pourrait être complétée et généralisée, temporairement ou de façon définitive, par d'autres modèles, pour répondre spécifiquement à d'autres buts spécifiques et particuliers.

Références bibliographiques :

- Agier M., 1999, *L'invention de la ville. Banlieue, township, invasions et favelas*, Ed. des archives contemporaines, 176 pages.
- Ascher F., Behar D, Etchegoyen A., Fraisse R., 1998, *Ville et développement. Le territoire en quête de sens*, L'harmattan, 95 pages.
- AUAT, 2001, Mobilité subie, déplacements choisis. Les cas de sur mobilité contrainte en région tourangelle, *Espaces, temps, modes de vie. Nouvelles cohérences urbaines*, 22^{ème} rencontres des agences d'urbanisme, Nantes, 12-14 décembre 2001, pp. 126-129.
- AURM, 2001, Le Tram-train de la région mulhousienne : nouvelles mobilités, nouveaux territoires périurbains, *Espaces, temps, modes de vie. Nouvelles cohérences urbaines*, 22^{ème} rencontres des agences d'urbanisme, Nantes, 12-14 décembre 2001, pp. 78-81.
- Barles S., 1999, *La ville délétère. Médecins et ingénieurs dans l'espace urbain au 18^{ème} et 19^{ème} siècles*, Ed. Champs Vallons, 384 pages.

- Beaucire F., 1996, *Contrainte écologique et développement urbain durable*. In : Genestier P., 1996, *Vers un nouvel urbanisme. Faire la ville, comment ? pour qui ?*, La documentation française, pp. 127-138.
- Cancellieri A., 1992, *L'habitat du futur. Défis et prospective pour le prochain quart de siècle*, La documentation française, 484 pages.
- Chalas Y., 1997, *Les figures de la ville émergente*. In : Dubois-Taine G., Chalas Y., 1997, *La ville émergente*, Ed. de l'Aube, pp. 239-270.
- Chaline C., 1999, *La régénération urbaine*, PUF, « Que sais-je ? », n° 3496.
- Driant J.C. (ss. Dir.), 1992, *Habitat et ville : l'avenir en jeu*, Ed. L'harmattan, 162 pages.
- Duhem B., 1993, *Morphologie urbaine et développement durable*. In : *Urbanisme*, Hors-Série, n° 3, octobre 1993, pp. 44-45.
- Emelianoff C., 1998, *La ville durable. Etat des lieux en Europe et prospective*, Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud, 363 pages.
- FNAU, 2001, *Réussir le renouvellement urbain. Quinze maillons clefs pour la chaîne de mise en œuvre des projets*, co-édité avec la Caisse de Dépôts et Consignations, 167 pages.
- Godard F., 2001, *La ville en mouvement*, Gallimard, Coll. Découverte, 128 pages.
- Jean G., 1994, *Voyages en utopies*, Gallimard, Coll. Découvertes, 176 pages.
- Lelièvre E., Levy-Vroelant C., 1992, *La ville en mouvement : habitat et habitants*, L'harmattan, 357 pages.
- Marchetti C., 1991, *Voyager dans le temps. Considérations pour une meilleure exploitation de la liaison fixe*, *Futuribles*, n° 156, juillet-août 1991, pp. 19-29.
- Merenne-Schoumaker B., 1981, *La localisation des industries en milieu urbain*, Conférence du 6 mai 1981, Université de Fribourg, Suisse, 15 pages.
- Merenne-Schoumaker, 1974, *Eléments entrant concrètement en compte pour le choix d'une localisation*, In : *Localisation des entreprises et développement régional*, 1^{er} congrès des économistes belges de langue française, Charleroi, 13-14 décembre 1974, *Rapports préparatoires*, pp. 1-22.
- Piron O., 1997, *Postface*. In : Dubois-Taine G., Chalas Y., 1997, *La ville émergente*, Ed. de l'Aube, pp. 271-278.

Préel B., 1994, *La ville à venir. Habitat, technologie, environnement*, Descartes et Cie, 268 pages.

Ragon M., 1975, 1995, *L'homme et les villes*, Albin Michel, 219 pages.

Viard J., 1997, Le triomphe de l'urbanité ou la ville perdue. In : Dubois-Tains G., Chalas Y. (ss. dir.), 1997, *La ville émergente*, pp. 232-237.

Weber C., Hirsch J., Serradj A., 1997, Images satellites et densités urbaines. In : Cauvin C., 1997, *Densités urbaines. Bâti et populations. Modèles spatiaux, images satellites et représentation*, rapport de recherche partiel, programme Densités PIR-Ville, pp. 31-45.

Sites Internet :

Ministère délégué à la ville et à la rénovation urbaine :

www.ville.gouv.fr

Concours European :

www.archi.fr/EUROPAN

Conclusion de la troisième partie

L'étude précise d'un cas particulier, celui de la ville de Belfort, offre des possibilités intéressantes pour tester la modélisation. Plus spécifiquement, elle permet d'évaluer la correspondance entre les paramètres des modèles et la réalité simulée que montrent les scénarios testés. Sur ce point, l'exercice semble concluant. On a vu en effet que, dans un premier temps, les idées intuitivement établies à propos de l'étalement urbain pouvaient servir à nourrir les modèles, et que les simulations produites sur cette base, permettaient en retour de valider, ou bien d'infirmer certaines idées reçues. Dans un deuxième temps, l'introduction d'éléments prospectifs, liés à la manière avec laquelle on imagine le développement de la ville dans le futur peuvent également être injectés : ils offrent alors une image de l'avenir en correspondance avec les scénarios testés, et qui n'a de sens que dans le cadre de ces scénarios.

Parmi l'ensemble des idées testées, dans le cadre de la postdiction ou dans celui des simulations prospectives, l'un des points qui ressort systématiquement avec une certaine force concerne le rôle de plus en plus déterminant des espaces naturels. Dans de nombreux cas, on a vu en effet - et les coefficients de différents modèles ont permis de confirmer cette idée - que les espaces naturels ont un rôle déterminant sur le plan des changements urbains, et que leur localisation conditionne la localisation du bâti urbain. Dans certains cas, des processus de rurbanisation, c'est-à-dire de coalescence réticulée et périphérique, sont parfaitement identifiés. Ils montrent bien que la « campagne » est aujourd'hui plus déterminante que la ville pour la construction de la ville. En d'autres termes, et pour prendre

une image trop caricaturale pour être tout à fait vraie, on pourrait dire que la ville actuelle n'attire pas par ses équipements, ses services, ses monuments, son emploi, etc. **Ce qui attire l'urbanisation aujourd'hui résulte d'un mélange entre des espaces naturels, et une voie de communication permettant de relier rapidement le centre ville, c'est-à-dire une campagne dotée d'une bonne accessibilité à la ville.**

Ces premiers constats permettent de considérer le problème dans le fond, en offrant quelques exemples pour mieux comprendre la dialectique entre l'éloignement et la proximité : **on voit bien à travers les quelques scénarios testés que la majorité des changements urbains sont liés à une évolution de cette dialectique. Entre un temps et un autre temps de l'urbanisation, les éléments attractifs de la ville ont changé, et avec eux, l'urbanisation s'est décalée du centre vers la périphérie, en privilégiant aujourd'hui un cadre que le processus d'étalement urbain suffit à résumer : des constructions peu denses, en périphérie, en fait, la ville à la campagne, ou la ville sans les contraintes de la ville.**

**CONCLUSION
GENERALE**

Conclusion générale

Avec un premier volet conceptuel, lié à la théorie de l'urbanisation et du développement urbain, et un second volet gestionnaire, attaché à produire un outil de simulation pour l'aménagement, la modélisation présentée dans ce travail permet *in fine* de confirmer l'hypothèse générale *H* avancée à la fin de la première partie : on peut tenter de visualiser les plus fortes probabilités d'occurrence des changements urbains, même s'ils sont difficiles à prévoir *a priori*. L'enchaînement des trois modèles, présenté dans la deuxième partie, permet en effet d'envisager concrètement ces plus fortes occurrences après les avoir décomposées en plusieurs questions auxquelles des modèles différents dans leur âge comme dans leur genre répondent de manière spécifique : à partir d'un espace cellulaire commun, le modèle de transition (chaîne de Markov) quantifie les changements urbains, le modèle de potentiel les localise, et les automates cellulaires le différencient. Pour ce faire, **la modélisation lie logiquement trois différents niveaux qui approchent chacun la problématique sous un angle propre, du plus théorique au plus technique : la théorie liée au processus d'étalement urbain (niveau 1), la formalisation opérationnelle de cette théorie (niveau 2), et le relais technique qui rend les applications possibles (niveau 3).**

D'abord (niveau 1), la théorie associée à la problématique de l'étalement urbain a permis d'en donner une définition concrète, qui l'assimile à un processus particulier d'urbanisation, dont les conséquences doivent être prises en compte sur le plan environnemental comme sur le plan social, c'est-à-dire sur la coalescence et la cohérence urbaines. Cette définition met en

jeu la notion de distance, en particulier par la prise en compte de la dialectique qui lie proximité et éloignement, et qui s'associe à un « seuil proximal ». En deçà du seuil, on considère les choses comme proches ; au-delà, elles sont éloignées. Par cet intermédiaire, il devient possible de distinguer les lieux dont il est préférable de s'éloigner de ceux dont il convient de se rapprocher, ce qui revient à définir, par l'intermédiaire de scénarios, différentes préférences pour l'urbanisation et sa localisation. Ensuite (niveau 2), la modélisation assure la formalisation opérationnelle de cette distance et de l'attractivité générale de la ville. Par l'intermédiaire des modèles et de leurs paramètres, un seuil proximal est exprimé sous la forme de coefficients affectés à chaque catégorie d'occupation du sol présente dans la ville et son environnement. Ces coefficients servent au calcul des potentiels. Pris indépendamment, chaque modèle répond donc clairement et spécifiquement à l'une des trois hypothèses (h_1 , h_2 , h_3) que pose la prise en compte prospective des dynamiques de l'étalement urbain ; pris ensemble, ils apparaissent comme un outil global pour leur modélisation. Enfin (niveau 3), par l'intermédiaire du programme CamDeus (*Cellular Automata Models to Design Environmental and Urban Systems*) la modélisation est aussi relayée sur le plan technique, ce qui permet d'assurer concrètement les simulations et la visualisation des cartes liées aux différents scénarios de développement urbain. L'ensemble s'assimile alors à un Système de Modélisation de l'Information Géographique (SMIG ; Dangermond, 1987) dont l'une des caractéristiques principales est de considérer la modélisation à partir d'un espace cellulaire, qui constitue une base et une référence unique commune.

Toutefois, la modélisation en trois étapes concrétisée par CamDeus n'est qu'une possibilité parmi d'autres pour appréhender l'étalement urbain comme un processus d'urbanisation. Elle apparaît en fait comme un essai de modélisation de la dynamique de l'étalement urbain. Aussi, comme l'indique la définition d'un modèle, elle est particulièrement orientée dans un but précis, lié aux aspects conceptuels et gestionnaires retenus pour traiter l'étalement urbain, ce qui oblige, d'un part, à prendre en compte certains éléments plus spécifiquement que d'autres, et d'autre part, à ne pas traiter ce que d'autres modèles auraient peut-être jugés fondamental. D'autres choix, ou une autre manière d'envisager la problématique, auraient pu conduire à d'autres modèles, probablement complémentaires à celui présenté ici. La modélisation apparaît comme une simplification particulière du problème traité, orientée selon un but et des aspirations eux-mêmes particuliers, mais que l'on a justifié sur le plan théorique comme sur le plan technique, de manière à assurer une bonne cohérence entre l'objectif à atteindre, son acception conceptuelle, la modélisation et l'outil produit. De ce fait, la modélisation permet finalement de dépasser la simple problématique de l'étalement urbain, pour envisager l'urbanisation de façon plus générale, sous l'angle de la distance et de la dialectique entre proche et lointain au sein d'un même système spatial. Malgré des distances parfois importantes et des espaces différents selon les couronnes concernées (du

centre dense et parfaitement artificiel aux périphéries lointaines, peu denses et naturelles) la ville continue d'être un ensemble, un système dont chaque partie fonctionne en interaction, à une échelle qui dépasse la simple dichotomie entre espace urbain et espace rural. Plusieurs scénarios convergent en effet et montrent qu'à l'heure actuelle, les espaces naturels périurbains, peuvent être considérés comme un des éléments de définition de la ville, dans la mesure où ils apparaissent souvent déterminants dans le processus d'urbanisation, dans les choix et les préférences du développement urbain¹. La ville et ses périphéries (la ville et la campagne) apparaissent donc aujourd'hui, dans une certaine limite, comme les éléments complémentaires d'un même système, qui fonctionnent en interaction. Pour une forte part, on a vu que ces possibilités de complémentarité sont très fortement liées à la technologie, et notamment aux vitesses de déplacement dans la mesure où ce sont principalement ces vitesses qui autorisent le choix d'un certain niveau de proximité et d'un certain niveau de densité parmi le gradient des possibilités existantes entre le centre et ses périphéries. Ces possibilités de choix sont des caractéristiques de l'étalement urbain.

Mais, les choix individuels (niveau « micro ») et les arrangements spatiaux engendrent finalement également, au niveau général (niveau « macro ») une nouvelle « consistance » urbaine, que l'on peut saisir par l'intermédiaire des deux vecteurs que sont la coalescence et la cohérence. Leur étude montre qu'historiquement, la ville apparaît comme un objet fortement cinétique, influencé tant par les aspirations et les modes de vie de ceux qui la construisent et qui y vivent, que par les techniques sur lesquelles elle s'appuie pour fonctionner. D'une position traditionnelle animée par un principe communautaire opposé au monde rural par la puissance économique et culturelle qu'elle pouvait dégager de sa proximité, la ville a aujourd'hui bifurqué et s'est orientée vers une interprétation moderne de la proximité, largement assise sur un fond technologique nouveau (et généralisé par l'automobile individuelle) et sur une rationalité typiquement libérale. Sous certains angles, cette bifurcation peut s'interpréter comme un retournement comparable à une inversion des aspirations urbaines, que l'on peut identifier par une double contradiction, spatiale (crise de la coalescence), et sociale (crise de la cohérence). Elle s'accompagne d'un malaise urbain mal identifié qui apparaît comme le volet social des dysfonctionnements dont les caractéristiques sont avant tout spatiales. On peut les synthétiser derrière la notion d'étalement urbain, qui intervient tant sur le plan de la coalescence que sur celui de la cohérence, et qui peut finalement s'interpréter comme une « forme mal maîtrisée du changement d'échelle de la vie urbaine » (Ascher, 2001). Il est alors fort probable que les changements mesurés aujourd'hui

¹ Ceci nous rapproche alors de la notion de préférence telle qu'elle est étudiée en psychologie environnementale. Les travaux de T. R. Herzog (1999) ou de J. Zacharias (2001), par exemple, apparaissent à ce sujet comme une ouverture intéressante.

continuent de recomposer l'habitat urbain, et de modifier l'interface ville-campagne, jusqu'à ce qu'une nouvelle stabilité émerge. Dépassant la ville moderne actuelle, elle pourrait alors engendrer une « troisième ville », dont la structure fonctionnelle correspondrait à une nouvelle urbanité, forte de l'examen des précédents manques, et des nouvelles possibilités techniques.

Ainsi, au-delà de l'outil d'aide à la décision appliqué à l'aménagement urbain que constitue la modélisation, **elle permet également de tirer des conclusions théoriques sur la ville, et de porter un regard conceptuel sur l'environnement urbain, c'est-à-dire sur le système « ville + campagnes périphériques ».** Dans le même cadre d'idées, la modélisation permet aussi d'ouvrir un large débat quant au contexte actuel de l'urbanisation, qui propose de trouver le juste arbitrage entre l'application des principes de la démocratie, et ceux du développement durable. Face au processus d'étalement urbain, il est en effet nécessaire de trouver le compromis qui permet à la fois d'assumer le fait que chacun ait le droit d'habiter où il veut, selon les choix qui correspondent à ses aspirations, et le fait que, considérés massivement, ces choix individuels peuvent avoir des conséquences néfastes pour l'environnement et la cohésion urbaine, c'est-à-dire qu'ils sont contraires aux principes du développement durable. Par l'intermédiaire de la simulation, la modélisation permet de tester une multitude de solutions, et d'envisager leurs conséquences les plus probables. Pour mettre au point ces solutions, on peut alors étudier les propositions qui ont drainé le 20^{ème} siècle, sous la plume d'architectes, d'urbanistes et d'utopistes. Souvent restées à l'état de projet, ou partiellement réalisées, leurs propositions d'urbanisme ont permis de rêver à des villes meilleures, dont on peut s'inspirer pour tenter de lier les principes de la démocratie à ceux du développement durable. Ici, l'idée de H. Reymond (1998) de construire la ville en synergie multistrate², c'est-à-dire d'exploiter les possibilités de l'axe vertical en multipliant les opérations d'urbanisme spatiale et d'urbanisme aérien, plutôt que de l'étaler sur le plan horizontal, présente un exemple intéressant. On a vu, en effet, qu'entre la prospective et l'utopie, il n'y a parfois qu'un pas.

