

# **Jeu de cartes, nouvelle donne**

## Cartographeur aujourd'hui les espaces d'aujourd'hui

Projet CartogrAm

Sous la direction de Jacques Lévy

Programme de recherche réalisé avec le soutien de la Délégation à l'aménagement du territoire (DATAR), dans le cadre de l'appel d'offres « Complexité territoriale, NTIC et sémiologie graphique » préparé par le groupe de prospective n°7 de la DATAR « Représentations et complexité territoriale »

**Mai 2002**

Extrait du chapitre 51 (pages 265 à 272)

## Simulation spatiale et cartographie participative

Cécile TANNIER

Cela fait maintenant une vingtaine d'années que la recherche en géographie et, plus généralement, en analyse spatiale s'intéresse à la construction d'outils permettant de simuler la dynamique passée et future des espaces. Mais c'est seulement depuis une petite dizaine d'années que ce domaine d'investigation a connu un essor véritable, en liaison avec l'émergence de nouveaux outils de simulation nés des progrès de l'informatique (automates cellulaires et systèmes multi-agents notamment).

Dans le cadre du programme CartogrAm, nous avons choisi d'aborder la question de la simulation spatiale à travers l'étude des liens, existants ou envisageables, entre simulation spatiale et cartographie participative : qu'est-ce qui se fait actuellement dans le domaine de la simulation spatiale ? En quoi cela peut-il servir de base à une cartographie participative ?

### Qu'est-ce que la simulation spatiale ?

En premier lieu, on insistera sur le fait que chercher à concevoir des outils de simulation sous-entend la modélisation des phénomènes étudiés. Un modèle peut être défini comme une « *représentation partielle et condensée d'un objet, dont il facilite la manipulation par un langage approprié* »<sup>1</sup>. Parmi tous les modèles existants, ceux qui permettent la simulation spatiale répondent essentiellement à deux exigences.

Premièrement, ils doivent intégrer l'espace. Selon les modèles, cette intégration revêt différentes formes. On considère souvent une distance entre les lieux, soit physique (métrique euclidienne ou non, distance-temps...), soit non physique (distance sociale, distance perçue...), soit topologique (prise en compte des phénomènes de contiguïté). Mais l'espace peut également apparaître à travers des attributs « objectifs » des lieux (nombre d'habitants, nombre et type de commerces présents...) ou des indicateurs qualifiant ces lieux (indicateurs de satisfaction des habitants, indicateurs d'attractivité...) (« *Inventaire des modèles* »<sup>2</sup>, 2002).

La deuxième exigence, à laquelle doit répondre un modèle de simulation spatiale, est d'offrir la possibilité de tester un nombre quasi-illimité de scénarios. En effet, un modèle de simulation permet, comme son nom l'indique, de réaliser autant de simulations que nécessaire, construites à partir de différents corps d'hypothèses et/ou différentes règles de fonctionnement des systèmes modélisés. En ce sens, les études prospectives basées sur l'utilisation de modèles de simulation se différencient d'études plus traditionnelles,

---

<sup>1</sup> PUMAIN D., SANDERS L. et SAINT-JULIEN T., 1989 : *Villes et auto-organisation*, Paris, Economica, 191 p.

<sup>2</sup> Base de données interactive ayant pour but le recensement des modèles utilisés et/ou mis au point par les géographes. Cette base de données *Inventaire des modèles* est le résultat de recherches menées dans le cadre de l'axe « modélisation » du Groupe de recherche CNRS 1559 Libergeo. Elle est consultable sur le site Internet <http://www.mgm.fr/libergeo>

lesquelles proposent un nombre de scénarios limité, selon une trilogie quasi habituelle : un premier scénario présentant le prolongement de la tendance actuelle, un deuxième plus pessimiste, et un troisième plus optimiste. L'utilisation de modèles de simulation prend tout son sens si l'on cherche à explorer un large spectre de réalités (actuelles, passées ou à venir), en étant conscient de la très forte probabilité qu'aucun des scénarios simulés ne se réalise.

