HAL
open science

Space-Time Models

Denise Pumain

To cite this version:

Denise Pumain. Space-Time Models. Bocquet -Appel J.P. Courgeau D. Pumain D. Spatial Analysis of Biodemographic data, John Libbey INED, pp.258-266, 1996. hal-01760691

HAL Id: hal-01760691

https://hal.science/hal-01760691

Submitted on 6 Apr 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Space-Time Models/
Les modèles spatio-temporels

Denise Pumain

Research on spatio-temporal modeling is placed in the same context as the approaches already presented. Two major problems are : how to aggregate individual data in order to simulate the transition from microscopic to macroscopic level, and how to identify spatial structures, especially from barriers and discontinuities. However, it is another point of view, or more precisely another object which is taken under consideration by this new approach. Instead of describing individual behaviour, spatio-temporal models are most often referring to geographic patterns, to spatial entities which are more or less wide, complex and durable organizations of many individuals in space and time.

The concept of spatial entity

Spatial entities are not only aggregates of individuals, whose simple addition of their properties would be enough for describing them. They are more complex, and they are patterns of spatial organisation that have their own duration of life. These spatial forms are rarely growing in an isolated way, more frequently they are part of systems which may be observed at a given level of organisation. Examples of this are the neighbourhoods in a city and the towns in an urban network. They also may associate several organisation levels, belonging to various, more or less, imbricated spatial scales, like localities, regions, countries and large trading zones for instance. What is called "geographic scale" actually refers to the correspondance between a specific time scale relative to a human activity and its associate spatial range. Spatial entities have been built progressively, then maintained and reinforced through multiple interactions between the individuals that formed them. They appeared because these interactions were constrained into a given range of spatial and temporal scales. As long as they form relatively stable spatial structures, which are marked and identifiable, spatial entities excercise constraints on the individual behaviour and biographies.

Besides territories which are neatly identified through land property or outlined by administrative or political boundaries, most geographical entities have unclear limits in space and time. The aim of spatio-temporal analysis is to identify such structures, measure their extension and describe interdependencies, understand their genesis and anticipate their evolution. The sources of information for these analyses are seldom available when regarding the level of individuals. The data bases including information about the location of individuals are very scarce, or not easily accessible, even in the case of simple population registers. Localised data are very often collected for administrative units which may have appeared as relevant spatial entities in the past, but that have generally lost part of their significance. For instance, data collected at the level of municipalities have to be aggregated in order

La recherche sur les modèles spatio-temporels se situe bien dans les perspectives ouvertes par les approches illustrées précédemment, de l'agrégation des données individuelles pour passer du niveau microscopique au niveau macroscopique, et de l'identification des structures spatiales, en particulier par les discontinuités et les frontières. Cependant, elle implique généralement un changement de point de vue, ou si l'on veut, d'objet. Les modèles spatio-temporels se réfèrent le plus souvent, non pas à l'individu, mais à des configurations géographiques, à des entités spatiales, qui sont des organisations d'individus dans l'espace et dans le temps, plus ou moins étendues, complexes et durables.

Le concept d'entité spatiale

Ces entités ne sont pas de simples agrégats d'individus, dont elles ne représenteraient que l'addition. Elles sont plus complexes, ce sont des formes d'organisation spatiale, dotées d'une durée de vie propre. Ces formes spatiales sont rarement isolées, elles font partie de systèmes observables à un niveau d'organisation donné – par exemple les quartiers d'une ville, les villes d'un même réseau urbain –, ou associant plusieurs niveaux d'organisation, d'échelle différente, plus ou moins emboîtés – « pays », région, nation, grande zone d'échange par exemple. Ce que l'on appelle « échelle géographique » recouvre en fait une certaine correspondance entre une durée spécifique à un type d'activités humaines et la portée spatiale qui leur est associée. Les entités spatiales ont été progressivement construites, puis maintenues et renforcées, par des interactions multiples, mais limitées à une certaine échelle de temps et d'espace, entre les individus qui les constituent. Et tant qu'elles forment des structures spatiales relativement stables dans le temps, repérables et identifiables, les entités spatiales exercent en retour des contraintes sur les comportements et les histoires individuelles.