² Pour simplifier l'idée d'un « système d'urbanisation transurfacique à genèse volumique et à synergie multistrate », H. Reymond (1998) met au point le concept UTSM (Urbanisation Transurfacique à Synergie Multistrate), ou encore « ville tridiastatique », dont le développement vertical sur plusieurs strates permet d'éviter l'étalement.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- Abler R., Adams J.S, Gould P., 1972, *Spatial Organization. The Geographer's View of the World*, Prentice / Hall International, 587 pages.
- Ackoff R.L., Gupta S.K., Minas, J.S., 1962, *Scientific Method : Optimizing Research Decisions*, New-York, 464 pages.
- Adams J.W., 1971, *Elements of finite probabilities*, Kaedmon Publishing Company, New-York, 194 pages.
- Agier M., 1999, *L'invention de la ville. Banlieue, township, invasions et favelas*, Ed. des archives contemporaines, 176 pages.
- Agulhon M., Choay F., Crubellier M., Lequin Y., Roncayolo M., 1983, 1998 *La ville de l'âge industriel. Le cycle Haussmannien*, Histoire de la France urbaine 4, Seuil, Coll. Histoire, 734 pages.
- Akiri P., 1989, La modélisation de la mobilité résidentielle : l'exemple du Havre, *Cahiers géographiques de Rouen*, n° 31, pp. 91-107.
- Akwawua S., Pooler J.A., 2001, The development of an intervening opportunities model with spatial dominance effects, *Journal of geographical systems*, vol. 3, n°1, pp. 69-86.

- Allen P.M., Sanglier M., 1979, A dynamic model of growth in a central place system, *Geographical Analysis*, vol. 11, n°3, pp. 256-272.
- Allen R.C., Rabianski J.S., Stone J.H., 1986, A managerial model of the effect of product market structure on firm location, *Journal of regional science*, n° 2, Vol. 26, pp. 393-409.
- Almeida C.M. et al., 2002, Empiricism and stochastics in cellular automaton modeling of urban land use dynamics, Centre for Advanced Spatial Analysis, *Working Paper series*, n°42, Feb. 2002, 38 pages.
- Alonso W.A., 1964, *Location and land use. Toward a general theory of land rent*. Harvard University Press.
- Alonso W.A., 1960, *A model of urban land market location and densities of dwellings and businesses*, Doctorate dissertation, University of Philadelphia.
- Andrikopoulos A., Brox J., 1985, Predicting intra-urban residential location preferences : an application of the dynamic generalized linear expenditure system, *Urban studies*, n°22, pp. 329-337.
- Anselin L. Getis A., 1993, *Spatial statistical Analysis and geographical Information Systems*. In : Fischer M.M., Nijkamp P. (ed.), 1993, *Geographical Information System, Spatial Modelling and Policy Evaluation*, pp. 35-49.
- Antoni J.P., 1997, *Eléments d'histoire pour la cartographie des villes*, mémoire de maîtrise, Université Louis Pasteur, octobre 1997, 114 pages.
- Antoni J.P., 2000, Expansion. Quand la ville cherche ses nouvelles limites, *Aire urbaine, aire urbaine. Les nouveaux enjeux de la gouvernance*, 21^{ème} rencontre nationale des agences d'urbanisme, Strasbourg, 26-28 décembre 2001, pp. 20-23.
- Antoni J.P., 2002, "Urban sprawl modelling : a methodological approach", *Cybergeo : European Journal of Geography*, n°207, 1/03/2002, 11 p. (www.cybergeo.presse.fr).
- Antoni J.P., 2002, Construire en collaboration avec son image, *Territoires en quête d'image. Les ressorts de l'attractivité*, 23^{ème} rencontre nationale des agences d'urbanisme, Marseille, 11-13 décembre 2002, pp. 20-22.
- Antoni J.P., 2002, Urban sprawl modelling: combining models to make decision, *Proceedings of the 6th International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning (Eindhoven University of Technology)*, Ellecom, The Netherlands, July 7-10 2002, pp. 12-23.

-
- Antoni J.P., Meyer V., 2001, Les temps de la ville, les temps dans la ville : la question « quand la ville est-elle accessible ? », *Espaces, temps, modes de vie. Nouvelles cohérences urbaines*, 22^{ème} rencontres nationales des agences d'urbanisme, Nantes, 13-14 décembre 2001, pp. 22-25.
- Antoni J.P., Meyer V., 2001, Les temps de la ville, les temps dans la ville : la question « en combien de temps la ville est-elle accessible ? », *Espaces, temps, modes de vie. Nouvelles cohérences urbaines*, 22^{ème} rencontres nationales des agences d'urbanisme, Nantes, 13-14 décembre 2001, pp. 26-29.
- Apostel L., 1961, Towards the formal study of models in the non formal sciences. In : Freudenthal H. (ed.), 1961, *The concept and the Role of the Model in Mathematics and Natural Social Science*, pp. 1-37.
- Ascher F. Beaucire F., 2000, Tous en ville ou la ville partout ? *Le monde des débats*, juin 2000, pp. 22-24.
- Ascher F., 1995, *Métapolis ou l'avenir des villes*, Ed. Odile Jacob, 345 pages.
- Ascher F., 1997, *Demain, la ville de tous les temps*. In : Obadia A., 1997, *Entreprendre la Ville. Nouvelles temporalités, nouveaux services*, Ed. de l'Aube, pp. 17-32.
- Ascher F., 1997, Du juste à temps au chrono-urbanisme, *Les Annales de la recherche urbaine*, n° 78, Dec. 1997, pp. 113-122.
- Ascher F., 1997, Métropole et métapolisation : au delà des mots? *Urbanisme*, n° 296, Sept-oct 1997, pp. 57-58.
- Ascher F., 2001, *Les nouveaux principes de l'urbanisme. La fin des villes n'est pas à l'ordre du jour*, Ed. de l'Aube, Tour d'Aigues, 103 pages.
- Ascher F., Beaucire F., 2000, Tous en ville ou la ville partout ? *Le Monde des débats*, 2000, pp. 22-24.
- Ascher F., Behar D, Etchegoyen A., Fraisse R., 1998, *Ville et développement. Le territoire en quête de sens*, L'harmattan, 95 pages.
- AUAT, 2001, Mobilité subie, déplacements choisis. Les cas de sur mobilité contrainte en région tourangelle, *Espaces, temps, modes de vie. Nouvelles cohérences urbaines*, 22^{ème} rencontres des agences d'urbanisme, Nantes, 12-14 décembre 2001, pp. 126-129.
- AURM, 2001, Le Tram-train de la région mulhousienne : nouvelles mobilités, nouveaux territoires périurbains, *Espaces, temps, modes de vie. Nouvelles cohérences urbaines*, 22^{ème} rencontres des agences d'urbanisme, Nantes, 12-14 décembre 2001, pp. 78-81.

- Babbage C., 1835, *On the Economy of Machinery and Manufactures*, Charles Knight, 4th edition enlarged, chapters 13 et 19, pp. 119-122, 172-190.
- Bailly A., 1974, La perception des paysages urbains, *L'espace géographique*, n° 3, pp. 211-217.
- Bailly A., 1977, *La perception de l'espace urbain*, Centre de Recherche d'Urbanisme, 264 pages.
- Bailly A., 1981, *La géographie du bien-être*, Presses Universitaires de France, 240 pages.
- Bailly A., 1984, *Les concepts de la géographie humaine*, Masson, Coll. U., 204 pages.
- Bailly A., Ferras R., 1997, *Éléments d'épistémologie de la géographie*, Armand Colin, Coll. U 191 pages.
- Bairoch P., 1977, *Taille des villes, conditions de vie et développement économique*, Ed. de l'EHESS, 422 pages.
- Bairoch P., 1985, *De Jéricho à Mexico. Villes et économies dans l'histoire*, Arcade, Gallimard, 710 pages.
- Bambrough R., 1964, Principia Metaphysica. In : *Philosophy*, n° 39, pp. 97-109.
- Banister D., 1998, *Transport policy and environment*, E&FN Spon, 348 pages.
- Bansister D., Bayliss D., 1992, Structural changes in population and impact on passenger transport, 60 pages, *ECMT Round Table 88*, OECD, pp. 103-142.
- Barcelo M., 1993, *L'étalement urbain, qu'en est-il ? Le définir avant même de tenter de le gérer*. In : Bussière Y., Bonnafous A. (ss. dir.), 1993, *Transport et étalement urbain : les enjeux*, Programme pluri-annuel en sciences humaines, Rhone-Alpes, pp. 29-34.
- Barcelo M., 1999, Les indicateurs d'étalement urbain et de développement durable en milieu métropolitain, *Observatoire métropolitain de la région de Montréal*, Cahier 99-06, juin 1999, 51 pages.
- Barel Y., 1971, *Prospective et analyse de systèmes*, Travaux et recherches de prospectives, n° 14, Datar, Ed. de la Datar.
- Barel Y., 1977, *La ville médiévale*, Presses Universitaires de Grenoble, 700 pages.
- Barel Y., 1981, Communication paradoxale et reproduction sociale, *Colloque sur la théorie de la communication*, 29768 Santander, Universidad Internacional Menendez Pelayo.
- Barel Y., 1982, *La marginalité sociale*, Presses Universitaires de France.

-
- Barel Y., 1985, Quand le social se fait peur à lui-même, *Actions et recherches sociales*, n° 4, pp. 31-34.
- Barel Y., 1989, *Le Paradoxe et le système. Essai sur le fantastique social*, Presses Universitaires de Grenoble, 329 pages.
- Barles S., 1999, *La ville délétère. Médecins et ingénieurs dans l'espace urbain au 18^{ème} et 19^{ème} siècles*, Ed. Champs Vallons, 384 pages.
- Bassand M., Thi Ngoc Du T., Tarradellas J., Bolay J.C., 2000, *Métropolisation, crise écologique et développement durable*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Coll. « Science, Technique, Société », 312pages.
- Bastié J., Dezert B., 1980, *L'espace urbain*, Masson, 384 pages.
- Bastié J., Dezert B., 1991, *La ville*, Masson.
- Batty M. et al., 1998, GIS and urban Design, *Working paper Series*, n°3, Centre for Advanced Spatial Analysis, 28 pages.
- Batty M., Jiang B., 1999, Multi-agent simulation : new approaches to exploring space-time dynamics within GIS, *Working paper Series*, n°10, Centre for Advanced Spatial Analysis, 25 pages.
- Bauer G., 1993, La suburbia : sommes nous concernés ?, *Urbanisme*, HS, n° 1, Fev 1993, pp. 67-70
- Bauer G., Roux J.M., 1978, *La rurbanisation ou la ville éparpillée*, Seuil, 189 pages.
- Bauer J.M., 1997, Les aventures de la rurbanisation, *Urbanisme*, n°296, septembre-octobre 1997, pp. 73-74.
- Baumann Z., 2000, *Liquid modernity*, Polity Press, 318 pages.
- Baumont C., Guillain R., Huriot J.M., 1998, *Proximité et formation des villes : le rôle des externalités d'information*. In : Huriot J.M. (ss.dir), 1998, *La ville ou la proximité organisée*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 115-128.
- Beaucire F., 1996, *Contrainte écologique et développement urbain durable*. In : Genestier P., 1996, *Vers un nouvel urbanisme. Faire la ville, comment ? pour qui ?*, La documentation française, pp. 127-138.
- Beaujeu-Garnier J., 1995, *Géographie urbaine*, Armand Colin, Coll. U, 349 pages.

Bibliographie

- Beaumont C., 1996, *La ville et ses représentations formelles*. In : Derycke P.H., Huriot J.H., Pumain D., 1996, *Penser la ville, théories et modèles*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 7-51.
- Beck U., Giddens A., Lash S., 1994, *Reflexive modernization. Politics, Tradition and Aesthetics in the Modern social order*, Cambridge, Polity Press.
- Béguin H., 1985, La théorie dans la démarche géographique, *L'espace géographique*, n° 1, Jan-Mars 1985, pp. 65-68.
- Béguin H., 1996, *Faut-il définir la ville ?* In : Derycke P.H., Huriot J.H., Pumain D., 1996, *Penser la ville, théories et modèles*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 301-320.
- Béguin H., 1998, *La géographie économique*. In : Bailly A. et al., 1998, *Les concepts de la géographie humaine*, Armand Colin, Coll. U, pp. 165-174.
- Béguin H., Thisse J.F., 1979, An axiomatic approach to geographical space, *Geographical analysis*, oct. 1979, n°4, vol. 11, pp. 325-341.
- Behar D., Ascher F., Etchegoyen A., Fraisse R., 1998, *Ville et développement. Le territoire en quête de sens*, Ed. Textuel, 95 pages.
- Belmessous H., 2002, Des « villes privées » à la française : voyage à travers les forteresses des riches », *Le Monde Diplomatique*, novembre 2002, page 5.
- Benevolo L., 1975, *Histoire de la ville*, Ed. Parenthèses, 509 pages.
- Benevolo L., 1993, *La ville dans l'histoire européenne*, Seuil, Coll. Faire l'Europe, 286 pages.
- Benjamin W., 1972, 1999, *Moscou*, Ed. Mille et une nuits, Coll. La ville entière, 79 pages.
- Berchtold A., 1998, *Chaînes de Markov et modèles de transition. Application, aux sciences sociales*, Hermes, 284 p.
- Bercque A. 1997 Des toits, des étoiles, *Les annales de la recherche urbaine*, n°74, mars 1997, pp. 5-11.
- Bercque A., 1990, *Médiance. Entre milieu et paysage*, GIP Reclus, 158 pages.
- Bercque A., 1996, *Etre humain sur la Terre. Principes d'éthique de l'écoumène*, Gallimard, Coll. Le débat, 212 pages.
- Bercque A., 1997, Biosphère ou cybermonde, *Cahiers de médiologie*, n°3, Gallimard, pp. 75-81.

-
- Berger M. *et al.*, 1980, Rurbanisation et analyse des espaces ruraux périurbains, *L'espace géographique*, n°4, pp. 303-313.
- Berger M., 1989, Vers de nouveaux types de rapports villes-campagnes : la production des espaces périurbains en France et dans les pays développés d'économie libérale, *Strates*, n°4, 1989, pp. 89-106.
- Bernabeu Y., Bourdeau M., Guenardeau J., Marchal J., Nouel J.C., Tréhin C., 1997, Pour une ville de nouvelle mesure, *Urbanisme*, n° 296, Sept-oct 1997, pp. 87-89.
- Berroir S., Cattant N., Saint-Julien T., 1996, *Polarisation des déplacements et formes de peuplement*, 9 pages. In : Pumain D., Godard F. (coord.), 1996, *Données urbaines*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 301-309.
- Berroir S., Cattant N., Saint-Julien T., 1996, *La structuration des territoires de la ville, entre agglomération et aire polarisée*, Document de travail, Equipe PARIS, CNRS, Université de Paris I.
- Berry B.J.L., Horton F.E., 1970, *Geographic perspectives on urban systems with integrated readings*, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, 564 pages.
- Berry B.J.L., Kasarda J.D., 1977, *Contemporary urban ecology*, Mac Millan Publ., 479 pages.
- Berry B.J.L., 1967, *Geography of markets and retail distribution*, Foundation of economic geography series, 146 pages.
- Berry B.J.L., Marble F.M., 1968, *Spatial Analysis. A reader in statistical geography*, Prentice-Hall International Editions, 512 pages.
- Bertalanffy (von) L., 1968, 1996, *Théorie générale des systèmes*, Ed. Dunod, Coll. Systémique, 308 pages.
- Bessy-Pietri P., Hilal M., Schmitt B., 2000, Recensement de la population 1999 : évolutions contrastées du rural, *INSEE Première*, n° 726, juillet 2000, 4 pages.
- Bessy-Pietri P., Sicamois Y., 2001, La zonage en aires urbaines en 1999 : 4 millions d'habitants en plus dans les aires urbaines, *INSEE Première* n° 765, avril 2001, 4 pages.
- Bidou C., 1984, *Les aventuriers du quotidiens. Essai sur les nouvelles classes moyennes*, Presses universitaires de France.
- Bieber A., Orfeuill J.P., 1993, La mobilité urbaine et sa régulation, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 59-60, Juin-sept 1993, pp. 127-139.
- Bindé J., 2000, Vers l'apartheid urbain ?, *Futuribles*, n° 253, mai 2000, pp. 61-68.

- Birmingham, H. P., Taylor, F. V., 1954, *A human engineering approach to the design of man-operated continuous control systems* (Report NRL 4333). Washington, DC: Naval Research Laboratory, Engineering Psychology Branch.
- Blakely E., Snyder M.G., 1997, *Fortress America : Gated Communities in the United States*, Brooking Institution / Lincoln Institute of Land policy, 208 pages.
- Blanc G., 2000, Des ordinateurs intelligents... et conscients, *Futuribles*, n° 256, pp. 39-46.
- Blancher P., 1995, Risque et densité, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 67, juin 1995, pp. 109-118.
- Blanquard P., 1997, *Une histoire de la ville. Pour repenser la société*, La découverte, Coll. Essais, 194 pages.
- Bonello J.Y., 1996, *La ville*, Presses Universitaires de France, Coll. Que sais-je ?, 128 pages.
- Bonnafous A., Tabourin E., 1998, *Modélisation de l'évolution des densités urbaines*, 14 pages. In : Pumain D., Mattei M.F., 1998, *Données urbaines 2*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 167-180.
- Bonnel P., 2000, Une mesure dynamique des relations entre transports collectifs, étalement urbain et motorisation. Le cas de Lyon, 1976-1995, *Les cahiers scientifiques du transport*, n° 38, pp. 19-44.
- Bordas-Astudillo F., 1999, *Aspects cognitifs et affectifs de la densité humaine*, Thèse de doctorat, (ss. Dir. Moch A.), Laboratoire des organisation urbaines : espace, sociétés, temporalités, UMR 220, Université de Paris X-Nanterre, 271 pages.
- Bordreuil J.S., 1990, *L'identité à l'épreuve de la ville : éléments pour une géographie des (in)civilités*. In : Bailly A., Scarati R., 1990, *L'humanisme en géographie*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 41-58.
- Bordreuil J.S., 1995, De la densité habitante aux densités mouvantes : l'hyperurbanité, *Les annales de la recherche urbaine*, n°67, juin 1995, pp. 5-14.
- Bordreuil J.S., 2000, *La ville desserrée*, 14 pages. In : Paquot T, Lussault M., Body-Gendrot S. (ss. dir.), 2000, *La ville et l'urbain, l'état des savoirs*, Paris , La Découverte, pp. 169-182.
- Boulogne R., 1981, The concept of attraction : its meaning and measurability, *Tijdschrift voor econ. en soc. Geografie*, n° 6, pp. 362-367.
- Bouveresse J., 1974, La philosophie des sciences de Karl Popper, *La Recherche*, n° 50, pp. 955-962.