L'intérêt des modèles de simulation ne réside donc pas dans leur capacité de prédiction, mais dans le fait qu'ils permettent de tester des combinaisons de facteurs, des formes d'interactions trop complexes pour qu'on puisse le faire sans les outils mathématiques et informatiques auxquels ils sont liés. Autrement dit, l'intérêt de ces modèles est qu'ils nous permettent d'explorer, de comprendre des réalités trop complexes pour qu'on puisse y parvenir sans eux.

Considérant le fait que l'aide à la décision s'apparente souvent à l'aide à la compréhension, à la prise de conscience des phénomènes, il s'avère qu'un modèle de simulation peut servir tant à la connaissance de l'objet par le sujet, qu'à l'action du sujet sur l'objet. Et meilleure est la connaissance de l'objet par le sujet, meilleure est la capacité du sujet à prévoir les conséquences de son action : elle lui permet de mieux cibler les opérations de régulation, nécessaires au bon fonctionnement du système considéré.

Si l'on s'en tient aux deux exigences qui ont été mentionnées, à savoir la prise en compte de l'espace et la possibilité de tester un très grand nombre de scénarios, il apparaît qu'un modèle de simulation spatiale n'est pas forcément dynamique. Dans le cas de modèles statiques, la simulation spatiale consiste à tester l'impact de modifications apportées, soit aux conditions initiales, soit aux règles de fonctionnement du modèle, sur l'état des phénomènes considérés. Par exemple, si le modèle permet de calculer l'accessibilité automobile des quartiers d'une ville à l'hypermarché le plus proche, la transformation d'une route à deux voies en une route à deux fois deux voies pourrait faire l'objet d'une simulation. Dans le cas de modèles permettant de simuler l'évolution d'un phénomène sur une période donnée, on peut les distinguer selon qu'ils prennent en compte la cinétique ou la dynamique des phénomènes. Dans le premier cas, les règles de fonctionnement des modèles n'évoluent pas au cours du temps et de nombreux scénarios vont être consacrés au test de la modification de ces règles. Dans le deuxième cas, de nouvelles règles de fonctionnement peuvent apparaître dans des circonstances particulières (phénomène d'auto-organisation) et tout l'intérêt réside dans l'étude de ces phénomènes.

### **En quoi les modèles de simulation peuvent-ils servir de base à une cartographie participative ?**

Il existe de nombreux types de modèles, permettant plus ou moins aisément la simulation spatiale et dont on pourrait envisager qu'ils servent de base à une cartographie participative. Dans le cadre de cette étude, notre objectif n'était pas d'en faire un état des lieux exhaustif, mais d'éclairer certaines relations, entre simulation spatiale et cartographie participative. Nous avons choisi de travailler sur la base d'exemples relevant de trois grandes familles de modèles de simulation.

- 1) *Modèles de nature mathématique, issus des recherches sur l'auto-organisation*  
Datant des années 80, ils sont, par rapport aux deux suivants, assez anciens. Le plus souvent élaborés par des physiciens et des chimistes s'intéressant au mouvement des particules, ils ont été adaptés à la géographie. Ils permettent de traiter assez bien des phénomènes d'auto organisation et d'articulation entre différents niveaux d'analyse (modèles synergétiques par exemple).
- 2) *Modèles de nature informatique, appartenant au domaine de l'intelligence artificielle distribuée*  
En intelligence artificielle distribuée, la connaissance relative à la solution d'un problème global est partagée entre les différents agents, sans mécanisme de commande global. La principale propriété de tels modèles est l'émergence : des comportements de niveau microscopique émergent des structures spatiales de niveau macroscopique (cas des automates cellulaires et des systèmes multi-agents).
- 3) *Modèles basés sur la géométrie fractale*  
La géométrie fractale est née des réflexions de mathématiciens et de physiciens travaillant dans le domaine de la théorie de la mesure. Un objet fractal possède de nombreuses propriétés, dont notamment le respect d'une loi hiérarchique dans l'organisation spatiale et la répétition du même mode de répartition des éléments à une multitude d'échelles. On retrouve la géométrie euclidienne comme cas limite de la géométrie fractale.

Notre étude a porté sur ces trois familles de modèles car à chacune d'elles correspond un abord particulier des phénomènes ; elles sont caractérisées par des formalismes variés et des résultats aisés à différencier. En outre, elles ont toutes trois fait l'objet d'applications très récentes et donnent un aperçu (non exhaustif, mais cependant révélateur) des recherches actuelles menées dans le domaine de la simulation spatiale.