En dehors des territoires clairement attribués par la propriété ou délimités par des frontières politiques ou administratives, la plupart des entités géographiques ont des limites floues dans l'espace et dans le temps. L'analyse spatio-temporelle cherche à identifier ces structures, à repérer leur extension, à en décrire les interdépendances, à comprendre leur genèse, et à prévoir leur évolution. Les sources d'information dont disposent ces analyses se situent rarement à l'échelon des individus, les bases de données localisées qui partent de ce niveau étant rares ou peu accessibles, en dehors des registres de population. Le plus souvent, les données locales sont collectées dans des unités administratives, qui ont pu constituer à un moment donné des entités spatiales pertinentes, mais qui souvent ont perdu de leur signification : par exemple, des données communales doivent être agrégées pour identifier les entités spatiales cohérentes que sont les agglomérations urbaines, ou encore des régions administratives ne sont pas toujours délimitées

to constitute more consistent spatial units as the urban areas. In other cases, administrative regions do not always represent the optimal delineation for identifying the social or cultural areas one is looking for.

The self-organization paradigm

Through its objective of setting, identifying and explaining relevant entities, spatio-temporal analysis usually refers to systems theory. The paradigm of a system including, finality or regulation as in nineteenth century notions of piloting, has been substitued by the new idea of self-organization. This is more compatible with the human sciences paradigm, preserving a degree of autonomy for the agents. The self-organizing concept implies discovering dependencies between the behaviour and evolution of individuals, who are observed at the microscopic level of the system and the general pattern of that system at the macroscopic level. It also allows for unforeseeable occurences in the evolution of the system, whose structure at one given moment represents only the realization of one configuration among many simultaneously possible ones. It is also compatible with the hypothesis of the non-reversibility of the history of the system.

The innovation using this paradigm in reseach is not linked to the theory, which is an interpretation of the formation of spatio-temporal structures through the repetitive action of agents applying the same type of strategies over a long period of time. This concept existed long before. The novelty has been brought by the use of mathematical models, inspired from physics, which were able to simulate the production, maintenance, and evolution of macroscopic structures from interaction between microscopic units. The models transferred from dissipative structure theory (Prigogine) or synergetics (Haken) describe the evolution of open systems, where the macroscopic descriptors of the system varies according to non-linear interactions between the individual micro-states. These interactions drive the system along an irreversible evolution including alternatively stable and determined trajectories, during which the system keeps its structure and stages of instability where it may bifurcate, unforeseeably towards one or other structures among several possible.

New tools

The model presented by Tim Sigg is a good illustration of the analytic resources provided by this now almost "classical" method of simulation, using a dynamic model made of differential equations.

de façon optimale par rapport aux constructions spatiales ou culturelles que l'on cherche à identifier.

Le paradigme de l'auto-organisation

Dans son projet de repérage, d'identification et d'explication d'entités pertinentes, l'analyse spatio-temporelle s'appuie généralement sur la théorie des systèmes. Au paradigme systémique du siècle dernier impliquant des notions de pilotage, de finalité ou de régulation, s'est progressivement substitué celui de l'auto-organisation, plus compatible avec le paradigme des sciences humaines, qui réserve un certain degré d'autonomie aux acteurs. Ce concept implique la mise en évidence des relations de dépendance entre les comportements et les évolutions des individus, observés au niveau microscopique du système, et la configuration de ce système macroscopique. Il admet aussi une certaine part d'imprévisibilité de l'évolution du système, dont la structure à un moment donné ne représente que l'une des configurations réalisée parmi de multiples possibles, en même temps que l'irréversibilité de l'histoire du système.