-
- Braudel F., 1979, *Civilisation matérielle, économie et capitalisme*, Tome 3, Armand Colin.
- Brémond J., Gélédan A., 1990, *Dictionnaire économique et social*, Hatier, 419 pages.
- Bretagne G., Guichard, P., 2000, *L'agriculture périurbaine toulousaine : un patrimoine à protéger, une activité à conforter*, Observatoire urbain de l'agglomération toulousaine, *Perspective Ville*, mars 2000, 3 pages.
- Bridgman P.W., 1936, *The Nature of Physical Theory*, Princeton.
- Brunet R., 1987, *La carte, mode d'emploi*, Fayard-Reclus, 270 pages.
- Brunet R., Ferras R., Théry H., 1992, *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique*, Reclus-La documentation française, 518 pages.
- Buret E., 1840, *De la misère des classes laborieuses en France et en Angleterre*, Paris.
- Burgess E.W., 1925, *Growth of the City*. In : Park R., Burgess E.W., McKenzie R., 1925, *The City*, pp. 37-44.
- Burks A. W., 1970, *Essays on cellular Automata*, Urbana University of Illinois Press.
- Burrough P.A., 1986, *Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment*, Clarendon Press.
- Burrough P.A., McDonnell R., 1998, *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.
- Burt R., 1982, *Toward a structural theory of action*, Academic Press.
- Bussière Y., 1993, *L'étalement urbain à Montréal : un diagnostic*. In : Bussière Y., Bonnafous A., 1993, *Transport et étalement urbain : les enjeux*, Programme pluri-annuel en sciences humaines, Rhône-Alpes, pp. 5-29.
- Cabanel J., Ambroise R., *La France part en friches, et alors ? Métropolis*, n°87, Premier trimestre 1990, pp. 4-16.
- Calenge C., 1997, *De la nature à la ville*, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 74, mars 1997, pp. 12-19.
- Calhoun J.B., 1962, *Population Density and Social Pathology*, *Scientific American*, 206, pp. 139-146.
- Cancellieri A., 1992, *L'habitat du futur. Défis et prospective pour le prochain quart de siècle*, La documentation française, 484 pages.

- Cauvin C., 1984a, *La perception des distances en milieu intra-urbain : une première approche*, Edition du CDHS.
- Cauvin C., 1984b, *Etude des configurations cognitives intra-urbaines : aspects méthodologiques*, UER de Géographie, ERA 214 CNRS, 213 pages.
- Cauvin C., 1997, Le concept de densité urbaine et son expression, In : Cauvin C., 1997, *Densités urbaines. Bâti et populations. Modèles spatiaux, images satellites et représentation*, rapport de recherche partiel, programme Densités PIR-Ville, pp. 17-26.
- Cauvin C., 2003, *Géostatistiques*, Cours de DEA, Université Louis Pasteur, Faculté de géographie et d'aménagement, 33 pages.
- Cauvin C., Raymond H., Hirsch J., 1980, *L'espacement des villes. Théorie des lieux centraux et analyse spectrale*, Edition de CNRS, Mémoires et documents de géographie, 186 pages.
- Cauvin C., Raymond H., Serradj A., 1987, *Discrétisation et représentation cartographique*, Ed. Reclus, Coll. Reclus Mode d'emploi, 116 pages.
- Cauvin C., Rimbert S., 1976, La lecture numérique des cartes thématiques. Les méthodes de la cartographie thématique, Fascicule 1, Ed. Universitaires de Fribourg, 172 pages.
- CERTU, 2000, *La forme des villes : caractériser l'étalement urbain et réfléchir à de nouvelles modalités d'action*, Débat CERTU 30, Coll. du CERTU, 178 pages.
- CERTU, 2001, *Diversité et ségrégation : des indicateurs pour la qualification de l'habitat. Application aux agglomérations de Bordeaux et Toulouse*, décembre 2001, 6 pages.
- Chabot G., Beaujeu-Garnier J., 1964, *Traité de géographie urbaine*, Armand Colin, 493 pages.
- Chalas Y., 1997, *Les figures de la ville émergente*. In : Dubois-Taine G., Chalas Y., 1997, *La ville émergente*, Ed. de l'Aube, pp. 239-270.
- Chaline C., 1999, *La régénération urbaine*, Presses Universitaires de France, « Que sais-je ? », n° 3496.
- Chaline C., Dubois-Maury J., 1994, *La ville et ses dangers. Prévention et gestion des risques naturels, sociaux et technologiques*, Masson, Coll. Pratiques de la géographie, 251 pages.
- Chapelon L., 1996, Modélisation multi-échelle des réseaux de transport : vers une plus grande précision de l'accessibilité, *Mappemonde*, n° 3, pp. 28-36.

-
- Charre J., 1995, *Statistique et territoire*, GIP Reclus, 120 pages.
- Charre J., Dumolard P., 1988, *Initiation aux pratiques informatiques en géographie*, Masson, 199 pages.
- Chartier R., Chaussinand-Nogaret G., Neveux H., Le Roy Ladurie E., 1980, 1998, *La ville des temps modernes. De la Renaissance aux Révolutions*, Histoire de la France urbaine 3 Seuil, Coll. Histoire, 657 pages.
- Chassery J.M., Montanvert A., 1991, *Géométrie discrète en analyse d'images*, Hermès, Traité des nouvelles technologie, Série Image.
- Chavouet J.M., Fanouillet J.C., 2000, Forte extension des villes entre 1990 et 1999, *INSEE Première*, n° 707, avril 2000, 4 pages.
- Chédeville A., Le Goff J., Rossiaud J., 1980, 1998, *La ville en France au Moyen-Age*, Histoire de la France urbain 2, Seuil, Coll. Histoire, 677 pages.
- Cheyland et al., 1999, *Les mots du traitement de l'information temporelle*, Revue internationale de géomatique, vol. 9, n° 1/1999, pp. 25-44.
- Choay F., 1999, De la ville à l'urbain (propos recueillis par T. Paquot), *Urbanisme*, n° 309, nov-déc. 1999, pp. 6-8.
- Choay F. et al., 1972, *Le sens de la ville*, Ed. du Seuil, 183 pages.
- Choay F., 1994, *La nature urbanisée. L'invention des espaces verdoyants*. In : Dethier J., Guiheux A. (ss. Dir.), 1994, *La ville, art et architecture en Europe*, Centre Georges Pompidou, pp. 61-62.
- Choay F., 1994, *Le règne de l'urbain ou la mort de la ville*. In : Dethier J., Guiheux A., 1994, *La ville, art et architecture en Europe*, Centre Georges Pompidou, pp. 26-35.
- Choay F., 1999, De la ville à l'urbain (propos recueillis par T. Paquot), *Urbanisme HS*, nov. 1999, « Une chronique du siècle », pp. 6-8.
- Chombart de Lauwe P.H., 1959, *Famille et habitation*, Tome 1, Sciences humaines et conceptions de l'habitat, CNRS.
- Chombart de Lauwe P.H., 1982, *La fin des villes*, Calmann-Levy, 246 pages.
- Chorafas D. N., 1965, *Systems and Simulations*, 503 pages.
- Chorley R.J., Haggett P. (ed.), 1967, *Models in Geography*, Methuen and Co Ltd., 816 pages.

- Christaller W., 1933, 1977, *Central places in Southern Germany*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 229 pages.
- Ciparisse G., 1997, Dynamiques foncières et agriculture en zones périurbaines : éléments pour un débat sur de nouvelles frontières, *Bulletin Réforme agraire, colonisation et coopératives agricoles*, FAO, 1997.
- Clarck C., 1951, Urban population densities, *Royal Statistical Society Journal*, Serie A, pp. 490-496.
- Clark W.A.V. Huff J.O. Burt J.E., 1979, Calibrating a model of decision to move, *Environment and planning A*, Vol. 11, pp. 689-704.
- Clark W.A.V., Burt J.E., 1980, The impact of workplace on residential relocation, *Annals of the association of american geographers*, n° 1, Vol. 70, pp. 59-67.
- Claval P., 1974, Géographie et sémiologie, *L'espace géographique*, n°2, 1974, pp. 113-119.
- Claval P., 1974, La géographie et la perception de l'espace, *L'espace géographique*, n° 2, pp. 179-187.
- Claval P., 1977, *La nouvelle géographie*, Presses Universitaires de France, 126 pages.
- Claval P., 1981, *La logique des villes. Essai d'urbanologie*, Ed. Litec, 633 pages.
- Claval P., 1994, Un préalable pour penser la ville de demain. In : Gorra-Gobin C. (ss. Dir.), 1994, *Penser la ville de demain. Qu'est-ce qui institue la ville ?* L'harmattan, pp. 257-264.
- Clement P., Guth S., 1995, De la densité qui tue à la densité qui paye, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 67, juin, 1995, pp. 73-84.
- Coing H., 1982, *La ville marché de l'emploi*, Presses Universitaires de Grenoble, 306 pages.
- Collet C., 1992, *Systèmes d'information géographique en mode image*, Presses polytechniques et universitaires romandes, VIII.
- Collins L., 1975, An introduction to Markov chain analysis, *Catmog*, n°1, 36 p.
- Congdon P., 1988, Modelling migration flows between areas : an analysis for London using the census and OPCS Longitudinal study, *Regional studies*, Vol. 23, 2, pp. 87-103.
- Consinschi M., Racine J.B., 1998, *Géographie urbaine*. In : Bailly A. et al., 1998, *Les concepts de la géographie humaine*, Armand Colin, Coll. U, pp. 123-148.

-
- Conway J., 1970, *Mathematical games* *Scientific American*, October, pp. 120-127.
- Coolos B., Chaabouni K., 1996, *Les prix fonciers et les marchés immobiliers*. In : Pumain D., Godard F., 1996, *Données urbaines*, Anthropos, Coll. Villes pp. 199-208.
- Couclecis H., 1985, *Cellular World : a framework for modelling micro-macro dynamics*, *Environment and Planning A*, n°17, 1985, pp. 585-596.
- Couclecis H., 1988, *Of mice and men : What rodent population can teach us about complex spatial dynamics*, *Environment and Planning A*, n°20, 1985, pp. 99-109.
- Coulon A., 1992, *L'école de Chicago*, Presses Universitaires de France, Coll. Que sais-je ?, 128 pages.
- Crozet Y. , 1998, *Proximités et effets externes*, 10 pages. In : Huriot J.M. (ss.dir), 1998, *La ville ou la proximité organisée*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 79-88.
- Da Silva A., 1988, *Pixels et géographie. Le carroyage. Pour une meilleure prise en compte de l'espace et de son contenu*, Mémoire de DEA, UFR de géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 84 pages.
- Dangermond J., 1987, *The maturing of GIS and the new age for geographic information modelling (GIMS)*. In : Aangeenbrug R.T., Schiffman Y. M., 1987, *International Geographic Information System (IGIS) : The research agenda*, NASA Symposium, Arlington, Virginia, vol. 2, pp. 55-66.
- Dauphiné A., 1987, *Les modèles de simulation en géographie*, Economica, 187 pages.
- Dauphiné A., 1995, *Chaos, fractales et dynamiques en géographie*, GIP reclus, 127 p.
- Dauphiné A., 1998, *Espace terrestre et espaces géographiques*. In : Bailly A. et al., 1998, *Les concepts de la géographie humaine*, Armand Colin, Coll. U, pp. 51-62.
- Dauphiné A., 2003, *Théories de la complexité en géographie*, Economica Anthropos, Géographie, 248 pages.
- David B., Fasquel P., 1997, *Qualité d'une base de données géographique : concepts et terminologie*, *Bulletin d'information de l'IGN*, n° 67, 29 pages.
- De Almeida C. M. et al., 2002, *Empiricism and stochastics in cellular automaton modelling of urban land use dynamics*, Working paper Series, n°42, Centre for Advanced Spatial Analysis, 37 pages.
- De Coulanges F., 1864, *La cité antique*, Flammarion, Coll. Champs, 494 pages.

- De Courson J., 1999, *La prospective des territoires. Concepts, méthodes résultats*, Certu, Coll. Débats, n° 22, 70 pages.
- De Jouvenel B., 1964, *L'art de la conjecture*, Editions du Rocher, 407 pages.
- De Koninck R., 1998, *La géographie critique*, In : Bailly A. et al., 1998, Les concepts de la géographie humaine, Armand Colin, Coll. U, pp. 185-198.
- De Portzamparc C., 1995, Il n'y a pas la mauvaise ville ancienne opposée à la bonne ville moderne, *Paris-Match*, mai 1995.
- De Rosnay J., 1975, *Le macroscopie. Vers une vision globale*, Seuil, Coll. Point Essai, 346 pages.
- De Rosnay J., 1995, *L'homme symbiotique. Regard sur le troisième millénaire*, Seuil, Coll. Point Essai, 398 pages.
- De Vries J.J., Nijkam P., Rietveld P., 2001, Alonso's Theory of movements : developments in spatial interaction modelling, *Journal of geographical systems*, Vol. 3, n° 3, pp. 233-256.
- Degenne A., Forsé M., 1994, *Les réseaux sociaux : une analyse structurale en sociologie*, Coll. U. A. Colin, Paris. 288 pages.
- Delahaie C., 1987, Le carroyage : création d'une entité stable, *L'espace géographique*, n°4, pp. 265-267.
- Delsey J., Orfeuil J.P., 1989, *Transport et énergie*, 15 pages. In : INRETS, 1989, Un milliard de déplacements par semaine. La mobilité des français, La documentation française, pp. 235-249.
- Demonque P., 2001, La police de proximité. Une révolution culturelle à mener tranquillement, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 90, Septembre 2001, pp. 157-164.
- Denegre J., Salge F., 1997, *Les systèmes d'information géographique*, Presses Universitaires de France, Coll. Que sais-je ?, 128 pages.
- Derycke P.H., 1970, *L'économie urbaine*, Presses Universitaires de France, Coll. L'économiste, 261 pages.
- Derycke P.H., 1979, *Economie et planification urbaine*, Tome 2, Théorie et modèles, Presses Universitaires de France.
- Deuheuvels P., 1982, *La probabilité, le hasard et la certitude*, Presses Universitaires de France, Que sais-je ? 128 pages.

-
- Di Méo. G., 1996, *Les territoires du quotidien*, L'Harmattan, 207 pages.
- Diappi L., Bolchi P., 2003, *Land use dynamics: a stochastic model based on knowledge from SOM neural networks*, Paper presented at the 13th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography, 5-9 september 2003, Lucca, Italy, 13 pages.
- Didier M., Bouveyron C., 1993, *Guide économique et méthodologique des SIG*, Conseil national de l'information géographique, Ed. Hermès, 330 pages.
- Dieuaide F., 1991, *Essai de délimitation des agglomérations urbaines. Une approche cartographique par la méthode du carroyage*, Mémoire de DEA, UFR de géographie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 139 pages.
- Dimos P., Donnay J.P., 1996, *La conception de SIG. Méthode et formalisme*, Ed. Hermès, Coll. Géomatique, 343 pages.
- Donnay J.C., 1992, *Développement urbain*, Université de Liège.
- Donzelot J., 1998, *La ville éclatée*. In : Collectif, 1998, *Les révolutions invisibles*, Calmann Levy, 322 pages.
- Donzelot J., 1999, *La nouvelle question urbaine*, *L'esprit*, nov. 99, pp. 87-98.
- Dortier J.-F. (coord.), 1999, *Le cerveau et la pensée*, Sciences Humaines Editions, 384 pages.
- Doxiadis C., 1972, *The formation of the human room*, *Ekistics*, n° 196, Vol. 33, mars 1972, pp. 218-229.
- DREIF, 1995, *Les déplacements des Franciliens en 1991-1992*, Enquête globale de transports, 70 pages.
- DREIF, 1996, *Les transports de voyageurs en Ile-de-France en 1994*, 110 pages.
- Drezner, Z., Wesolowsky G.O., 1978, *A Trajectory Method for the Optimization of the Multi-Facility Location Problem with lp Distances*, *Management Science*, n°24, pp.1507-1514.
- Driant J.C. (ss. Dir.), 1992, *Habitat et ville : l'avenir en jeu*, Ed. L'harmattan, 162 pages.
- Duhem B., 1993, *Morphologie urbaine et développement durable*. In : *Urbanisme*, Hors-Série, n° 3, octobre 1993, pp. 44-45.
- Duhem B., Gourdon J.L., Lassave P, Ostrowetsky S., 1994, *Ville et transports*. In : Gorra-Gobin C. (ss. Dir.), 1994, *Penser la ville de demain. Qu'est-ce qui institue la ville ?* L'harmattan, pp. 91-98.