Pour répondre à l'interrogation énoncée dans le titre « *En quoi les modèles de simulation peuvent-ils servir de base à une cartographie participative ?* », nous avons sélectionné une thématique commune et réfléchi, sur cette base, à des exemples d'application de chaque famille de modèles. Ceci permet de donner un aperçu du fonctionnement et des principales caractéristiques de chaque modèle, sans entrer dans le détail, ni des principes techniques, ni de la formalisation de chacun d'eux. La thématique commune, retenue pour servir de point de départ à la réflexion, est celle de l'évolution future des villes. Plus précisément, le questionnement a été défini comme suit.

Afin de mieux maîtriser les évolutions futures susceptibles d'affecter une ville, on veut simuler les choix de localisation résidentiels de cette ville. *En quoi et comment (sous quelles conditions) ce travail peut-il servir de base à une cartographie participative pour le choix d'orientations en matière d'aménagement urbain ?*

Sur la base de ce questionnement, quatre modèles de simulation, un modèle mathématique, deux modèles informatiques (un modèle d'automates cellulaires et un système multi-agent) et un modèle de croissance fractale, vont être envisagés. Leurs possibilités seront dans un premier temps décrites, puis comparées. Ces quatre exemples sont, pour certains totalement, pour d'autres un peu moins, inspirés de modèles existants, ayant été présentés à la fois lors du 12<sup>th</sup> *European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography* (Saint-Valéry-en-Caux, 7-11 septembre 2001) et lors de l'école thématique du CNRS *Simulations et modèles d'analyse spatiale* (Montpellier, 17-21 septembre 2001)<sup>3</sup>.

- modèle mathématique : P. Frankhauser (CNRS UMR 6049 THEMA, Besançon) et C. Tannier (CNRS UMR 7011 Image et Ville, Strasbourg)
- modèle d'automates cellulaires : *SpaCell* conçu par Y. Guermond et P. Langlois (CNRS UMR 6063 IDEES Laboratoire MTG, Rouen)
- système multi-agent : *Peuplement* mis au point par J.-L. Bonnefoy (CNRS UMR 6012 Espace, Aix-en-Provence) et utilisant la plate-forme *Starlogo*
- modèle de croissance fractale : *SFC-Fractal* conçu par E. Bailly (CNRS UMR 6012 Espace, Nice)

### **Un exemple d'application de modèle mathématique**

- *Description de l'application*

On travaille sur des types de ménages, la définition de ces types étant notamment basée sur la notion de cycle de vie des ménages. Du point de vue spatial, on considère un découpage par quartiers de la ville. Chaque quartier est caractérisé par un ensemble d'attributs : nombre d'habitants, composition socio-professionnelle des habitants, âge des ménages présents, type d'habitat (individuel, collectif, location ou pas, HLM...), caractéristiques des logements présents (nombre de pièces, standing), etc. Les mouvements des ménages d'un quartier à un autre de la ville sont modélisés grâce à des équations mathématiques. On procède en deux étapes. Une première étape (phase d'évaluation) sert à calculer l'attractivité de chaque quartier pour chaque type de ménages. Une deuxième étape (phase de choix) sert à connaître le nombre global de mouvements de chaque type de ménages et la destination des ménages qui vont changer de quartier. La première étape correspond à une approche déterministe des phénomènes, tandis que la deuxième est probabiliste.

- *Nature des résultats de simulation*

Ils consistent en l'évolution du nombre de ménages de chaque type dans chaque quartier de la ville.

- *Simulations envisageables*

Il est possible soit de faire varier les entrées du modèles, c'est-à-dire, les attributs des quartiers, soit de modifier les équations mathématiques (*i.e.* les règles de fonctionnement du système modélisé).

---

<sup>3</sup> Ecole thématique *Simulations et modèles d'analyse spatiale*, à l'initiative du groupe de recherche CNRS 1559 Libergéo, organisée par C. Rozenblat (UMR Espace, Montpellier) et J.-P. Chéry (Cemagref-Engref, Montpellier).