Ce qui est nouveau dans les recherches qu'a entraînées l'emploi de ce paradigme ne tient pas à la théorie en elle-même, beaucoup plus ancienne, qui interprète la formation des structures spatio-temporelles par l'action réitérée d'acteurs pratiquant des stratégies analogues dans la durée. La nouveauté a été apportée par des modèles mathématiques, inspirés de la physique, capables de simuler la production, le maintien et l'évolution de structures macroscopiques à partir d'interactions définies entre des unités microscopiques. Les modèles transférés de la théorie des structures dissipatives (Prigogine) ou de la synergétique (Haken) décrivent l'évolution de systèmes ouverts, où les grandeurs macroscopiques qui décrivent le système varient sous l'effet des interactions, non-linéaires, entre les microétats individuels. Les non-linéarités entraînent le système dans une histoire irréversible qui fait alterner les trajectoires stables, déterminées, pendant lesquelles le système conserve sa structure, et des phases d'instabilité au cours desquelles il peut bifurquer de manière imprévisible vers l'une ou l'autre de plusieurs structures possibles.

De nouveaux outils

Le modèle présenté par Tim Sigg illustre bien les ressources analytiques offertes par cette méthode de simulation, désormais presque « classique », qui s'appuie sur un modèle dynamique employant des équations différentielles, et permet, à partir d'hypothèses relatives au comportement

Based on hypothesis relating to individual behaviour, it allows one to observe the various configurations taken by an urban system according to the values of a set of parameters.

The recent development in the modeling of spatio-temporal structures is, however, widely extended through the use of geographical information systems, even if coupling the variety of geocoded information of a GIS and the diversity of methods for spatial analysis and dynamic modeling is far from being realised. In this direction, it may be thought that methods using cellular automata will expand, since they simulate the formation of spatial entities from local interactions between elementary geographical units. The multi-agent systems method, as developed by specialists of artificial intelligence, appear well adapted to the simulation of a large diversity of interactions between geographic entities, as is shown in the application to the evolution of systems of cities presented by France Guérin-Pace *et al.*

Probably further methodological innovations will be in favour of a more direct visualisation of the structures of geographical space, no longer conceived as a simple container, but as the product of relationships between objects. Moving towards this new change in paradigm is the discovery of the fractal aspect of some spatial structures, like the urban agglomerated areas analysed by Pierre Frankhauser.

More classical approaches may though bring significant results and are perhaps likely to be usable more rapidly for operational purposes. Françoise Rollan shows about the recent evolution in the Bordeaux's region that the actual pattern of commuting can be mainly explained by the accessibility map of the suburban communes, weighted by environmental constraints, and that map could appear as a predictor for the future extension of the agglomerated urban area. Alina Potrykovska applies a classical migration model disaggregating flows by age groups in order to analyse the evolution of the population in the Warsaw region.

Towards an evolutionary theory

Many questions of this approach have still to be explored and are far from being resolved. If theories and models of the self-organisation theory provide some explanations about the way spatio-temporal structures may be generated, they do not at all solve the problem of the appearance of new type of entities nor the creation of innovations, which involve the use of new descriptors and new taxonomic categories to describe the course of the evolution of geographical systems. Spatio-temporal models are available, but not a true evolutive theory of spatial systems. The nature of complexity, when defined after the transition between an entity at a given level of organisation and another

individuel, d'observer les configurations variées prises par un système urbain sous diverses valeurs des paramètres.

Le développement récent de la modélisation des structures spatio-temporelles est cependant grandement favorisé par celui des systèmes d'information géographique (SIG), même si le couplage entre la richesse des informations géocodées apportées par les SIG d'une part, et les apports multiples des nouvelles méthodes d'analyse spatiale et de modélisation dynamique d'autre part, est encore loin d'être réalisé. Dans cette ligne, on peut supposer que les méthodes s'appuyant sur le concept des automates cellulaires, qui simulent la formation d'entités spatiales à partir des interactions purement locales entre unités géographiques élémentaires, sont appelées à se généraliser. La méthode des systèmes multi-agents, élaborée par des spécialistes de l'intelligence artificielle, paraît bien adaptée à la simulation d'interactions variées entre des unités géographiques, comme le montre l'application à l'évolution des systèmes de villes présentée par France Guérin-Pace *et al.*

Il est probable que des innovations méthodologiques ultérieures permettront de visualiser plus directement les structures de l'espace géographique, conçu non plus comme un simple support mais comme le produit des relations entre les objets. C'est à ce nouveau changement de paradigme que nous invite la reconnaissance de la fractalité de certaines structures spatiales, comme celle des tissus urbains analysés par Pierre Frankhauser.