- Dupuy G. , 1991, *L'urbanisme des réseaux. Théorie et méthodes*, Ed. Armand Colin, 199 pages.
- Dupuy G., 1994, *Les territoires de l'automobile*, Ed. Anthropos-Economica, 216 pages.
- Durand D., 1979, 1996, *La systématique*, Presses Universitaires de France, Coll. Que sais-je?, 128 pages.
- Durand-Dastès F., 1992, *Les modèles en géographie*. In : Bailly A., Ferras R., Pumain D. (dir). *Encyclopédie de la géographie*, Economica, pp. 311-325.
- Dureau F., 1997, Trajectoires résidentielles et recompositions urbaines à Bogota, Colombie, *Cahiers des Amériques Latine*, 1997, n° 22, pp. 181-200.
- Dureau F., Weber C., 1995, *Téledétection et systèmes d'information urbains*, Ed. Anthropos, Collection Villes, 379 pages.
- Duvernoy I, 2000, Espace agricole périurbain et politiques communales d'aménagement : l'exemple de l'agglomération albigeoise, *Cybergeo : European Journal of Geography*, n°208, mars 2002, 16 pages.
- Egal Y., 1999, Morphologie urbaine et développement durable. Favoriser la densité pour favoriser l'énergie et la pollution ?, *Villes en développement*, n° 44, pp. 2-3.
- Elliott P., Wakefield J., 2000, *Spatial Epidemiology. Methods and Applications*, Oxford University Press.
- Emangard P.H., 1993, La ville prend ses aises, *Urbanisme*, hors-série n°1, février 1993, pp. 67-70.
- Emelianoff C., 1998, *La ville durable. Etat des lieux en Europe et prospective*, Ecole Normale Supérieure de Saint-Cloud, 363 pages.
- Emshoff J.R, Sisson R.L., 1970, *Design and use of computer simulation models*, Mac Millan,
- Enaux C., 1997, *Essai de modélisation spatio-temporelle des flux de déplacements de travail*, Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg 266 pages.
- Enaux C., 1999, Délimitation du système urbain quotidien, *Revue géographique de l'Est*, n°2-2, pp. 71-78
- Estebe P., Kirszbaum T, Document non daté, *L'intercommunalité. Entre optimum territorial et pouvoir local, lecture de la littérature récente*, Etude réalisée par Acadie à la demande du Plan Urbain. Etude consultable sur le site du Ministère de l'Équipement dédié à l'urbanisme : www.urbanisme.equipement.gouv.fr.

-
- Fates N., 2001, *Les automates cellulaires : vers une nouvelle épistémologie ?* Mémoire de DEA Histoire et philosophie des sciences, Paris I Sorbonne, 79 pages.
- Faure R., 1979, 1996, *Précis de recherche opérationnelle*, Dunod, 466 pages.
- Favarger P., 1991, Le rôle des politiques dans le retournement des marchés, *Etudes foncières*, n° 53, Dec 1991, pp. 45-48.
- Feller W., 1965, *An Introduction to Probability Theory and its Applications* (2nd ed.), John Wiley & Sons, 461 pages.
- Ferber J., 1995, *Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective*, Interéditions, 522 pages.
- Ferras R., 1990, *Ville. Paraître, être à part*, GIP Reclus, 143 pages.
- Ferrier J.P., Racine J.B., Raffestin C., 1978, Vers un paradigme critique : matériaux pour un projet géographique, *L'espace géographique*, n°4, pp. 291-297.
- Feuvrier C., 1971, *La simulation des systèmes*, Ed. Dunod Universités, 152 pages.
- Fischer M.M., Leung Y. (Ed.), 2001, *Geocomputational modelling*, Springer Verlag, 275 pages.
- Fleury A., 2000, En quoi l'arrivée des urbains dans les espaces agricoles génère-t-elle de nouvelles formes de ruralité ? *Actes du colloque de l'ADEF*, 2000, pp. 25-35.
- Fleury A., Donadieu P., 1997, De l'agriculture périurbaine à l'agriculture urbaine, *Courriers de l'environnement de l'INRA*, n°31, pp. 45-61.
- FNAU, 1999, Les évolutions démographiques des aires urbaines où sont présentes les agences d'urbanisme, *Dossier FNAU*, n°3, Novembre 1999, 6 pages.
- FNAU, 2000, Après les lois Voynet, Chevènement, SRU, les réflexions de la FNAU sur le nouveau contexte territorial, *Dossier FNAU*, n°6, déc. 2000, 4 pages.
- FNAU, 2000, Une contribution de la FNAU aux réflexions sur les multiplexes cinématographiques, *Dossier FNAU*, n°5, novembre 2000, 6 pages.
- FNAU, 2001, *Atlas des aires urbaines*, Document réalisé en contribution avec la DATAR, Décembre 2001, 73 pages.
- FNAU, 2001, *Avant le sommet mondial de New-York. Une contribution de la FNAU aux réflexions sur le développement durable*, *Dossier FNAU*, n°7, 4 pages.

- FNAU, 2001, *Réussir le renouvellement urbain. Quinze maillons clefs pour la chaîne de mise en œuvre des projets*, co-édité avec la Caisse de Dépôts et Consignations, 167 pages.
- Fondi R., 1986, *La révolution organiciste. Entretien sur les nouveaux courants scientifiques*, Ed. du Labyrinthe, 288 pages.
- Foot D.H.S., 1974, *A comparison of some land-use allocation / interaction models*, Geographical papers, n°31, University of Reading, 36 pages.
- Forrester J.W., 1969, 1979, *Dynamique urbaine*, Ed. Economica, Coll. Economie publique de l'aménagement et des transports, 329 pages.
- Forrester J.W., 1980, *Principes des systèmes* (traduit par P.S. Baron), Presses Universitaires de Lyon, Coll. Science des Systèmes, 341 pages.
- Fouchier V., 1995, La densification : une comparaison internationale entre politiques contrastées, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 67, juin, 1995, pp. 95-108.
- Fouchier V., 1998, *La densité humaine nette : un indicateur d'intensité urbaine*. In : Pumain D., Mattei M.F. (coord.), 1998, *Données urbaines 2*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 181-189.
- Fouchier V., 1999, Maîtriser l'étalement urbain : une première évaluation des politiques menées dans quatre pays (Angleterre, Norvège, Pays-Bas, Hong-Kong), *2001 Plus*, n°49, septembre 1999, 59 pages.
- Fouchier V., Merlin P., 1994, *Les fortes densités urbaines : une solution pour nos villes ?*, Consulat général de France à Hong Kong, 77 pages.
- Fourcault A., 1999, La cité-jardin contre le lotissement ?, *Urbanisme*, n° 309, 1999, pp. 22-24.
- François N., Frankhauser P., Pumain D., 1995, Villes, densité et fractalité, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 67, juin 1995, pp. 55-64.
- Frankhauser P., 1994, *La fractalité des structures urbaines*, Anthropos, Coll. Villes, 291 pages.
- Gachelin C., 1993, Métropolisation : un phénomène mondial, *Urbanisme*, HS, n° 3, pp. 10-12
- Gall R.O., Gove W.R., McPherson J.M., 1972, Population density and pathology : what are the relations for man ?, *Science*, 176, pp. 23-30.
- Gallez C., Orfeuill, J.P., 1998, *Dis moi où tu habites je te dirai comment tu te déplaces*, 8 pages. In : Pumain D., Mattei M.F. (coord.), 1998, *Données urbaines 2*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 157-164.

-
- Gannon F., 1992, *Modèles de la ville et politiques urbaines optimales*, Thèse pour le doctorat de sciences économiques de l'université de Paris-X Nanterre.
- Gardner M., 1970, Mathematical games: the fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life", *Scientific American*, October 1970, pp. 120-123.
- Garner B., 1967, Models of urban geography and settlement location. In : Haggett P., Chorley R.J., 1967, *Models in Geography*, The Trinity Press, pp. 303-360.
- Gaubert P., Tutin C., 1995, Prix du sol et valeur immobilière, *Etudes foncières*, n° 67, pp. 30-35
- Gayssot J.C., 1999, Transports urbains et villes durables, *Villes en développement*, n° 44, pp. 1-1.
- Genestier P., 1996, *Vers un nouvel urbanisme. Faire la ville. Comment ? Pour qui ?*, La documentation française, 275 pages.
- Gerber P., 1999, Processus de gentrification et demande sociale citadine, *Revue géographique de l'Est*, n° 2-2, pp. 107-117.
- Ghorra-Gobin C., 1986, Mythes fondateurs des villes américaines, *Etude Foncières*, n° 31, juin 1986.
- Ghorra-Gobin C., 1997a, L'urban field américain, *Urbanisme*, n°296, sept-oct 1997.
- Ghorra-Gobin C., 1997b, *Trois hypothèses à partir de l'histoire urbaine de Los-Angeles*. In : Dubois-Taine G., Chalas Y., 1997, *La ville émergente*, Ed. de l'Aube, pp. 131-136.
- Gide A., 1895, *Paludes*, Gallimard, Folio, 160 pages.
- Giraud M., 1997, *Citadins de l'an 2000*, France Empire, Coll. Pouvoir et stratégie, 198 pages.
- Girault M., 1995, *Processus stochastiques*, Encyclopædia Universalis, Cd Rom.
- Glou E., 1993, L'impact croissant des zones d'activités dans la périurbanisation et la rurbanisation : l'exemple du seuil de l'Artois, *Hommes et terres du nord*, n° 3-4, pp. 199-210.
- Godard F., 2001, *La ville en mouvement*, Gallimard, Coll. Découverte, 128 pages.
- Goffette-Nagot F., 1998, *Les proximités, la ville et le rural*. In : Huriot J.M. (ss. Dir), 1998, *La ville ou la proximité organisée*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 173-173.
- Gonod P., Loinger G., 1997, *Méthodologie de la prospective territoriale*, Geistel, pour la Datar.

- Gorra-Gobin C. (ss. Dir.), 1994, *Penser la ville de demain. Qu'est-ce qui institue la ville ?* L'harmattan, 266 pages.
- Gould P., 1992, *Epidémiologie et maladie*. In : Bailly A., Ferras R. Pumain D., 1992, *Encyclopédie de géographie*, Chapitre 53, *Economica*, pp. 949-969.
- Grafmeyer Y., Joseph I., 1979, *L'école de Chicago. Naissance de l'écologie urbaine*, Ed. du Champ urbain, 335 pages.
- Gras P., 2001, *Eloge raisonné de la gouvernance*. In : *Urbanisme*, HS « Ere urbaine, aires urbaines. Les enjeux de la gouvernance », Actes de la XXI^{ème} rencontre des agences d'urbanisme, Hors-Série n° 14, janvier 2001, pp. 52-56.
- Grasland C., 1994, *Limites politiques et barrières migratoires : l'exemple de l'ex-Tchécoslovaquie de 1961 à 1990*. In : Gallusser W., 1994, *Political Boundaries and Coexistence*, UGI.
- Grasland C., Guérin-Pace F., 2003, *A simulation model of Euro Coins Diffusion*, Paper presented at the 13th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography, 5-9 september 2003, Lucca, Italy, 19 pages.
- Grasland C., Guérin-Pace F., Garnier B., Tostain A., 2002a, *L'euro gagne du terrain*, *Pour la science*, n° 381, pp. 10-11.
- Grasland C., Guérin-Pace F., Tostain A., 2002b, *La circulation des euros. Reflet de la circulation des hommes*, *Population et société*, INED, n° 384, 4 pages.
- Grimal P., 1954, 1996, *Les villes romaines*, Presses Universitaires de France, Coll. Que sais-je ?, 128 pages.
- Guglielmo R., 1996, *Les grandes métropoles du monde*, Armand Colin, Coll. U, 270 pages.
- Guhathakurta S., 2001, *Urban modelling as storytelling : using simulation models as narrative*, *Working paper Series*, n° 37, Centre for Advanced Spatial Analysis, 29 pages.
- Gurgel G., 1993, *La ville aujourd'hui*, Hachette, Coll. Pluriel, 224 pages.
- Guyot, 1968, *Essai d'économie urbaine*, Librairie générale de droit et de jurisprudence, R. Pichon et R. Durand-Auzias, 379 pages.
- Haeringer P., 1997, *La mégalopolisation du monde, un nouveau champ sémantique*, *Urbanisme*, n° 296, Sept-oct 1997, pp. 66-69.
- Hägerstrand T., 1967, *Innovation diffusion as a spatial process*, University of Chicago Press.

-
- Haggett P., Chorley R.J., 1967, *Models, Paradigms and the new géography*. In : Haggett P., Chorley R.J., 1967, *Models in Geography*, The Trinity Press, pp. 19-41.
- Haggett P., 1973, *L'analyse spatiale en géographie humaine*, Armand Colin, Coll. U, 390 pages.
- Haggett P., Cliff A., Frey A., 1965, 1977, *Locational analysis in human geography*, Second Edition, Edward Arnold, 605 pages.
- Halbachs M., 1928, *La population et les tracés de voies à Paris depuis un siècle*, Presses Universitaires de France, Paris.
- Hall E.T., 1978, *La dimension cachée*, Ed. du Seuil, Coll. Points, 254 pages.
- Hall P., 1966, *Les Villes mondiales* (traduit par N. Gara), Ed. Hachette, Coll. L'univers des connaissances, n° 4, 256 pages.
- Hamilton F.E.I., 1967, *Models of industrial location*. In : Haggett P., Chorley R.J., 1967, *Models in Geography*, The Trinity Press, pp. 362-424.
- Haniotou H., 1989, *La ville, objet technique*, Mémoire de DEA, UFR de géographie, Strasbourg, 55 pages.
- Harvey D., 1967, *Models of the Evolution of Spatial Patterns in Human Geography*. In : Chorley R.J., Haggett P. (ed.), 1967, *Models in Geography*, pp. 549-608.
- Haton J.P, Haton M.C., 1993, 1989, *L'intelligence artificielle*, Presses Universitaires de France, Coll. Que-sais-je ?, 128 pages.
- Haugeland J., 1985, *Artificial Intelligence: The Very Idea*. Bradford Books, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Helvig M., 1964, *Chicago's external Truck Movements : Spatial Interactions between the Chicago Area and its Hinterland*, University of Chicago, Department of Geography, Research paper n° 90, 132 pages.
- Herzog R. H, 1999, *Tranquility and preference revisited*, *Journal of Environmental Psychology*, n° 19, pp. 171-181.
- Huriot J.M. (ss.dir), 1998, *La ville ou la proximité organisée*, Anthropos, Coll. Villes, 237 pages.
- INRETS, 1989, *Un milliard de déplacements par semaine. La mobilité des français*, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, La Documentation française, 293 pages.

Bibliographie

- INSEE, 1996, Migrations en Franche-Comté (départs et arrivée par départements et zone d'emploi), *Les dossiers INSEE Franche-Comté*, n° 5, octobre 1996, 54 pages.
- INSEE, 1999, Belfort structure son territoire, *L'essentiel* (INSEE Franche-Comté), n° 26, mars 1999, 4 pages.
- INSEE, 1999, Portrait du Territoire de Belfort, *Les dossiers INSEE Franche-Comté*, n° 10, juillet 1999, 54 pages.
- INSEE, 1999, Premiers résultats estimés du recensement de la population de 1999 en Franche Comté, *L'essentiel* (INSEE Franche-Comté), n° 28, juillet 1999, 4 pages.
- Isnard H., 1981, *Une problématique empiriste de la géographie*, 69 pages. In : Isnard H., Racine J.B., Reymond H., 1981, *Problématiques de la géographie*, Presses Universitaires de France, Coll. Le Géographe, pp. 15-83.
- Isnard H., Racine J.B., Reymond H., 1981, *Problématiques de la géographie*, Presses Universitaires de France, Coll. Le géographe, 262 pages.
- Jacinto Rodrigues A., 1973, *Urbanisme et révolution*, Ed. Universitaires, 148 pages.
- Jaillet M.C. 1993 La ville au seuil d'elle-même, *Urbanisme HS*, n° 3, pp. 8-9.
- Jaillet M.C., 1981, *La production de la maison individuelle dans la région toulousaine*, Thèse de troisième cycle, Université de Toulouse II, 460 pages.
- Jalabert G., Kayser B., Laborie J.P., 1984, Espace périurbain : une modélisation, *Etudes foncières*, n° 25, Dec 1984, pp. 20-23.
- Jarosson B., 1992, Le quatuor des épistémologues, *Science et avenir*, n° 549, pp. 78-81
- Jean G., 1994, *Voyages en utopies*, Gallimard, Coll. Découvertes, 176 pages.
- Jen E., 1990, A periodicity in one-dimensional cellular automata, *Physica D*, n°45, pp. 3-18.
- Joly F., 1985, 1994, *La cartographie*, Presses Universitaires de France, Coll. Que-sais-je ?, 128 pages.
- Julien P., 2001, Les grandes villes françaises étendent leur influence, *INSEE Première*, n° 766, avril 2001, 4 pages.
- Jung J., 2000, *Le travail. Introduction, choix de textes, commentaires, Vade-mecum et bibliographie*, GF Flammarion, Coll. Corpus, 256 pages.