Les modèles présentés lors de cette école ont été rassemblés dans un CD-Rom disponible sur simple demande aux organisateurs.

- *Vers une cartographie participative*

Une cartographie participative consisterait en la cartographie des résultats de simulation fournis par le modèle. La difficulté majeure est d'automatiser la traduction en équations des scénarios imaginés par les utilisateurs. Il est envisageable, soit de mettre en œuvre à l'amont un système expert, pour traduire les choix des utilisateurs en équation, soit de travailler directement en relation avec les concepteurs du modèle. L'autre possibilité est de restreindre les possibilités de simulations offertes aux utilisateurs et de ne permettre qu'une variation des attributs des quartiers.

### **Un exemple d'automates cellulaires**

- *Description de l'application*

On travaille sur une carte « raster » de la ville, c'est-à-dire une carte par « petits carrés », chaque carré représentant en fait une cellule du modèle d'automates cellulaires. Des types d'occupation du sol sont définis : non bâti constructible, bâti pavillonnaire de standing, bâti collectif de type HLM, espace naturel protégé.... Au départ, chaque cellule est affectée d'un type d'occupation du sol. Au cours d'une simulation, les cellules passent d'un type d'occupation du sol à un autre, des règles d'interaction spatiale déterminant ce passage. A chaque pas de simulation (*i.e.* chaque itération), chaque cellule « observe » l'état des cellules qui l'entourent (de près ou de loin, selon les cas). En fonction de son état (c'est-à-dire du type d'occupation du sol qui la caractérise), du temps depuis lequel cet état dure et de l'état des cellules qui l'entourent, elle change ou pas d'état.

- *Nature des résultats de simulation*

Ils consistent en des cartes « raster » simulées de la ville. Considérant une simulation, on obtient autant de cartes que d'itérations pour cette simulation.

- *Simulations envisageables*

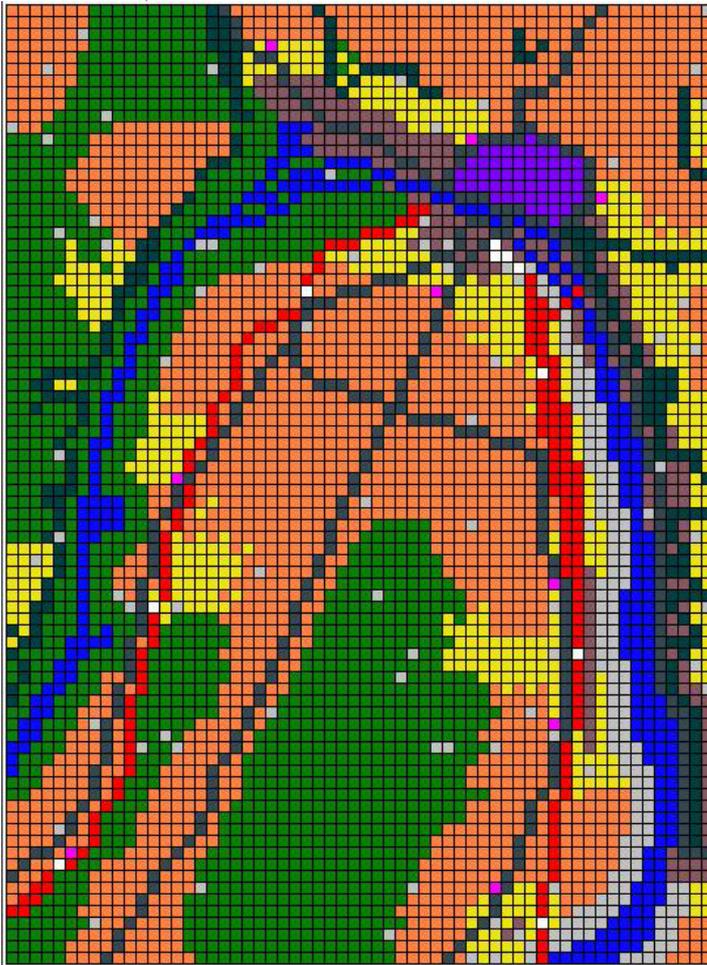
On modifie les règles qui font changer d'état les cellules. Par exemple, on choisit d'introduire une nouvelle règle : si une route à deux voies vient à être élargie en route à quatre voies, le bruit dû à la circulation routière va nettement augmenter et les habitations de standing, situées à proximité de cette route, vont petit à petit être occupées par des ménages de revenus plus modestes qu'initialement. Au sein de l'automate cellulaire, cette règle pourrait s'exprimer ainsi : si une cellule de type « *habitat collectif de standing* » a dans son voisinage immédiat plusieurs cellules de type « *route à quatre voies* », cette cellule deviendra de type « *habitat collectif de faible standing* » au bout de cinq étapes de simulation.