Des approches plus classiques sont cependant porteuses de résultats significatifs et peut-être susceptibles d'une utilisation opérationnelle plus immédiate. Ainsi, Françoise Rollan démontre-t-elle, à propos de l'évolution récente dans la région de Bordeaux, que la configuration géographique actuelle des navettes domicile-travail, s'explique en grande partie par la carte de l'accessibilité des zones péri-urbaines, pondérée par des contraintes du milieu, et qu'elle peut aussi être conçue comme un précurseur de l'extension ultérieure de la zone d'urbanisation agglomérée. Alina Potrykovska applique un modèle classique de désagrégation des flux migratoires pour analyser les mouvements de population dans la région de Varsovie.

Vers une théorie évolutive

Bien des points de cette recherche doivent être encore explorés et sont très loin d'être élucidés. Si les théories et les modèles de l'auto-organisation apportent certaines explications quant aux modalités de la morphogenèse des structures spatio-temporelles, elles ne résolvent en rien le problème de la création d'entités d'un type nouveau, de l'apparition des innovations, requérant l'emploi de nouveaux descripteurs et de catégories taxonomiques nouvelles pour décrire le cours de l'évolution des systèmes géographiques. On dispose certes de modèles spatio-temporels, mais pas encore d'une véritable théorie évolutive des systèmes spatiaux. La nature

entity of a higher level, is still a poorly understood question and not properly treated by spatio-temporal models. It is then very difficult to understand where the difference is between a simple aggregate and a true entity or to manage the necessary change in descriptors (or at least in their significance) when jumping from one level to the other. Finally, the more technical problem of validating models which are no longer analytical, but make simulations, still appear as one of the delicate questions to consider when doing the necessary backward and forward move between evolutionary theory and spatio-temporal models.

de la complexité, entendue comme le passage entre une entité d'un certain niveau d'organisation et une entité de niveau supérieur, est encore très mal comprise et peu abordée par les modèles spatio-temporels. Il est ainsi très difficile de comprendre ce qui fait la différence entre un simple agrégat et une entité, ou de gérer le nécessaire changement des descripteurs ou au moins de leur signification, lorsque l'on passe d'un niveau à un autre. Enfin, le problème plus technique de la validation de modèles qui ne sont plus analytiques mais qui réalisent des simulations est toujours signalé comme l'une des questions délicates à considérer lorsqu'il s'agit d'effectuer le nécessaire va-et-vient entre théorie évolutive et modèles spatio-temporels.

REFERENCES

Allen, P., Sanglier, M. (1981), Urban evolution, self organisation and decision-making, *Environment and Planning* 13: 168-183.

Couclelis, H. (1985), Cellular worlds: a framework for modeling micro-macro dynamics, *Environment and Planning* A17: 585-596.

Dendrinos, D.S., Mullaly, H. (1985), *Urban Evolution: Studies in the Mathematical Ecology of Cities*. Oxford, Oxford University Press.

Haag, G., Weidlich, W. (1984), A stochastic theory of interregional migration, *Geographical Analysis* 16: 331-357.

Haken, H. (1977), *Synergetics, an Introduction. Berlin*, Springer, 2nd ed.

Pumain, D. (1989), Spatial Dynamics and Urban Models, in : Hauer J., Timmermans H., Wrigley N. eds, *Urban Dynamics and Spatial Choice Behaviour*, Dordrecht, Kluwer: 155-174.

Pumain, D., Sanders, L., Saint-Julien, T. (1989), *Villes et auto-organisation*, Paris, Economica.

Sanders, L. (1992), *Système de villes et synergétique*. Paris, Anthropos.

Wilson, A.G. (1981), *Catastrophe Theory and Bifurcation: Application to Urban and Regional System*, Croom Helm, London.