-
- Jungk R., 1974, *Pari sur l'homme*, Laffont, 292 pages.
- Kail M., Lambert J., Quinet E., 2000, Rationalité économique et bruit des transports, *Futuribles*, n° 256, pp. 23-38.
- Kauffmann V., Jemelin C, Guidez J.M., 2001, *Automobile et modes de vie urbains : quel degré de liberté ?* Le documentation française, 167 pages.
- Kemeny J.G., Snell J.L., Thompson G.L., 1956, 1969, *Algèbre moderne et activités humaines (Introduction to finite mathematics)*, 2nd ed.), Dunod, 421 pages.
- Koestler A., 1968, *Le cheval dans la locomotive. Le paradoxe humain*. Ed. Calmann-Lévy, Coll. Génie et folie de l'homme, 345 pages.
- Kreweras G., 1972, *Graphes, chaînes de Markov et quelques applications économiques*, Dalloz, 152 pages.
- Kurzweil R., 1990, *The Age of Intelligent Machines*, MIT Press, 565 pages.
- L'Hostis A., 1996, Transports et aménagement du territoire : cartographie par images de synthèse d'une métrique réseau, *Mappemonde*, n° 3, 1996, pp. 37-43.
- Laaribi A., 2000, *SIG et analyse multicritère*. Ed. Hermès, 190 pages.
- Laborit H., 1968, *Biologie et structure*, Gallimard, 190 pages.
- Laborit H., 1971, *L'homme et la ville*, Flammarion, Coll. Champs, 217 pages.
- Laborit H., 1974, 2000, *La nouvelle grille*, Gallimard, Folio Essais, 346 pages
- Laborit H., 1976, *Eloge de la fuite*, Robert Laffont, 186 pages.
- Lacoste Y., 1990, *Paysages politiques*, Librairie générale française - Livre de Poche, Biblio Essais, 234 pages.
- Lacour C., 1998, *Territoires et proximité urbaine*, Huriot J.M. (ss. Dir), 1998, La ville ou la proximité organisée, *Anthropos*, Coll. Villes, pp. 157-158.
- Lajoie G., 1992, *Le carroyage des informations urbaines. Une nouvelle forme de banque de données sur l'environnement du grand Rouen*, Publication de l'Université de Rouen, Coll. Nouvelle donne en géographie, Rouen, 238 pages.
- Lajoie G., Landa P., Langlois P., 1993, Une chaîne de programmes pour la gestion des carroyages dans SIGUR (Système d'information géographique de l'université de Rouen), *L'espace géographique / Théo Quant*, Sixième colloque européen de

- géographie théorique et quantitative « Systèmes d'information géographique et systèmes experts », pp. 11-23.
- Landrieu J., 1990, Le périurbain en sursis, *Nouvelles de l'observatoire*, n°25, juin 1990, Supplément à Diagonal, n°81, pp. 2-4.
- Langlois A., Phipps M., 1997, *Automates cellulaires. Applications à la simulation urbaine*, Ed. Hermès, 197 pages.
- Lannoy P., 1996, *Le village périphérique. Un autre visage de la banlieue. Spatialisation du quotidien et représentations sociales*, L'harmattan, Coll. Villes et entreprises, 217 pages.
- Larcher G., 1998, *La gestion des espaces périurbains*, Rapport d'information 415, Commission des affaires économiques au plan, 112 pages. Consultable à l'adresse : www.senat.fr.
- Lardon S., Libourel T., Cheylan J.P., 1999, Concevoir la dynamique des entités spatio-temporelles, *Revue Internationale de Géomatique*, Vol. 9, n°1/1999, pp. 45-65.
- Largeault J., 1993, *La logique*, Presses Universitaires de France, Coll. Que sais-je ? 128 pages.
- Laville A., 1976, *L'ergonomie*, Presses universitaires de France, Coll. Que-sais-je ?, 128 pages.
- Lazlo E., 1997, *Les défis du troisième millénaire*, Village mondial, 160 pages.
- Le Bras H., 1995, La densité a-t-elle une influence sur les comportements sociaux ? *Les annales de la recherche urbaine*, n° 67, pp. 15-22.
- Le Corbusier, 1923, 1995, *Vers une architecture*, Flammarion, Coll. Champ, 253 pages.
- Le Corbusier, 1925, 1994, *Urbanisme*, Flammarion, Coll. Champ, 295 pages.
- Le Corbusier, 1941, 1957, *La charte d'Athènes suivi de Entretien avec les étudiants des écoles d'architecture*, Editions de Minuit, 189 pages.
- Le Couedic D., 1993, Recréer une cohérence de la ville, *Urbanisme*, HS, n° 1, Fev 1993, pp. 71-72.
- Le Gléau J.P, Pumain D., Saint-Julien T., 1996, Villes d'Europe : à chaque pays sa définition, *Economie et statistique*, n°294-295, 1996 - 4/5, pp. 9-23.
- Le Goff J. (ss. dir.), 1980, 1998, *La ville en France au Moyen Age*, Seuil Histoire, Coll. Histoire de la France urbaine, Tome 2, 677 pages.

-
- Le Goff J.P., 2002, *La démocratie post-totalitaire*, La découverte, 202 pages.
- Le Goix R., 2001, Les communautés fermées dans les villes des Etats-unis. Aspects géographiques d'une sécession urbaine, *L'Espace géographique*, 2001, vol. 30, n°1, pp. 81-93.
- Le Goix R., 2002, Les gated communities à Los Angeles : morceaux de ville ou territoires à part entière, *Festival International de la Géographie*, Saint-Dié, 5 octobre 2002, n°4, pp. 328-344.
- Le Jeannic T. 1996 Une nouvelle approche territoriale de la ville, *Economie et statistique*, n° 307, pp. 25-45.
- Le Jeannic T., 1996, *Migrations et croissance urbaine*. In : Pumain D., Godard F., 1996, Données urbaines, Anthropos, Coll. Villes, pp. 319-331.
- Le Jeannic T., 1996, Une nouvelle approche territoriale de la ville, *Economie et statistique*, n° 294-295, pp. 25-44.
- Le Jeannic T., 1997, Trente ans de périurbanisation : extension et dilution des villes, *Economie et statistique*, n°307, juillet 1997, pp. 21-41.
- Le Jeannic T., Vidalenc J., 1997, Pôles urbains et périurbanisation. Le zonage en aires urbaines, *INSEE Première*, n° 516, avril 1997.
- Lebrusque et al., 1995, *La machine-outil*, Encyclopédie Universaelis, CD-Rom.
- Lefebvre H., 1968, *Le droit à la ville*, Ed. Anthropos, 164 pages.
- Lefebvre H., 1970, *La révolution urbaine*, Ed. Gallimard, 248 pages.
- Lefebvre H., 1974, 1981, *La Production de l'espace*, Ed. Anthropos, 486 pages.
- Lefranc, 1957, *Histoire du travail et des travailleurs*, Flammarion, 491 pages.
- Legrain D., 1997, 2000, *Le conservatoire du littoral*, Actes-Sud, 112 pages.
- Lelièvre E., Levy-Vroelant C., 1992, *La ville en mouvement : habitat et habitants*, L'harmattan, 357 pages.
- Lepetit B., 1993, *Une herméneutique urbain est-elle possible ?* Lepetit B., Pumain D., 1993, Temporalités urbaines Anthropos, pp. 287-299.
- Lescure R., Nogier A., Tourjansky-Cabart L., 1997, Une évaluation économique de la pollution atmosphérique, *Economie et statistique*, n°307, juillet 1997, pp. 3-20.

Bibliographie

- Lévy A., 1996, *La composition urbaine : un savoir faire en crise*. In : Genestier P., 1996, *Vers un nouvel urbanisme. Faire la Ville, comment? pour qui?*, La documentation française, pp. 225-238.
- Lévy A., 1997, *La troisième ville*, *Urbanisme*, n° 296, Sept-oct 1997, pp. 74-75.
- Lévy A., 1997, *La ville de l'âge démocratique*, *Urbanisme*, n° 296, Sept-oct 1997, pp. 89-90.
- Lévy J., 1997, *La mesure de l'urbanité*, *Urbanisme*, n° 296, Sept-oct 1997, pp. 58-61.
- Lévy J., Lussault A. (ss.dir.), 2003, *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Ed. Belin, 1037 pages.
- Lévy J.P., 1993, *L'habitat influe-t-il sur la mobilité ?*, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 59-60, Juin-sept 1993, pp. 32-43.
- Lévy P., 1981, 1997, *L'intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace*, La découverte, Coll. Sciences humaines et sociales, 246 pages.
- Liard J.J., 1985, *La pratique du POS décentralisé*, Edition du Moniteur, 175 pages.
- Liebherr A., 1998, *Les impacts A16 sur le patrimoine naturel et les mesures de comportement écologique*, Département de l'environnement et de l'équipement (Suisse), Service national des Ponts et Chaussées, 47 pages.
- Lösch A., 1954, *The Economics of Location*, New Haven.
- Luger G.F., Stubbelfield W.A., 1993, *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*, Benjamin Cummings.
- Lusson P., 1997, *L'étalement de la ville : constats et analyse*. In : Dubois-Taine G., Chalas Y., 1997, *La ville émergente*, Ed. de l'Aube, pp. 43-53.
- Mach E., 1942, *The science of Mechanics*, La Salle, Illinois.
- Madoré F., 2001, *Les pratiques d'achat dans la ville contemporaine. Mobilités et appartenances territoriales*, 9 pages. In : *Les annales de la recherche urbaine*, n° 90, Septembre 2001, pp. 58-66.
- Maffesoli M., 1988, *Le temps des tribus. Le déclin de l'individualisme dans les sociétés de masse*, Méridiens - Livre de Poche, Biblio Essais, 284 pages.
- Malisz B., 1966, *La formation des systèmes d'habitat. Esquisse de la théorie des seuils*, Dunod.

-
- Mangin D., Panerai P., 1988, *Le temps de la ville. L'économie raisonnée des tracés urbains*, Rapport de Recherche LADRHAUS, Ecole d'Architecture de Versailles.
- Marchetti C., 1991, Voyager dans le temps. Considérations pour une meilleure exploitation de la liaison fixe, *Futuribles*, n° 156, juillet-août 1991, pp. 19-29.
- Marconis R., 1996, *Introduction à la géographie*, Armand Colin, Coll. U, 221 pages.
- Mathieu N., 1998, La notion du rural et les rapports ville-campagne en France : les années 1990, *Economie rurale*, n°247, pp. 11-20.
- Maury J.P., 1990, *Newton et la mécanique céleste*, Gallimard, Coll. Découverte, 144 pages.
- Mazureck. H, Dayre. P , 1988, Analyse de l'utilisation du sol par la méthode du carroyage : district urbain de Montpellier, *Mappemonde*, 1988, n°3, pp. 27-30.
- Meadows P., 1957, *Models, Systems and Science*. In : Freudenthal H. (ed.), 1961, *The concept and the Role of the Model in Mathematics and Natural Social Science*, pp. 125-132.
- Meinig D.W., 1962, A comparative historical Geography of two Railnets : Columbia Basin and South Australia. In : *Annals of the Association of American Geographers*, n° 52, pp. 394-413.
- Meinke D., 1970, Gravitations und Potentialmodelle. In : *Adwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung*, Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Gebrüder Jänecke Verlag, Vol. 1, pp. 1048-1060.
- Memin J., Crepel P., Raugi A., 1995, *Théorie des martingales*, Encyclopædia Universalis, CD Rom.
- Mercier (coord.) et al., 1997, *L'étalement urbain, une dynamique géographique de valorisation culturelle, politique et économique*, Coopération France-Québec, 1995-1997, www.celat.ulaval.ca (université de Laval, Canada).
- Merenne-Schoumaker B., 1981, *La localisation des industries en milieu urbain*, Conférence du 6 mai 1981, Université de Fribourg, Suisse, 15 pages.
- Merenne-Schoumaker, 1974, Eléments entrant concrètement en compte pour le choix d'une localisation, *Localisation des entreprises et développement régional*, 1^{er} congrès des économistes belges de langue française, Charleroi, 13-14 décembre 1974, Rapports préparatoires, pp. 1-22.
- Merlin P., Choay F., 1996, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. Deuxième édition, Presses Universitaires de France, 952 pages.
- Merlin, 1998, *L'urbanisme*, Presses Universitaires de France, Coll. Que-sais-je ?, 128 pages.

- Mesnard A.H., 1991, Prévoir et gérer le développement urbain, *Territoires*, n° 318, mai 1991, pp. 41-44.
- Meyer A.M., 1999, *Densités urbaines : modélisation, représentations cartographiques et dynamiques temporelles*, Mémoire de DEA, Université Louis Pasteur de Strasbourg, UFR de géographie, 183 pages.
- Ministère de l'intérieur, 2002, *Communiqué du Ministère de l'intérieur relatif au troisième bilan d'application de la loi du 12 juillet 1999 relative au renforcement et à la simplification de la coopération intercommunale*, Direction générale des collectivités locales, 11 février 2002, 13 pages.
- Moch A., Bordas F., Hermand D., 1995, Approche psychosociale de la densité, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 67, juin 1995, pp. 119-127.
- Monkonner E., 1988, *The development of US cities and towns, 1780, 1980*, University of California Press, Los Angeles.
- Monmonier M.S., 1982, *Computer-assisted cartography. Principles and Prospects*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- Monnet J., 1997, Pitié pour les grandes villes ! Big Cities Blues : myth or reality?, *CyberGeo : European Journal of Geography*, n°16, fév. 1997, 3 pages.
(<http://www.cybergegeo.presse.fr>).
- Montigny G., 1992, *De la ville à l'urbanisation*, L'harmattan, Coll. Villes et entreprises, 376 pages.
- Montmollin (de) M., 1967, *Les systèmes hommes-machines. Introduction à l'ergonomie*, Thèse pour le doctorat d'université, Presses universitaires de France, 248 pages.
- Moriconi-Ebrard F., 1993, *L'urbanisation du monde depuis 1950*, Ed. Anthropos, 372 pages.
- Moriconi-Ebrard F., 1994, *Pour comparer les villes du monde. Geopolis*, Ed. Anthropos, Coll. Villes, 246 pages.
- Morin E. 1977, *La méthode I : la nature de la Nature*, Ed. du Seuil, 398 pages.
- Morris A.E.J., 1974, 1979, *History of urban form. Before the industrial revolutions*, Second Edition, George Godwin Limited, 432 pages.
- Mosser M., Nys P., 1995, *Le jardin, art et lieu de mémoire*, Imprimeur, 551 pages.
- Mumford, L., 1961, 1964, *La cité à travers l'histoire*, Seuil, 777 pages.

-
- Murray J.D., Van Ryper W., 1994, *Encyclopedia of graphic file formats*, O'Reilly and associates, 894 pages.
- Nancy J.L., 1999, *La ville au loin*, Mille et une nuits, Coll. La ville entière, 69 pages.
- Neumann (von) J., 1963, *The General and Logical Theory of Automata*, *Collected Work*, n° 5, Taub, A.H.
- Nicolas J.P., 1997, *Mobilité, congestion, technologie : les paramètres du trafic routier affectant le niveau de pollution atmosphérique en milieu urbain*, *Actes du colloque de l'ATEC, Mobilité dans un environnement durable*, Presse de l'Ecole des Ponts et Chaussées, pp. 71-83.
- Nicot B.H., 1996, *La périurbanisation dans les zones de peuplement industriel et urbain*, 11 pages. In : Pumain D., Godard F. (coord.), 1996, *Données urbaines*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 289-299.
- Norris J.R., 1997, *Markov Chains*, Cambridge University Press, Cambridge series in Statistical and probabilistic Mathematics, 237 pages.
- Noulin M., 1992, *Ergonomie*, Techniplus, 197 pages.
- O'Sullivan D., Torrens P., 2000, *Cellular models of urban systems*, *Working paper Series*, n°22, Centre for Advanced Spatial Analysis, 11 pages.
- OCDE, 1995, *La pollution des véhicules à moteur. Stratégie de réduction au-delà de 2010*, Paris, 48 pages.
- OFEFP (Office fédéral de l'environnement, des forêts et des paysages), 2001, *Les corridors faunistiques en Suisse. Bases pour la mise en réseau suprarégionale des habitats*, *Cahiers de l'environnement*, n° 326, 120 pages.
- Offener J.M., 1996, *La ville au risque des réseaux urbains*. In : Genestier P., 1996, *Vers un nouvel urbanisme. Faire la Ville, comment? pour qui?*, La documentation française, pp. 139-147.
- Orfeuil J.P., 1992, *Structural changes in population and impact on passenger transport*, 60 pages. In : *ECMT Round Table 88*, OECD, pp. 43-102.
- Orfeuil J.P., 1994, *Je suis l'automobile*, Ed. de l'Aube, Coll. Monde en cours, 95 pages.
- Orfeuil J.P., 1996, *La mobilité urbaine, son coût, ses modalités de financement*. In : Pumain D., Godard F., 1996, *Données urbaines*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 187-197.
- Oriol O., 1993, *Reformaliser la ville*, *Urbanisme*, HS, n° 3, pp. 14-15.

Bibliographie

- Ortese A.M., 1991, 1999, *Le murmure de Paris*, Mille et une nuits, Coll. La ville entière, 61 pages.
- Paelinck J.H.P., 1992, *Une axiomatique économique de l'espace géographique*. In : Bailly A., Ferras R., Pumain D. (ss. dir.), 1992, *Encyclopédie géographique*, Ed. Economica, pp. 639-644.
- Paquot T., 1996, *L'utopie ou l'idéal piégé*, Ed. Hatier, Coll. Optique Philosophie, 79 pages.
- Pellaumail J., 1992, *Graphes, simulations, L-matrices*, Ed. Hermès, 335 pages.
- Pelletier J., Delfante C., 1997, *Villes et urbanisme dans le monde*, Armand Collin, Masson, 199 pages.
- Pernot J.P., 1997, Pour un "urbanisme rural". In : Dubois-Taine G., Chalas Y., 1997, *La ville émergente*, Ed. de l'Aube, pp. 113-114.
- Péron R., 2001, Le près et le proche. Les formes recomposées de la proximité commerciale, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 90, Septembre 2001, pp. 47-57.
- Pétolat P., 1994, *Structure des coûts d'une maison individuelle*, *Etudes foncières*, n° 63, juin 1994, pp. 20-23.
- Picon A., 1997, Temps des professions et temps des trajets. In : Obadia A., 1997, *Entreprendre la Ville. Nouvelles temporalités, nouveaux services*, Ed. de l'Aube, pp. 72-77.
- Picon A., 1998, Le temps du cyborg dans la ville, *Les Annales de la recherche urbaine*, n° 77, dec. 1997, pp. 72-77.
- Piganiol P., Russo F., 1995, *Prospective et futurologie*, Encyclopédie Universaelis, CD-Rom.
- Pinchemel P., Pinchemel G., 1988, 1997, *La face de la Terre*, Armand Colin, Coll. U, 517 pages.
- Pinol J.L., 1991, *Le monde des villes au 19^{ème} siècle*, Ed. Hachette, 230 pages.
- Piron O., 1997, Postface. In : Dubois-Taine G., Chalas Y., 1997, *La ville émergente*, Ed. de l'Aube, pp. 271-278.
- Popper R.K., 1968, 1989, *La logique de la découverte scientifique*, Payot, Coll. Bibliothèque scientifique, 480 pages.
- Popper R.K., Condry J., 1994, 1996, *La télévision : un danger pour la démocratie*, 10-18, Coll. Bibliothèques, 93 pages.