- *Vers une cartographie participative*

Ce type de modèle peut quasi directement servir de base à une cartographie participative, pour peu qu'on lui adjoigne une interface utilisateur adaptée.

## Exemple d'image obtenue grâce à un automate cellulaire

Rouen : évolution simulée à partir d'une carte de 1903 grâce au logiciel Spacell (UMR IDEES, Laboratoire MTG, Rouen)



Légende	
habitat individuel	Ri
routes	Rt
Seine	Hy
gare	Ga
forêt	Fo
Friches	Fr
Résidentiel historique	Rh
Forêt domaniale	Fd
Voie ferrée	Vf
industrie	In
Résidentiel dense	Rd
centre commercial	Cc
pente	Pt
université	Un

## Un exemple d'application de système multi-agent

- *Description de l'application*

Comme dans le cas d'un automate cellulaire, on travaille à partir d'une carte « raster » de la ville, chaque cellule étant caractérisée par un type d'occupation du sol (espace vert non constructible, route, terrain constructible, habitat collectif...). Mais, à la différence d'un automate cellulaire, les cellules sont ou non habitées : un certain nombre de ménages réside dans chaque cellule, ce nombre évoluant au cours d'une simulation. Les agents de ce système multi-agent sont donc les ménages habitant dans la ville. On considère que les ménages se différencient les uns des autres essentiellement par leur capital socio-culturel. Chaque cellule habitée est donc caractérisée, outre par son type d'occupation du sol, par le capital socio-culturel de tous les agents qui y résident.

Au cours d'une simulation, les agents se déplacent dans la ville. A chaque étape d'une simulation, ils visitent une cellule au hasard. En fonction de leurs caractéristiques propres (notamment, de leur capital socio-culturel), ils évaluent chaque cellule visitée comme étant plus ou moins attractive pour eux. Une des principales règles est que les agents cherchent à s'élever dans l'échelle sociale : s'ils visitent une cellule au capital socio-culturel plus élevé que la leur, et dans laquelle ils peuvent s'installer, ils changent de lieu de résidence. Des

règles déterminent le fait qu'ils puissent ou non s'installer dans une cellule qu'ils considèrent comme étant plus intéressante que la leur. Quand des agents au capital socio-culturel assez faible s'installent dans une cellule caractérisée par un capital socio-culturel plus élevé, le capital socio-culturel caractérisant cette cellule diminue. Dès lors, aux pas de simulation suivants, les agents bénéficiant du capital socio-culturel le plus élevé résidant dans cette cellule vont la quitter dès que possible.

- *Nature des résultats de simulation*

Au fur et à mesure du déroulement des itérations, on visualise l'évolution de la structure spatiale du tissu urbain simulé, à la fois en termes quantitatifs (nombre d'habitants dans chaque cellule) et qualitatifs (capital socio-culturel de chaque cellule).