-
- Pornon H., 1990, *Systèmes d'information géographique : des concepts aux réalisations*, Service technique de l'urbanisme, Ed. Hermès, 112 pages.
- Préel B., 1994, *La ville à venir. Habitat, technologie, environnement*, Descartes et Cie, 268 pages.
- Preel B., 1996, *Modes de vie dans sept métropoles européennes*. In : Pumain D., Godard F., 1996, *Données urbaines I*, Ed. Anthropos-Economica, pp. 91-99.
- Preteceille E., 1973, *La Production des grands ensembles*, Ed. de l'EHESS, 170 pages.
- Prigogine I., 1980, *Physique, temps et devenir*, Ed. Masson, 275 pages.
- Prigogine I., 1996, *La fin des certitudes*, Odile Jacob, 224 pages.
- Prigogine I., Stengers I., 1979, *La nouvelle alliance*, Gallimard, 439 pages.
- Prost B., 1994, *L'agriculture périurbaine : analyse d'une marginalité*, *Bulletin de l'association des géographes français*, n°2, pp. 114-151.
- Pumain D., 1993, *Poursuivre une démarche scientifique*. In : Lepetit B., Pumain D., 1993, *Temporalités urbaines*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 281-286.
- Pumain D., 1996, *Théoriser la ville*. In : Derycke P.H., Huriot J.H., Pumain D., 1996, *Penser la ville. Théories et modèles*, Ed. Anthropos, Coll. Villes, pp. 138-149.
- Pumain D., 2001, *Villes, agents et acteurs en géographie*, *Revue européenne des sciences sociales*. Tome XXXIX, n°121, 81-93.
- Pumain D., Bretagnolle A., Degorge-Lavagne M., 1999, *La ville et la croissance urbaine dans l'espace-temps*, *Mappemonde*, n° 55, pp. 38-42.
- Pumain D., Saint-Julien T., 1978, *Les dimensions du changement urbain*, Centre National de la Recherche Scientifique, 202 pages.
- Pumain D., Saint-Julien T., 1982, *La dynamique des villes*, Ed. Economica, 230 pages.
- Pumain D., Saint-Julien T., 1997, *L'analyse spatiale. 1. Localisations dans l'espace*, Armand Colin/Masson, 167 pages.
- Pumain D., Saint-Julien T., Sanders L., 1984, *Vers une modélisation de la dynamique intra-urbaine*, *L'espace géographique*, n°2, pp. 125-135.
- Pumain D., Sanders L., Saint-Julien T., 1989, *Villes et auto-organisation*, Ed. Economica, 191 pages.

- Putman S.H., 1979, *Urban residential location models*, Martinus Nijhoff Publishing.
- Querrien A., Lassave P., 2001, Les seuils du proche, *Les annales de la recherche urbaine*, n° 90, Septembre 2001, pp. 3-5.
- Racine J.B., 1967, Exurbanisation et métamorphisme péri-urbain. Introduction à l'étude de la croissance du grand Montréal, *Revue de géographie de Montréal*, n° 22, pp. 313-341.
- Raffestin C., Lévy B., 1998, *Epistémologie de la géographie humaine* In : Bailly A. et al., 1998, Les concepts de la géographie humaine, Armand Colin, Coll. U, pp. 25-36.
- Ragon M., 1963, *Où vivrons-nous demain ?* Ed. Robert Laffont, 214 pages.
- Ragon M., 1965, *Les visionnaires de l'architecture*, Ed. Robert Laffont, 131 pages.
- Ragon M., 1968, *La cité de l'an 2000*, Casterman, Tournai, 189 pages.
- Ragon M., 1975, 1995, *L'homme et les villes*, Albin Michel, 219 pages.
- Ragon M., *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes, 1800-1991*, 3 tomes, Ed. du Seuil, 374, 348 et 402 pages.
- Ragon, M., 1966, *Les cités de l'avenir*, Planète, 251 pages.
- Rallet A. 1998, *Proximité urbaine et information*, 11 pages. In : Huriot J.M. (ss.dir), 1998, La ville ou la proximité organisée, Anthropos, Coll. Villes, pp. 103-113.
- Ramoneda J., 1994, *Qu'est-ce que la ville?* In : Dethier J., Guiheux A. (ss. Dir.), 1994, La ville, art et architecture en Europe, Centre Georges Pompidou, pp. 14-17.
- RARE, ADEME, 2001, *Déplacements professionnels : une nouvelle voie pour l'entreprise. Plans de Déplacements Entreprise*, 6 pages.
- Rasmussen J., 1986, *Information processing and human-machine interaction : an approach to cognitive engineering*, North-Holland.
- Raux C., 1993, *Centralité, polynucléarité et étalement urbain : application au cas de l'agglomération lyonnaise*. In : Bussière Y., Bonnafous A. (ss. dir.), 1993, *Transport et Etalement Urbain : les Enjeux*, éditions du PPSH, Lyon, 1993, pp. 75-98.
- Raux C., Lhomet E., Masson S., 1996, Un modèle stratégique de simulation des déplacements urbains, 13 pages. In : *Recherche Transport Sécurité*, n° 52, pp. 31-43.

-
- Ravenstein E.G. , 1885, 1989, The laws of migration, *Journal of the Royal Statistical Society*, 48, pp. 241-305.
- Reclus E., 1998 (réed.), *L'homme et la terre*, Introduction et choix de textes de Béatrice Giblin, La Découverte, Coll. Sciences humaines et sociales, 398 pages.
- Rémy J., 1966, *La ville : phénomène économique*, Ed. Vie ouvrière, 298 pages.
- Remy J., 1997, Le réseau aréolaire, *Urbanisme*, n° 256, Sept-oct 1997.
- Remy J., Voye L., 1992, *La ville : vers une nouvelle définition*, L'harmattan, Coll. Villes et entreprises, 174 pages.
- Reymond H., 1978, *Géochorotaxologie et praxéologie projectuelle*, Recherches géographiques à Strasbourg, n° 2.
- Reymond H., 1981, L'ouverture informatique en géographie urbaine : de l'analyse multivariée socio-économique à la simulation organique des systèmes urbains, *Informatique et sciences humaines*, n° 50, pp. 9-20.
- Reymond H., 1981, *Une problématique théorique de la géographie : plaidoyer pour une chorotaxie expérimentale*, 87 pages. In : Isnard H., Racine J.B., Reymond H., 1981, *Problématiques de la géographie*, Presses Universitaires de France, Coll. Le Géographe, pp. 163-249.
- Reymond H., 1994, Défense et illustration d'une géographie didactique universitaire, *L'espace géographique*, n°1, pp. 3-21 et 33-36.
- Reymond H., Cauvin C., Kleinschmager R. (coord.), 1998, *L'espace géographique des villes. Pour une synergie multistrate*, Ahthropos, Coll. Villes, 557 pages.
- Rich D.C., 1980, *Potential models in human geography*, Concept and technique in modern geography, n° 26, 38 pages.
- Ricoeur, 1995, *Aliénation*, Encyclopédie Universaelis, CD Rom.
- Rimbert S., 1995, *Carto-graphies*, Ed. Hermès, Série Géographie assistée par ordinateur, 176 pages.
- Robinson M.R., 1998, *Methods and techniques in human geography*, John Wiley & Sons, 572 pages.
- Rodriguez-Bachiller A., 1986, Discontiguous urban growth and the new urban economics : a review, *Urban studies*, n°2, 1986, pp. 79-104.
- Roncayolo M., 1990, *La ville et ses territoires*, Folio Poche, 273 pages.

- Roncayolo M., 1994, *Mutations de l'espace urbain. La structure nouvelle du Paris haussmannien*. In : Dethier J., Guiheux A. (ss. Dir.), 1994, *La ville, art et architecture en Europe*, Centre Georges Pompidou, pp. 57-59.
- Rougerie G., Beroutchavili N., 1991, *Géosystème et paysage*, Armand Colin, Coll. U, 302 pages.
- Roussel F.X., 1997, *La ville renouvelée*, *Urbanisme*, n° 296, Sept-oct 1997, p. 75-76.
- Rousselet C., 1998, *Calibrage du modèle de potentiel aux images de télédétection. Applications urbaines et régionales*, Mémoire de licence, Université de Liège, Faculté des Sciences, Sciences géographiques, 90 pages.
- Roux J.M., 1983, *La ville archipel. Un effet de l'habitat individuel*, *Urbanisme*, n° 199, pp. 3-4.
- Roux J.M., 1997, *Les aventures de la rurbanisation*, *Urbanisme*, n° 296, Sept-oct 1997, pp. 73-74.
- Roux M., 1999, *L'héritage des Trente Glorieuses*, *Urbanisme*, n° 309 nov-déc. 1999, pp. 98-101.
- Rouxel F., Rist D., 2001, *Le développement durable. Approche méthodologique dans les diagnostics territoriaux*, Rapport FNAU/Certu, 143 pages.
- Sallez A., 1996, *L'imaginaire des projets urbains*. In : Derycke P.H., Huriot J.H., Pumain D., 1996, *Penser la ville, théories et modèles*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 173-199.
- Sanders L., 1992, *Systèmes de villes et synergétique*, Ed. Anthropos, Coll. Villes, 274 pages.
- Sanders L., 1993, *Modèles de la dynamique urbaine : une représentation critique*. In : Lepetit B., Pumain D. (ss. dir.), 1993, *Temporalités urbaines*, Ed. Anthropos, Coll. Villes.
- Sansot P., 1996, *Poétique de la ville*, Armand Colin, 422 pages.
- Sapoval B., 1997, *Universalités et fractales*, Flammarion, Coll. Champs, 275 pages.
- Sassen S., 1997, *La ville globale*, *Urbanisme*, n° 296, Sept-oct 1997, pp. 85-87.
- Schnell L., 2000, *Mise en place et évaluation d'une base de données 3D sur l'emprise de la communauté urbaine de Strasbourg*, Mémoire de DESS, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 59 pages.
- Schouler G., Filbert P., 1979, *Géographie du Territoire de Belfort*, sans éditeur, 416 pages.
- Schwartzman S., 1994, *The words of Mathematics*, The Mathematical Association of America, 262 pages.

-
- SEGESA, 1994, *Entre ville et Campagne : les espaces périurbains*, 97 pages.
- Shen Z., Kawakami M., Kishimoto K., 2002, Study on the development of an online design collaboration system for public participation. A case study of public park planning and design, *Proceedings of the 6th Conference on design and decision support system in urban planning*, Ellecom, The Netherlands, July 7-10, 2002, pp. 224-239.
- Sheppard E.S., 1979, Geographic potentials, *Annals of the association of american geographers*, n° 3, Vol 69, pp. 438-447.
- Sheppard E.S., 1979, Gravity Parameter Estimation, *Geographical Analysis*, vol. 11, n°2, april 1979, pp. 120-132.
- Simard M., 1997, L'étalement urbain : un choix de société, *Routes et transports*, n°26-4, pp. 7-15.
- Simondon G., 1969, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier-Montaigne, 269 pages.
- Singleton T., 1971, *Psychological aspects of Man-Machine Systems*. In : Warr P.B., 1971, *Psychology at Work*, Penguin Education, pp. 97-120.
- Skilling H., 1964, An operational view. In : *American Scientist*, n° 52, pp. 388-396.
- Slak M.F., Vivière J.L., 2000, Vers une modélisation du mitage. Périurbanisation et agriculture, *Etudes Foncières*, n°85, hiver 1999-2000, pp. 33-38.
- Smith A., 1776, 1997, *La richesse des nations (Recherche sur la nature et les causes de la richesse des nations)*, Flammarion, 531 pages.
- Souchard N., 2000, *L'agriculture périurbaine : nouvelle scène pour l'agriculture et nouveaux rôles pour les collectivités locales ?*, Colloque de l'association des ruralistes français, 15-27 octobre 2000, Toulouse, pp. 158-162.
- Stea D. et Downs R. M., 1977, *Maps in minds. Reflections on cognitive mapping*, Harper & Row, Series in Geography, 284 pages.
- Steinberg J., 1990, Le développement périurbain est il inédit et spécifique ? *Villes parallèles*, n° 15-16, pp. 100-109.
- Steinberg J., 1991, Les formes de périurbanisation et leur dynamique, *La périurbanisation en France*, SEDES, pp. 59-85.
- Stewart J.Q., Wantz W., 1949, Some parameters of the geographical distribution of population, *Geographical review*.

- Stouffer S.A., 1940, Intervening Opportunities : A theory relating to Mobility and Distance, *American Sociological Review*, V, n°6, pp. 845-867.
- Stouffer S.A., 1960, Intervening opportunities and competing migrants, *Journal of regional science*, n°2, pp. 1-26.
- Stouffs R., Tuncer B., Sariyildiz S, 2002, WoonWerf.nl revisited : the potential of web-based design communication with future clients. In : *Proceedings of the 6th Conference on design and decision support system in urban planning*, Ellecom, The Netherlands, July 7-10, 2002, pp. 240-250.
- Suire M., Laruelle N. , document non daté, *Coopération intercommunale. Note bibliographique*, Etude réalisée par Tetra à la demande du centre de documentation de l'Urbanisme (CDU). Etude consultable sur le site du Ministère de l'Équipement dédié à l'urbanisme : www.urbanisme.equipement.gouv.fr
- Surowiec C., Minvielle E., 2002, *La couverture des aires urbaines par les périmètres de transports urbains : le cas de 29 aires urbaines*, Note de synthèse du service économique et statistique de la direction des affaires économiques et internationales, mai-juin 2002, 6 pages.
- Symes M., 1994, *De la ville industrielle à l'agglomération polycentrique*. In : Gorra-Gobin C. (ss. Dir.), 1994, *Penser la ville de demain. Qu'est-ce qui institue la ville ?* L'harmattan, pp. 83-86.
- SYTRAL, 1997, *Le plan de déplacement urbain de l'agglomération lyonnaise*, Projet arrêté le 31 janvier 1997, 101 pages.
- Szegö J., 1994, *Mapping hidden dimensions of the urban scene*, Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden, 266 pages.
- Tabourin E., 1995, Les formes de l'étalement urbain. La logique du modèle de Bussière appliquée à l'agglomération lyonnaise, *Les annales de la Recherche urbaine*, Densités et espacements, n°67, juin, 1995, pp. 32-42.
- Taffin C., 1987, L'accession à tout prix, *Economie et statistique*, n° 202, pp. 5-15.
- Talbot J., 2001, Les déplacements domicile-travail : de plus en plus d'actifs travaillent loin de chez eux, *INSEE Première*, n° 767, avril 2001, 4 pages.
- Theriault M., Claramunt C., 1999, La représentation du temps et des processus dans les SIG : une nécessité pour la recherche interdisciplinaire, *Revue Internationale de Géomatique*, Vol. 9, n°1/1999, pp. 67-99.
- Thom R., 1991, 1993, *Prédire n'est pas expliquer*, Flammarion, Coll. Champs, 176 pages.

-
- Thompson B., 1993, Sprawl is like the weather, *Planning Commissioners Journal* (www.plannersweb.com), Issue 11, summer 1993, p. 20.
- Thompson W., 1965, *A preface to urban economics*, Ed. J. Hopkins, Baltimore, 419 pages.
- Tobler W. R., 1967, Of maps and matrices, *Journal of regional Sciences* (sup.), Vol. 7, n°2, pp. 275-280.
- Tobler W. R., 1979, *Cellular geography*. In : Gale S., Olsson G, 1979, *Philosophy in geography*, Reidel Pub., Dordrecht, Holland, pp. 379-386.
- Tobler W., 1976, Spatial interaction patterns, *Journal of Environmental Systems*, Vol. 6, 4, pp. 271-301.
- Tolron J.J., Giraud G., 2001, *L'agriculture actrice de la ville émergente. Prise en compte des espaces agricoles et aménagement des grandes métropoles françaises*, Rapport de recherche à l'appel d'offre « la ville émergente » du Plan urbanisme construction architecture (PUCA), METL/Cemagref, 130 pages.
- Torre A., 1998, *Proximité et agglomération*, 13 pages. In : Huriot J.M. (ss.dir), 1998, *La ville ou la proximité organisée*, Anthropos, Coll. Villes, pp. 89-101.
- Torrens P., 2000, How cellular models of urban systems work (1. Theory), *Working paper Series*, n°28, Centre for Advanced Spatial Analysis, 68 pages.
- Torrens P., 2001, Can geocomputation save urban simulation? Throw soma agents in the mixture, simmer and wait..., *Working paper Series*, n°32, Centre for Advanced Spatial Analysis, 37 pages.
- Torrens P., O'Sullivan D., 2001, Cellular automata and urban simulation : where do we go from here ?, *Environment and Planning B*, vol. 28, PP. 163-168.
- Ullman E.L., 1957, *American Commodity Flow. A geographic Interpretation of Rail and Water Traffic based on Principles of Spatial Interchange*, University of Washington Press, Seattle.
- Urry, 2000, *Sociology beyond Societies, Mobility for the twenty-first century*, Routledge, London, 421 pages.
- Valade B., 2001, De l'explication dans les sciences sociales : holisme et individualisme. In : Berthelot J.M. (ed)., 2001, *Epistémologie des sciences sociales*. Presses Universitaires de France, pp. 357-405.
- Vaysse F., 2000, Les Français bien dans leur ville, *Le Monde*, n° 5023, pp. 60-65

- Viard J., 1994, *La société d'archipel. Les territoires du village global*, Ed. de l'Aube, Coll. Monde en cours, 127 pages.
- Viard J., 1997, Le triomphe de l'urbanité ou la ville perdue. In : Dubois-Tains G., Chalas Y. (ss. dir.), 1997, *La ville émergente*, pp. 232-237.
- Vilmin T., 1991, Marché foncier, marché immobilier, *Etudes foncières*, n° 53, Dec. 1991, pp. 24-27.
- Virilio P., 1984, , *L'Espace critique*, Ed. Christian Bourgeois, 190 pages.
- Virilio P., 1996, *Cybermonde. La politique du pire*, Textuel, Coll. Conversations pour demain, 110 pages.
- Voiron C. 1994, *L'analyse spatiale par l'analyse d'image et la morphologie mathématique*. Montpellier, Gip Reclus, 127 pages
- Webber M.M., 1964, 1996, *L'urbain sans bornes ni lieux*, Ed. de l'Aube, Coll. Essai, 124 pages.
- Weber A., 1929, *Theory of location of industries*, University of Chicago Press.
- Weber C., 1998, *La croissance urbaine de Kavala. Evolutions et perspectives*, Société française de photogrammétrie, n° 151, pp. 29-39.
- Weber C., Hirsch J., 1997, Potential model applications in planning issues, *Proceedings of the 11th European Colloquium on Quantitative and Theoretical Geography*, Durham Castle, City of Durham, UK, September 3-7, 1999.
- Weber C., Hirsch J., Serradj A., 1997, Images satellites et densités urbaines. In : Cauvin C., 1997, *Densités urbaines. Bâti et populations. Modèles spatiaux, images satellites et représentation*, rapport de recherche partiel, programme Densités PIR-Ville, pp. 31-45.
- Weber J., 1995, *Gestion des ressources renouvelables : fondements théoriques*, CIRAD, 21 pages.
- Wiel M., 1999, *La transition urbaine ou la passage de la ville-pédestre à la ville-motorisée*, Ed. Pierre Mardaga, Coll. Architecture + recherche, 149pages.
- Wilson A.G., 1970, *Entropy in urban and regional modelling*, Pion, 166 pages.
- Wilson A.G., 1979, *Aspects of catastrophe theory and bifurcation theory in regional science*, School of geography, University of Leeds, 13 pages.
- Windels N., 1983, La consommation de l'espace agricole, *Etudes foncières*, n° 21, 1983, pp. 32-37.