- *Simulations envisageables*

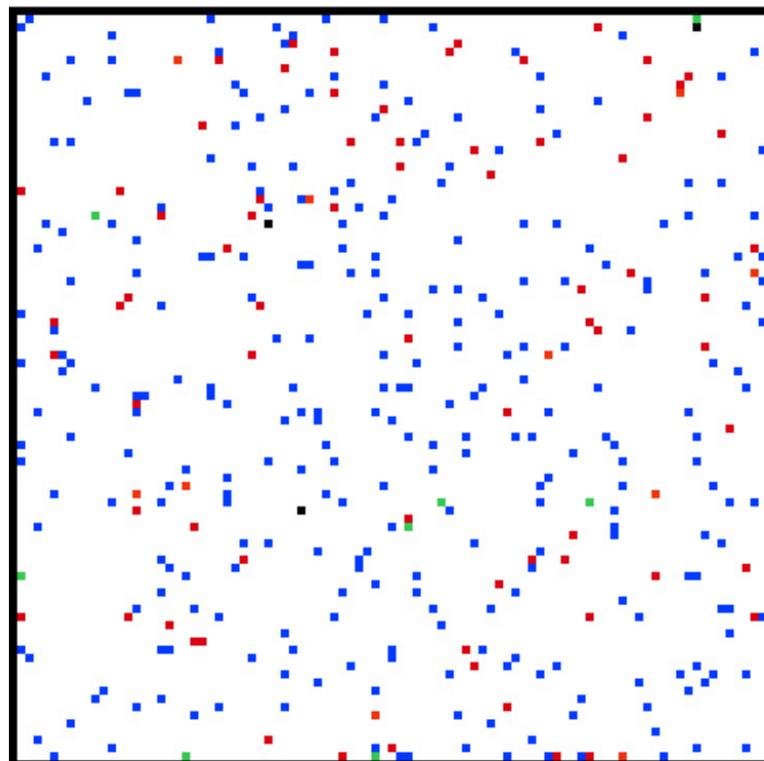
Elle consiste en l'étude de l'impact, sur les résultats de simulation, de la modification des règles déterminant soit la perception des agents, soit leur changement de lieu de résidence.

- *Vers une cartographie participative*

Comme les automates cellulaires, ce type de modèle de simulation peut quasi directement servir d'outil de cartographie participative, pour peu qu'on lui adjoigne une interface utilisateur adaptée.

### **Exemple d'image obtenue grâce à un système multi-agent**

Il s'agit ici d'une simulation réalisée avec le modèle Peuplement (J.-L. Bonnefoy, UMR Espace, Aix-en-Provence), développé grâce au logiciel Starlogo. Les agents (qui se déplacent dans l'espace) sont représentés en bleu. Les points rouges, verts et noirs représentent des villes de taille différente dans lesquelles se fixent les agents.



## Un exemple de modèle de croissance fractale

- *Description de l'application*

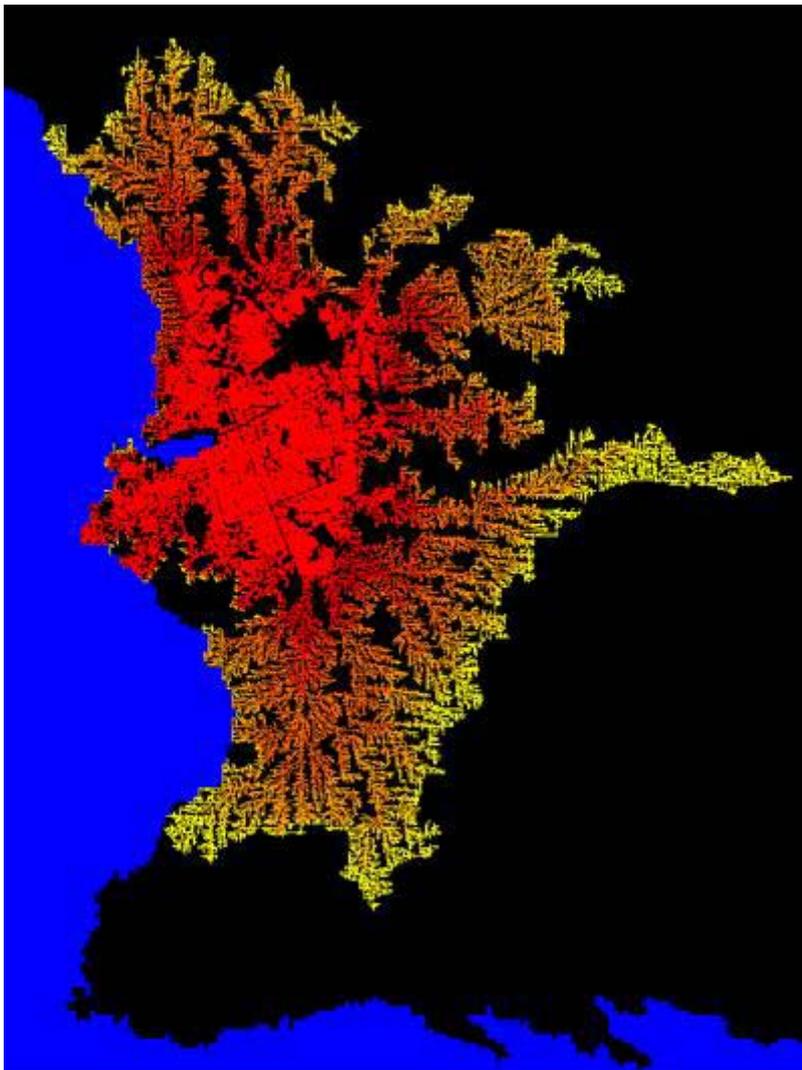
On part sur une image « raster » d'un tissu urbain, constituée de deux types de pixels : des pixels noirs pour représenter l'espace bâti et blancs pour le non bâti. Un modèle de croissance fractale est appliqué à ce tissu. Ce faisant, à chaque pas de simulation, de nouvelles zones noires (bâties) apparaissent, la principale contrainte à leur apparition étant que le tissu urbain ainsi simulé soit de nature fractale. D'autres contraintes peuvent être intégrées au modèle, qui accélèrent, freinent ou interdisent l'apparition de zones bâties (rivière, déclivité des pentes, exposition...).