- Woessner R., 1996, *Mythe et réalité de l'espace Rhin-Rhône : la dynamique industrielle comme facteur de recomposition territoriale*, Thèse de doctorat en Géographie, Université de Franche-Comté, 2 tomes, 531 pages.
- Wolf M.A., 1991, Mixité des opérations : l'expérience américaine, *Etudes foncières*, n° 53, Dec. 1991, pp. 8-14.
- Wolfram S., 1983, Statistical Mechanics of Cellular Automata, *Review of Modern Physics*. N°55, pp. 601-644.
- Wolfram, S., 2002, *A new kind of science*, Champaign, 549 pages.
- Würtz M, 1996, *Systèmes d'information géographique*, Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement (ENGEES), Université Louis Pasteur, Strasbourg, 52 pages.
- Zacharias J., 2001, Path choice and visual stimuli: signs of human activity and architecture, *Journal of Environmental Psychology*, pp 2-12.
- Zipf K.G., 1949, *Human Behaviour and the Principle of Least Effort. An introduction to Human Ecology*, Hafner P. (reprinted 1965), 573 pages.
- Zischler H., 1999, *Berlin est trop grand pour Berlin*, Mille et une nuits, Coll. La ville entière, 61 pages.

TABLES

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
 PARTIE I	
L'ETALEMENT URBAIN : DES CONSEQUENCES A MAITRISER.....	9
 Introduction de la première partie	11
 Chapitre 1.1 - L'étalement urbain : éléments de définition.....	15
 1. Un constat : une diversification des changements	16
 1.1. De nouveaux instruments pour la gestion des territoires.....	16
1.1.1. De nouvelles instances juridiques et politiques	17
1.1.2. Des nouveaux acteurs techniques pour gérer le territoire.....	25
1.1.3. De nouveaux indicateurs statistiques pour appréhender le territoire	28
 1.2. L'idée d'étalement de la ville	35
1.2.1. Une idée aux synonymes multiples.....	35
1.2.2. Un processus d'urbanisation	41
 2. Une affirmation : l'étalement des villes	43
 2.1. Un processus spatial	43
2.1.1. Un nouvel arrangement de l'espace des villes	43
2.1.2. Le contenant : une nouvelle occupation spatiale	45

2.2. Un processus urbain	49
2.2.1. De la ville à l'Urbain.....	49
2.2.2. Le contenu : les hommes et leurs activités.....	51
2.3. Un processus lié à la technique	53
2.3.1. De la mobilité	53
2.3.2. ... à l'accessibilité.....	56
Chapitre 1.2 - L'étalement urbain : éloignement et envahissement	65
1. La ville mise à distance	66
1.1. La ville : outil des proximités	66
1.1.1. Distance et proximité	67
1.1.2. La ville : un arrangement des proximités	70
1.1.3. L'économie par la ville.....	72
1.1.4. La ville par l'économie.....	77
1.2. La contradiction spatiale et l'étalement urbain	79
1.2.1. La nécessité et la volonté proximale	79
1.2.2. La nécessité et la volonté distale	84
1.2.3. Vitesse et technique : allier proximal et distal.....	86
2. La nature mise à distance	86
2.1. La substitution par le mitage	86
.....	
2.1.1. L'hominisation périurbaine.....	87
2.1.2. Première conséquence : la destruction des activités périurbaines.....	89
2.1.3. Deuxième conséquence : la crise financière urbaine	94
2.2. La substitution par la réticulation	95
2.2.1. La nécessité e mobilité	96
2.2.2. Une conséquence importante : la perturbation environnementale	97
Chapitre 1.3 - L'étalement : une nouvelle forme urbaine	109
1. Un changement en quantités	110
1.1. Définition de la densité	110
1.1.1. La densité est un rapport	111
1.1.2. ... mais un rapport de quoi sur quoi?.....	112

1.1.3. Densité et proximité.....	116
1.2. La contradiction humaine de l'étalement urbain	122
1.2.1. Densité : la peur de la ville.....	123
1.2.2. Densité et déplacements.....	125
2. Un changement en qualité.....	128
2.1. L'étalement mono-fonctionnel.....	128
2.1.1. Un autre zonage	129
2.1.2. Contre la mixité	132
2.2. La ville des navetteurs.....	134
2.2.1. Nouvelles temporalités urbaines	135
2.2.2. Congestion environnementale.....	136
 Chapitre 1.4 - Modéliser pour anticiper les nouvelles contraintes urbaines	 143
1. De la ville-outil à la ville-machine.....	144
1.1. L'obsolescence des outils d'urbanisme	144
1.1.1. La notion de développement durable	145
1.1.2. La loi SRU et les SCoT	150
1.1.3. L'idée de gouvernance.....	152
1.2. Un nouveau genre urbain.....	155
1.2.1. Divergence des champs.....	156
1.2.2. Vers la ville machine.....	159
2. Anticiper la complexité urbaine	163
2.1. L'approche prospective	164
2.1.1. Du futur que l'on rêve... ..	164
2.1.2. ... au futur que l'on simule	165
2.1.3. Une nécessité : la modélisation.....	167
2.2. Les modèles, versions simplifiées de la réalité	168
2.2.1. Qu'est-ce qu'un modèle	221
2.2.2. Réduire la complexité	169
2.2.3. Décomposer la complexité.....	171

Conclusion de la première partie	179
PARTIE II	
UNE MODELISATION EN TROIS ETAPES	183
Introduction de la deuxième partie.....	185
Chapitre 2.1 - Structurer une base de données : le carroyage des informations ...	189
1. L'intégration de données spatio-temporelles.....	190
1.1. A propos du temps et de l'espace dans l'étude	190
1.1.1. De la problématique à la source des données	191
1.1.2. Les sources en présence.....	193
1.1.3. L'intégration multi-sources.....	199
1.2. Le principe du carroyage.....	202
1.2.1. Tessellations régulières, carroyage et espaces matriciels.....	203
1.2.2. Mode <i>raster</i> et mode vecteur.....	210
2. Le traitement de l'information géographique.....	214
2.1. Traitement du contenant.....	214
2.1.1. Position et pas de la grille	215
2.1.2. Le compromis de la lisibilité géographique	216
2.2. Traitement du contenu	219
2.2.1. Le compromis de la lisibilité cartographique.....	220
2.2.2. Classification et codage hiérarchiques	221
Chapitre 2.2 - Quantifier les dynamiques urbaines : le modèle de transition	233
1. Le modèle de transition : vers la dynamique urbaine.....	234
1.1. Principes du modèle de transition	235
1.1.1. Le système des états.....	235
1.1.2. Les transitions entre les états.....	240
1.1.3. Graphes et matrices de transition	240
1.2. Les chaînes de Markov	243

1.2.1. Les processus stochastiques.....	244
1.2.2. Modèle stochastique ou déterministe?	247
2. Paramétrer une chaîne de Markov	252
2.1. Simulation de la dynamique urbaine.....	252
2.1.1. Les hypothèses de premier ordre et du comportement unique.....	252
2.1.2. Le problème de la stationnarité.....	254
2.1.3. Construction de matrices prospectives	256
2.2. Transitions : l'exemple de Beispielstadt	261
2.2.1. Beispielstadt : historique rapide.....	261
2.2.2. Le problème des gares et de l'aéroport	263
2.2.3. Vers un scénario politique	266
Chapitre 2.3 - Localiser les changements urbains : le modèle de potentiel	273
1. Le modèle de potentiel : un outil d'analyse multicritères	274
1.1. Principes du modèle de potentiel	274
1.1.1. Le principe de l'interaction spatiale.....	275
1.1.2. Intégration de variables multiples	277
1.2. La notion de potentiel	279
1.2.1. Le faux principe « gravitaire ».....	279
1.2.2. Le modèle de potentiel	282
2. Paramétrer un modèle de potentiel.....	285
2.1. Les coefficients du modèle	285
2.1.1. A propos de la masse m	286
2.1.2. A propos de la pondération v	289
2.1.3. A propos de la contrainte k	293
2.2. L'exemple de Beispielstadt.....	295
2.2.1. Continuation de tendance.....	296
2.2.2. Beispielstadt : une ville orientée vers l'économie	298

Chapitre 2.4 - Différencier les changements urbains : les automates cellulaires . 305

1. Les automates cellulaires : nouvelle génération de modèles 306

1.1. Les automates cellulaires : des modèles riches 307

1.1.1. De l'intelligence artificielle 307

1.1.2. ... à l'intelligence artificielle distribuée 309

1.1.3. Définition formelle des automates cellulaires 312

1.2. Les automates cellulaires : des modèles à contraindre 322

1.2.1. Intégration du modèle de transition 322

1.2.2. Intégration du modèle de potentiel 325

1.2.3. Mais pourquoi des automates cellulaires ? 326

2. CamDeus : l'interface des modèles 328

2.1. Une interface de modélisation 329

2.1.1. Affichage des configurations spatiales : l'interface commune de CamDeus 329

2.1.2. Modélisations successives 333

2.2. Différenciation : l'exemple de Beispielstadt 336

2.2.1. Différenciation globale 336

2.2.2. Différenciation, catégorie par catégorie 339

Conclusion de la deuxième partie 345

PARTIE III

DE LA MODELISATION A LA SIMULATION PROSPECTIVE 349

Introduction de la troisième partie 351

Chapitre 3.1 - Belfort : exactement, que s'est-il passé ? 355

1. Belfort et le Territoire de Belfort 356

1.1. Belfort : hier, aujourd'hui et demain 358

1.1.1. Une situation privilégiée en Europe 358

1.1.2. Une vocation militaire et industrielle en changement 361

1.2. Belfort, son Territoire et sa population : un espace original 363

1.2.1. Evolution de la population	364
1.2.2. Une population qui bouge	368
2. Belfort : une ville qui s'étale ?	372
2.1. Des modifications sensibles depuis 1955	373
2.1.1. Sur le plan des surfaces bâties	374
2.1.2. Sur le plan de la population.....	375
2.2. Des décalages dans l'espace et dans le temps	378
2.2.1. Première période, première couronne.....	378
2.2.2. Deuxième période, deuxième couronne	380
2.3. Vers des éléments de simulation.....	381
2.3.1. Eléments pour simuler les dynamiques démographiques	382
2.3.2. Eléments pour simuler les dynamiques spatiales.....	385
Chapitre 3.2 - De la continuation au renforcement de l'étalement urbain.....	393
1. Une recherche empirique, longue et incertaine.....	394
1.1. Reproduire le passé par en saisir les tendances	394
1.1.1. Des périodes différentes	395
1.1.2. Vers une fourchette de moyennes.....	397
1.1.3. Mieux comprendre les processus à l'œuvre	401
1.2. Imaginer le passé pour imaginer l'avenir	403
1.2.1. Des coefficients testés pas à pas	404
1.2.2. La forme et le processus	407
2. Scénarios pour le futur	408
2.1. Scénario : de nouvelles digitations	409
2.1.1. Le principe de scénarios	409
2.1.2. L'influence croissante du réseau de routes	412
2.1.3. Les nouveaux conflits nationales / départementales.....	414
2.1.4 ... au nouveau mitage	416
Chapitre 3.3 - Du renouvellement urbain à la non ville.....	421
1. Le renouvellement urbain	422

1.1. Une tendance dans la tendance	423
1.1.1. Renouveler la ville ?	423
1.1.2. Le renouvellement urbain : lutter contre l'étalement	425
1.1.3. Belfort : idée pour un renouvellement urbain.....	426
1.2. Paramétrer le renouvellement urbain.....	429
1.2.1. Modèle de transition : bloquer les maisons individuelles	430
1.2.2. Modèle de potentiel : affirmer la centralité du centre	434
1.2.3. Modèle d'automates cellulaires : privilégier la mixité	440
2. L'obsolescence de l'outil urbain	445
2.1. Des réseaux qui annihilent la proximité et l'espace	446
2.1.1. La ville : un scénario de contraintes.....	446
2.1.2. Les réseaux de transport : vers les villes nomades	447
2.1.3. Les réseaux de communication : les nouveaux sédentaires	449
2.2. Paramétrer la non-ville.....	451
2.2.1. Modèle de transition : privilégier les faibles densités	451
2.2.2. Modèle de potentiel : privilégier le cadre rural.....	455
2.2.3. Modèle d'automates cellulaires : une évaluation automatique des coûts	459
Conclusion de la troisième partie.....	465
CONCLUSION GENERALE.....	467
BIBLIOGRAPHIE.....	473
TABLES	515

Table des figures

NB : Les documents en italique existent en couleur

Figure 1.1.01 – Evolution de la population française (métropolitaine, urbaine et rurale)	21
Figure 1.1.02 – Un nouvel indicateur : le zonage en aires urbaines de l’Insee	29
Figure 1.1.03 – L’idée d’étalement : définitions et synonymes	37
Figure 1.1.04 – Le modèle de R. Bussière (L’exemple de la ville de Lyon)	38
Figure 1.1.05 – Evolution de la population totale 1954 et 1990 (Belfort et périphéries)	39
Figure 1.1.06 – Evolution de la population totale 1954 et 1990 (Belfort et périphéries) bis	40
Figure 1.1.07 – L’étalement urbain : une nouvelle occupation spatiale	47
Figure 1.1.08 – Evolution des distances au centre : liens avec les temps de déplacement	54
Figure 1.1.09 – Réseaux et temps de déplacement (L’exemple du RER)	55
Figure 1.1.10 – La loi rang-taille de Zipf (France, Algérie et Japon)	57
Figure 1.1.11 – La loi rang-taille de Zipf (L’exemple de Marchetti)	57
Figure 1.2.01 – La distance : définition et propriétés mathématiques	68
Figure 1.2.02 – Le seuil proximal : entre proximité et éloignement	70
Figure 1.2.03 – Le modèle de Weber (un modèle de localisation lié aux proximités)	75
Figure 1.2.04 – Le modèle de Christaller (Un autre modèle lié aux proximités)	76
Figure 1.2.05 – Le système-ville (Une proposition de lecture)	78
Figure 1.2.06 – La ville : des mouvements centripètes et centrifuges	83
Figure 1.2.07 – Rapports entre société, espace écologique et espace géographique	88
Figure 1.2.08 – Le modèle de Von Thünen : une organisation de la proximité	90
Figure 1.2.09 – L’étalement : fragilisation de l’agriculture périurbaine	92
Figure 1.2.10 – Schéma d’habitat faunistique (Coupure causée par une route)	100
Figure 1.3.01 – Densités de population. Exemples de la ville de Belfort en 1999	113
Figure 1.3.02 – Densité et proximité. Espace théorique et résultats des tirages aléatoires	115
Figure 1.3.03 – Densité et proximité. Indicateurs géostatistiques (cas a)	117