- *Nature des résultats de simulation*

Ils consistent en des cartes « raster » simulées de la ville. Considérant une simulation, on obtient autant de cartes que d'itérations pour cette simulation.

### Exemple d'image obtenue grâce à un modèle de croissance fractale

Image résultant d'une simulation réalisée avec SFC-Fractal (E. Bailly, UMR Espace, Nice). En rouge, le noyau urbain originel. En orange et jaune, l'expansion urbaine simulée. En bleu, la mer.



- *Simulations envisageables*

Il est possible d'agir soit sur la forme du tissu urbain à partir duquel sont réalisées les simulations, soit sur les contraintes qui gèrent l'apparition de nouvelles zones bâties.

- *Vers une cartographie participative*

La recherche en ce domaine n'est, à l'heure actuelle, pas assez avancée pour envisager des applications concrètes immédiates. Pour qu'un tel modèle puisse servir de base à une cartographie participative, les possibilités de simulation doivent être améliorées. Par exemple, il faudrait disposer de plusieurs modèles de croissances fractales, permettant de générer des tissus urbains aux caractéristiques bien différenciées. Cela permettrait de simuler plusieurs évolutions envisageables du tissu urbain originel, correspondant à des visions différentes de ce que vers quoi devrait tendre ce tissu (densification, étalement, hiérarchisation plus ou moins prononcée...).

L'étude comparée des quatre exemples qui viennent d'être présentés permet de mettre en évidence les propriétés et l'intérêt de chacun des modèles.

- Un modèle d'automates cellulaires est complètement basé sur l'identification d'interactions spatiales sur un espace. Le comportement des agents est modélisé de manière implicite. Ce type de modèle permet de travailler sur la structure et les recompositions internes d'un espace, mais aussi sur des phénomènes d'expansion d'un phénomène (de type étalement urbain).
- La modélisation d'un système multi-agent est centrée sur l'analyse des comportements des individus. Ceci permet de modéliser l'émergence de structures spatiales (dispersion, concentration, organisation en auréoles concentriques), à partir d'une modélisation de ces comportements.
- L'utilisation de modèles mathématiques, tels que celui présenté, permet de travailler sur l'articulation entre les niveaux d'analyse microscopique et macroscopique. La confrontation entre les caractéristiques des lieux et celles des individus est au cœur de ces modèles. L'incertitude inhérente, tant à l'incomplétude de la connaissance des phénomènes modélisés qu'à la modélisation des choix de nombreux individus, est prise en compte grâce à l'introduction de probabilités.
- Les modèles de croissance fractale permettent la simulation de formes globales. Les choix résidentiels ne sont pas modélisés, seul leur résultat, en termes d'évolution morphologique de la zone urbanisée, l'est. Le fait de travailler uniquement sur la forme d'un tissu urbain permet d'aborder directement des questions d'aménagement, telles que celle opposant la ville compacte à la ville étalée.