Figure 1.3.04 – Densité et proximité. Indicateurs géostatistiques (cas b)	118
Figure 1.3.05 – Densité et proximité. Indicateurs géostatistiques (cas a)	119
Figure 1.3.06 – Le Corbusier et la Charte d’Athènes. Les quatre fonctions de la ville	127
Figure 1.4.01 – Le développement durable. Social – Economique – Environnement	146
Figure 1.4.02 – Objectif du développement durable – Utiliser les ressources	147-148
Figure 1.4.03 – Objectif du développement durable – Intégrer la population	149
Figure 1.4.04 – Objectif du développement durable – Gérer les territoires	150
Figure 1.4.05 – Collaborative Design. L’exemple japonais	154
Figure 1.4.06 – L’outil et la machine. L’exemple de J. Tinguely	161
Figure 2.1.01 – Problématique et données : des rythmes incomparables	191
Figure 2.1.02 – Sources de la base de données spatio-temporelle – 1955	195
Figure 2.1.03 – Sources de la base de données spatio-temporelle – 1975	196
Figure 2.1.04 – Sources de la base de données spatio-temporelle – 1995	197
Figure 2.1.05 – Détermination du terrain d’étude : le plus petit dénominateur commun	198
Figure 2.1.06 – Le problème du géoréférencement – L’exemple des limites communales	201
Figure 2.1.07 – Trois partitions régulières : les triangles, les carrés et les hexagones	203
Figure 2.1.08 – Partitions régulières : comparaison entre les carrés et les hexagones	205
Figure 2.1.09 – De l’image à la matrice : maillage carré (carroyage) et codage	205
Figure 2.1.10 – Carroyage et codage matriciel. L’exemple du méandre	206
Figure 2.1.11 – Principe de la base de données spatio-temporelle	207
Figure 2.1.12 – Représentation des informations (carte, tableau, matrice)	209
Figure 2.1.13 – Représentation des informations (raster ou vecteur)	211
Figure 2.1.14 – Test des résolutions spatiales : résultats cartographiques	217-219
Figure 2.1.15 – Les catégories d’occupation du sol : une classification hiérarchique	223
Figure 2.1.16 – L’information spatiale et ses différentes représentations hiérarchiques	225
Figure 2.2.01 – Evolution de l’occupation du sol (Catégories agrégées)	239
Figure 2.2.02 – Graphique des transitions théoriques au temps t+1	241
Figure 2.2.03 – Graphique des transitions observées sur les deux périodes	244
Figure 2.2.04 – Graphique des transitions non observées entre 1955 et 1975	251
Figure 2.2.05 – Graphique des transitions théoriques au temps t+2	258
Figure 2.3.01 – Principe du moindre mouvement : le plus court chemin	277
Figure 2.3.02 – Test d’une fenêtre de convolution (100mètres)	288
Figure 2.3.03 – Test d’une fenêtre de convolution (500 mètres)	289
Figure 2.3.04 – Test d’une fenêtre de convolution (1000 mètres)	290
Figure 2.3.05 – Test d’une fenêtre de convolution (1500 mètres)	291
Figure 2.3.06 – Test sans fenêtre de convolution	292
Figure 2.4.01 – Le jeu de la vie (J. Conway). Configurations et itérations successives	311
Figure 2.4.02 – Evolution des 256 automates élémentaires de S. Wolfram	313-317
Figure 2.4.03 – Diagramme de description des règles de transition	319
Figure 2.4.04 – Les 5 modèles de changement d’occupation du sol de W. Tobler	320
Figure 2.4.05 – Une simple règle de transition : itérations successives	324

Figure 2.4.06 – Automates cellulaires : de la couche au cube d’information	327
Figure 2.4.07 – CamDeus : vue générale du programme	330
Figure 2.4.08 – CamDeus : le modèle de transition	331
Figure 2.4.09 – CamDeus : le modèle de potentiel	332
Figure 3.1.01 – Belfort et son territoire : six unités paysagères	360
Figure 3.1.02 – Evolution de la population du Territoire de Belfort depuis 1800	365
Figure 3.1.03 – Principaux soldes migratoires avec les régions françaises 1982 et 1990	370
Figure 3.1.04 – Rapport entre bâti résidentiel et non-résidentiel	374
Figure 3.1.05 – Evolution de la population à Belfort entre 1954 et 1999	376
Figure 3.1.06 – Evolution de la population et des surfaces bâties 1954 et 1999	377
Figure 3.1.07 – Evolution des surfaces bâties par couronnes 1955 et 1975	377
Figure 3.1.08 – Evolution des surfaces bâties dans la première couronne 1955 et 1975	379
Figure 3.1.09 – Projection des naissances et décès (hypothèse tendancielle 1982-1990)	383
Figure 3.1.10 – Projection de la population dans le Territoire de Belfort	385
Figure 3.1.11 – Localisation du bâti résidentiel et routes départementales	386
Figure 3.2.01 – Simulation de l’occupation du sol en 2015. Evolution depuis 1955	399
Figure 3.2.02 – Les tendances des catégories de bâti. Valeurs observées et simulées	402
Figure 3.2.03 – Les tendances des espaces naturels. Valeurs observées et simulées	403
Figure 3.2.04 – Paramétrage du modèle de potentiel. Une postdiction	406
Figure 3.2.05 – La Fiche de scénario. Du futur imaginé au futur simulé	411
Figure 3.3.01 – Renouvellement urbain. Le concours European à Belfort	428
Figure 3.3.02 – Renouvellement urbain. Evolution des cellules.	445

Table des cartes

Carte 1.1.01 – EPCI à fiscalité propre dans le Grand Est	22
Carte 1.1.02 – District, communauté d’agglomération (Belfort) : évolution des communes	23
Carte 1.1.03 – Aires urbaines (Aire urbaine Belfort-Montbéliard-Héricourt)	31
Carte 1.1.04 – L’étalement urbain : une expansion spatiale (L’exemple de Toulouse)	46
Carte 1.1.05 – Belfort et son espace urbain. Composition en trois couronnes	48
Carte 1.2.01 – Evolution des enceintes au Moyen Age	80
Carte 1.2.02 – Tache urbaine de Londres entre 1920 et 1962	82
<i>Carte 2.2.01 – Besipielstadt. La ville en 1950</i>	262
<i>Carte 2.2.02 – Besipielstadt. La ville en 1990</i>	263

Tables des figures, des cartes et des tableaux

<i>Carte 2.3.01 – Besipielstadt. Localisation du bâti résidentiel</i>	297
<i>Carte 2.3.02 – Besipielstadt. Localisation des industries et des zones d'activité</i>	298
<i>Carte 2.3.03 – Besipielstadt. Scénario pour « une ville orientée vers l'économie »</i>	299
<i>Carte 2.4.01 – Besipielstadt. Résultat de la simulation (Etape 3 : AC)</i>	337
<i>Carte 2.4.02 – Besipielstadt. Résultat de la simulation (avec contrainte de transition)</i>	340
<i>Carte 3.1.01 – Belfort et son territoire : Espace administratif (communes et cantons)</i>	357
<i>Carte 3.1.02 – Belfort et son territoire : une région complexe</i>	358
<i>Carte 3.1.03 – Evolution des espaces urbanisés. Belfort et environs, période 1955-1975</i>	373
<i>Carte 3.1.04 – Les cellules situées à moins de 500 mètres d'une route départementale</i>	387
<i>Carte 3.1.05 – Les cellules « espace libre » à moins de 500 mètres d'une départementale</i>	388
<i>Carte 3.2.01 – Belfort vers 2015 : Scénario d'une continuation de tendances.</i>	417
<i>Carte 3.3.01 – Scénario du renouvellement urbain. Potentiels de cellules « libres »</i>	436
<i>Carte 3.3.02 – Scénario du renouvellement urbain. Potentiels de cellules pouvant évoluer</i>	437
<i>Carte 3.3.03 – Scénario du renouvellement urbain. Friches urbaines, espaces à reconquérir</i>	438
<i>Carte 3.3.04 – Scénario du renouvellement urbain. Carte des potentiels finale</i>	439
<i>Carte 3.3.05 – Scénario du renouvellement urbain. Localisation des cellules (a et b)</i>	440
<i>Carte 3.3.06 – Scénario du renouvellement urbain. Différentiation des cellules</i>	444
<i>Carte 3.3.07 – Scénario de la non-ville. Carte des potentiels</i>	456
<i>Carte 3.3.08 – Scénario de la non-ville. Localisation des cellules</i>	458
<i>Carte 3.3.09 – Scénario de la non-ville. Essai d'évaluation des coûts</i>	460

Table des tableaux

<i>Tableau 1.1.01 – Les unités locales. Comparaison entre quelques pays d'Europe</i>	18
<i>Tableau 1.1.02 – Evolution du nombre de structures intercommunales entre 1996 et 2002</i>	20
<i>Tableau 1.1.03 – Près de 4 millions d'urbains en plus (différence 1990-1999)</i>	33
<i>Tableau 1.1.04 – La population dans les catégories du zonage en aires urbaines</i>	34
<i>Tableau 1.2.01 – Rythme annuel d'évolution de la consommation pétrolière par secteur</i>	98
<i>Tableau 1.2.02 – Impact de la pollution sur la santé (due aux oxydes d'azote)</i>	99
<i>Tableau 1.3.01 – Quitter sa commune pour travailler. Un comportement qui s'amplifie</i>	126
<i>Tableau 2.1.01 – Test des résolutions spatiales des grilles de carroyage</i>	216

Tableau 2.2.01 - L'occupation du sol en nombre de cellules et en proportion	238
Tableau 2.2.02 - Matrice de contingence mesurée entre 1955 et 1975	242
Tableau 2.2.03 - Matrice de contingence mesurée entre 1975 et 1995	243
Tableau 2.2.04 - Matrice de transition calculée entre 1955 et 1975	249
Tableau 2.2.05 - Matrice de transition calculée entre 1975 et 1995	249
Tableau 2.2.06 - Ecarts et ressemblances des états deux à deux	253
Tableau 2.2.07 - Beispielstadt. L'occupation du sol en proportions	264
Tableau 2.2.08 - Beispielstadt. Matrice de transition entre 1950 et 1990	265
Tableau 2.2.09 - Beispielstadt. Construction d'une matrice prospective (la matrice brute)	268
Tableau 3.1.01 - Population des communes du Territoire de Belfort	362
Tableau 3.1.02 - Les unités urbaines du Territoire de Belfort	362
Tableau 3.1.03 - Croissance de la population dans le territoire de Belfort de 1968 à 1999	366
Tableau 3.1.04 - Arrivées et départs de population dans le territoire de Belfort de 1982 à 1990	367
Tableau 3.1.05 - Les dix premières communes depuis un siècle dans le Territoire de Belfort	368
Tableau 3.1.06 - Composantes de l'évolution de la population dans le Territoire de Belfort	369
Tableau 3.1.07 - Scénarios et simulations de l'INSEE. Quatre hypothèses	383
Tableau 3.1.08 - Localisation du bâti résidentiel et routes départementales	
Tableau 3.2.01 - Simulation de l'occupation du sol en 2015. Vecteurs d'états	398
Tableau 3.3.01 - Quelques ordres de grandeur. Matrices de transitions	430
Tableau 3.3.02 - Scénario du renouvellement urbain. La matrice de transition	431
Tableau 3.3.03 - Scénario du renouvellement urbain. Vecteur d'occupation du sol simulée	432
Tableau 3.3.04 - Scénario du renouvellement urbain. Comparaison de cellules 1995-2015	433
Tableau 3.3.05 - Scénario de la non-ville. La matrice de transition	454
Tableau 3.3.06 - Scénario de la non-ville. Le vecteur d'occupation du sol simulé	454

Listes des abréviations

AC	Automate cellulaire
ADEME	Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'énergie
AOC	Appellation d'Origine Contrôlée
AOT	Autorité Organisatrice de Transports
AU	Agence d'Urbanisme
AUAT	Agence d'Urbanisme de l'Agglomération de Tours
AURM	Agence d'Urbanisme de la Région de Mulhouse
AUTB	Agence d'Urbanisme du Territoire de Belfort
BDG	Base de Données Géographiques
CAB	Communauté d'Agglomération Belfortaine
CAMDEUS	Cellular Automata Models to Design Environmental and Urban Systems
CASA	Centre for Advanced Spatial Analysis
CERTU	Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publics
CGCT	Code Général des Collectivités Territoriales
CIFRE	Convention Industrielle de Formation par la Recherche
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
COS	Coefficient d'Occupation du Sol
CPAM	Communauté d'Agglomération du Pays de Montbéliard
CUS	Communauté Urbaine de Strasbourg
DATAR	Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale
DDE	Direction Départementale de l'Équipement

Liste des **abréviations**

EPCI	Etablissement Public de Coopération Intercommunale
ERPURS	Evaluation des Risques de la Pollution Urbaine sur la Santé
FDSEA	Fédération Départementale des Syndicats d'Exploitants Agricoles
FNAU	Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme
FNSEA	Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles
GIP	Groupement d'Intérêt Public
GIS	Geographic Information System
IA	Intelligence Artificielle
IAD	Intelligence Artificielle Distribuée
IGN	Institut Géographique National
INRETS	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
LOADDT	Loi d'Orientation sur L'Aménagement et le Développement Durable du Territoire
MDT	Migration Domicile-Travail
MNT	Modèle Numérique de Terrain
NN	Neural Network
NTIC	Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OFEFP	Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et des Paysages
OST	Organisation Scientifique du Travail
PIB	Produit Intérieur Brut
PLU	Plan Local d'Urbanisme
POS	Plan d'Occupation du Sol
PPV	Plus Proche Voisin
PTU	Périmètre des Transports Urbains
PUCA	Plan Urbanisme Construction Architecture
RGP	Recensement Général de la Population
SAN	Syndicat d'Agglomération Nouvelle
SCOT	Schéma de Cohérence Territoriale

SCT	Schéma de Cohérence Territoriale
SD	Schéma Directeur
SDAU	Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
SEGESA	Sociétés d'Etudes Géographiques et Sociologiques Appliquées
SGBD(R)	Système de Gestion de Base de Données (Relationnelle)
SIG	Système d'Information Géographique
SIRS	Système d'Information à Référence Spatiale
SIVOM	Syndicat Intercommunal à Vocations Multiples
SIVU	Syndicat Intercommunal à Vocation Unique
SMA	Système Multi-Agent
SMIG	Système de Modélisation de l'Information Géographique
SNCF	Société Nationale des Chemins de Fer
SRU	Solidarité et Renouvellement Urbain
TER	Train Express Régional
TGV	Train à Grande Vitesse
UCL	University College of London
UTBM	Université Technologique de Belfort-Montbéliard
UTSM	Urbanisation Transurfacique à Synergie Multistrate
UTP	Union des Transports Publics
ZAC	Zone d'Aménagement Concerté
ZAU	Zonage en Aire Urbaine
ZMU	Zone Morphologique Urbaine
ZPIU	Zone de Peuplement Industriel et Urbain
ZUP	Zone à Urbaniser en Priorité

RESUME : Le processus d'étalement urbain n'est pas sans conséquence sur les villes et leur fonctionnement. Il affecte la coalescence urbaine et perturbe les équilibres naturels et environnementaux, par le mitage des zones périurbaines et les pollutions qui en découlent. Il implique également des modifications sociales qui conduisent à l'homogénéisation de l'espace et à des ségrégations possibles entre le centre et les périphéries des villes. La législation invite aujourd'hui à anticiper ces situations et à projeter l'avenir des villes dans le cadre d'une démarche prospective. Sur la base d'un espace carroyé, la modélisation présentée ici permet de simuler le futur urbain et d'effectuer cette démarche en trois étapes : une quantification des changements (modèle de transition, chaîne de Markov), la localisation de ces changements (modèle de potentiel) et leur différenciation (automates cellulaires). Le caractère opérationnel de cet enchaînement de modèles est concrétisé par le programme informatique CamDeus (*cellular automata models to design environmental and urban systems*). Plusieurs scénarios sur la ville de Belfort illustrent les possibilités de simulation offertes et permettent de mieux comprendre les phénomènes et les processus en œuvre dans les villes, et de répondre à une problématique qui dépasse le simple cadre de l'étalement, en envisageant l'aménagement de l'espace sous l'angle d'une dialectique entre éloignement et proximité.

MOTS-CLEFS : Simulation - Prospective - Carroyage - Chaînes de Markov - Modèle de Potentiel - Automates cellulaires - Etalement urbain - Ville

ABSTRACT : Urban sprawl process has important consequences on urban space and functions. It affects urban growth as well as natural equilibrium through periurbanization and environmental pollution. Urban sprawl also implies social modifications, leading to spatial homogenisations and possible segregation between centre and periphery. Presently, legislation demands to anticipate such situations and to imagine the future of the cities within a prospective approach. Relying to grid mapping, the modelling presented here allows to simulate urban futures within three steps : the quantification of the urban changes (transition model, Markov chains), location of these changes (potential model) and differentiation (cellular automata). The CamDeus software (*Cellular Automata Models to Design Environmental and Urban Systems*) gives concrete expression to this string of models. Several scenarios related to the city of Belfort show the possibilities of simulation that modelling makes possible and allows a better understanding of urban phenomena and processes. Such an approach goes beyond the sprawl and envisages urban planning through a double point of view : far / near.

KEYWORDS : Simulation - Prospective - Grid Mapping - Markov Chains - Potential Model - Cellular Automata - Urban Sprawl - City

ZUSAMMENFASSUNG : Der Prozess der Verstädterung beeinflusst das Wachstum unserer Städte und wirkt sich auf deren Funktionsweise aus. Das ökologische Gleichgewicht wird durch die mit diesem Prozess einhergehenden Umweltbelastungen beeinträchtigt. Verstädterung ist gleichzeitig verbunden mit der Veränderung sozialer Strukturen, deren Konsequenz auf der einen Seite die räumliche Homogenisierung und auf der anderen Seite die Segregation zwischen Stadtzentrum und Peripherie ist. Die aktuelle Gesetzgebung versucht diesem Prozess vorzugreifen indem sie die Zukunft der Städte vorausplant. In der vorliegenden Arbeit konnte auf der Basis eines Rasters die zukünftige Stadtentwicklung in drei Schritten simuliert werden: die Quantifizierung der Veränderungen (Übergangmodell, Markov-Ketten), ihre Lokalisierung (*potential model*) und ihre Differenzierung (Zellularautomat). Die Anwendbarkeit dieser Modellfolge wird durch das Programm CamDeus gewährleistet (*Cellular Automata Models to Design Environmental and Urban Systems*). Die Möglichkeiten der Simulation werden anhand mehrerer Szenarien am Beispiel der Stadt Belfort (Frankreich) aufgezeigt. Die Ergebnisse tragen zum Verständnis des Verstädterungsprozesses und der damit verbundenen Phänomene bei. Unsere Herangehensweise geht über den einfachen Rahmen der Verstädterung hinaus und betrachtet die räumliche Planung sowohl unter dem Gesichtspunkt der Distanz als auch der Nähe.

SCHLAGWORTE: Simulierung, Zukunftsforschung, Raster, Markov-Ketten, potential model, Zellularautomat, Verstädterung, Stadt