### **De la simulation à la cartographie participative**

- 1- Au moment de la construction du modèle, l'utilisateur exprime ses connaissances relatives au système modélisé, sous la forme d'hypothèses sur le fonctionnement d'un espace (par exemple, lors de leur choix résidentiel, les jeunes ménages avec

enfants cherchent préférentiellement une maison individuelle, proche d'une zone verte).

- 2- Une fois le modèle construit, lors des simulations, l'utilisateur exprime ses choix (par exemple, la construction d'un nouvel échangeur autoroutier), ses vœux (il souhaite que tout individu ait accès à un commerce) ou encore ses craintes concernant le fonctionnement futur de cet espace.
- 3- Ensuite, soit le modèle de simulation restitue une représentation cartographique (ou un enchaînement temporel de représentations cartographiques) correspondant aux conséquences envisageables des idées et des choix exprimés, soit il fournit des résultats chiffrés qui doivent ensuite être cartographiés.

Au regard d'une entreprise de cartographie participative, l'intérêt des modèles de simulation spatiale est qu'ils offrent la possibilité d'imaginer un grand nombre de scénarios et de visualiser (plus ou moins directement) les conséquences envisageables de ces scénarios. Dans ce cadre, la cartographie participative ne se résume pas à l'expression d'idées en matière d'aménagement. Elle consiste surtout à explorer les conséquences possibles de ces idées et, finalement, à les préciser corrélativement à l'émergence d'une meilleure compréhension du fonctionnement des espaces étudiés.

Une grande part de la réussite d'une démarche de cartographie participative, basée sur l'utilisation de modèles de simulation spatiale, réside dans la qualité des modèles mis en œuvre. Celle-ci dépend d'une part, de la connaissance, par les concepteurs des modèles, des phénomènes étudiés (par exemple, dans le cas d'une simulation des choix résidentiels, il importe de bien connaître les facteurs qui régissent les localisations résidentielles). D'autre part, réaliser un bon modèle nécessite de maîtriser les outils de modélisation qui ont été choisis : ce qu'il veut dire et ne pas dire, leurs présupposés... L'investissement tant thématique, que méthodologique, est donc important.

Actuellement, l'utilisation de modèles de simulation, tels que ceux qui ont été présentés, pose encore de très nombreuses questions. Les présupposés à la base de ces modèles ne sont pas toujours maîtrisés, et leurs conséquences, en termes d'hypothèses concernant le fonctionnement des espaces modélisés, sont de ce fait insuffisamment explicites. Ainsi, l'utilisation des modèles informatiques (automates cellulaires et systèmes multi-agents) soulève le problème de la convergence des solutions : l'introduction de règles de fonctionnement différentes peut aboutir à des résultats de simulation similaires. Dès lors, l'interprétation de ces résultats peut être délicate. Concernant les modèles de croissance fractale, ils sont basés sur l'hypothèse de la fractalité des tissus urbains. Or, si de nombreuses observations ont montré l'intérêt d'utiliser la géométrie fractale pour étudier les formes urbaines, les propriétés « fractales » des tissus eux-mêmes sont encore très peu connues. Peut-on déterminer un « degré » de fractalité des tissus urbains ? Comment caractériser les tissus urbains en fonction de leur plus ou moins grande similarité avec des formes fractales aux propriétés bien identifiées ? Quelle interprétation sémantique donner à

ces propriétés ? Autant de questions sur lesquelles se penchent actuellement les spécialistes du domaine.

Finalement, le principe d'une utilisation de modèles de simulation spatiale dans le cadre d'une entreprise de cartographie participative apparaît très prometteur. Les avancées actuelles de la recherche, tant sur le plan technique que conceptuel, permettent d'envisager des applications concrètes à moyen terme. D'ores et déjà, il existe des modèles de simulation, opérationnels car traitant d'un problème précis, mais s'attachant à une réalité moins complexe que les exemples présentés. Ceux-ci pourraient dans l'immédiat servir de base à une cartographie participative.