

MODELISATION MULTI-AGENTS ET APPLICATION AU SYSTEME DES VILLES EUROPEENNES (1950-2000) : LE MODELE EUROSIM.

Jean-Marc Favaro

doctorant – UMR8504 Géographie-Cités, CNRS/Université Paris I

Un Système Multi-Agents (SMA) se présente comme une application informatique dans laquelle des agents communiquent et interagissent en fonction d'un ensemble de règles prédéfinis et paramétrées par son concepteur. En raison de leur grande flexibilité permise par l'emploi de langages de programmation combinant indifféremment règles logiques et équations, les SMA se sont rapidement avérés des outils très intéressants dans le domaine de la modélisation de systèmes complexes pour lesquels le formalisme mathématique s'avérait inadapté. Ce qui est souvent le cas en sciences sociales, et tout particulièrement en géographie urbaine, où les tentatives de transposition de modèles physico-chimiques ou biologiques ont, malgré un intérêt indéniable, assez rapidement rencontré des difficultés pratiques et/ou théoriques difficilement surmontables.

Le modèle EUROSIM est un système multi-agents (SMA) qui vise à simuler l'évolution du système des villes européennes entre 1950 et 2050, développé par une équipe pluridisciplinaire dans le cadre du projet de recherche européen TiGrESS. Etant donné le contexte de cette rencontre, notre objectif n'est pas ici de présenter des résultats qui n'intéresseraient certainement que des géographes (ou des économistes) spécialistes des systèmes urbains modernes, mais plutôt d'utiliser ce modèle comme support à une présentation de ce type de modélisation, articulée autour des deux grandes phases qui constituent la démarche : conception et validation, et du point de vue du spécialiste du champ disciplinaire plutôt que de celui de l'informaticien⁸.

1. Conception du SMA

Les systèmes urbains se caractérisent par l'homogénéité de leur mode d'organisation hiérarchique, d'une part en terme de distribution des populations (Loi de Zipf, qui stipule un rapport quasiment constant entre la taille et la position hiérarchique d'une ville), et d'autre part en terme d'organisation spatiale (Théorie des lieux centraux de Christaller). Cette propriété, particulièrement surprenante si l'on considère la diversité des contextes historiques, a conduit à partir des années 70 au développement de nombreuses théories basées sur un formalisme mathématique strict, visant à « expliquer » à partir de mécanismes plus ou moins simples l'émergence de telles structures spatiales.

L'objectif d'EUROSIM est naturellement similaire, si ce n'est qu'il est appliqué à un système réel : identifier les règles qui seraient nécessaires et suffisantes pour reproduire une évolution cohérente avec celle observée pour le système des villes européennes entre 1950 et 2000. Mais la principale différence réside dans l'isomorphisme qu'autorise le SMA entre le modèle théorique dont l'on dispose (ou que l'on souhaite construire) et son implémentation, c'est-à-dire la possibilité d'introduire dans le modèle une partie significative des connaissances acquises sur les systèmes urbains, là où les modèles physico-mathématiques imposent souvent d'importantes contraintes. Un des aspects que nous avons voulu explorer avec ce modèle est la possibilité de faire coexister différentes logiques d'interaction spatiales, conduisant à l'émergence de réseaux de villes de nature différente.

1.1 L'objet-ville

Les SMA sont basés sur la notion d'**objet**. Un objet est une entité informatique (un programme) situé dans un environnement virtuel, plongé dans une structure, capable de :

- agir avec son environnement
- percevoir et partiellement se représenter son environnement (et les autres objets)
- communiquer directement ou indirectement avec d'autres agents

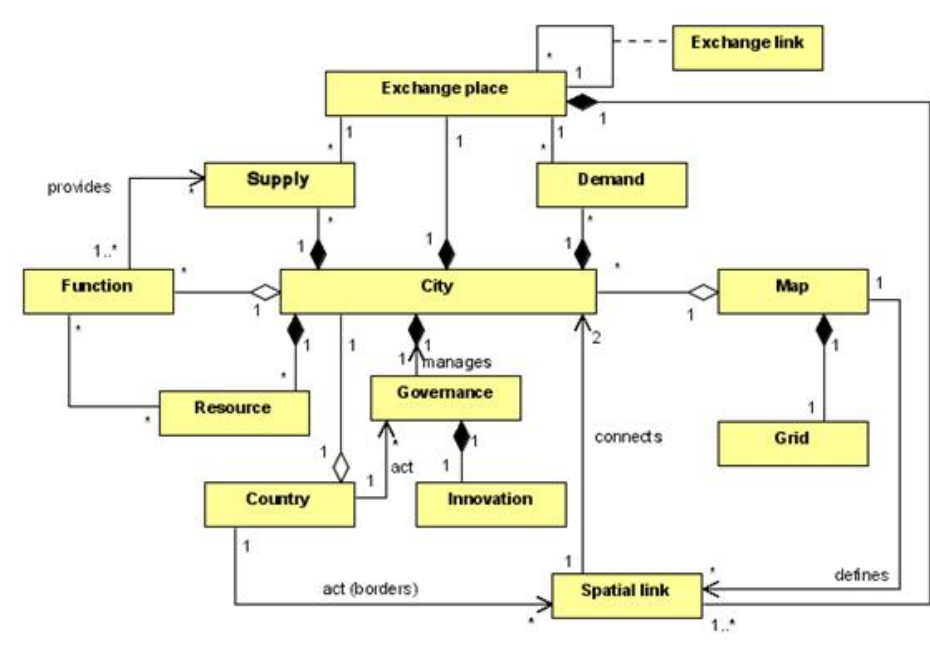
⁸ Les aspects de programmation proprement dits ne seront en particulier pas abordés.

- être mû par des tendances internes (but, recherche, utilité...)
- se conserver et/ou se reproduire

Un SMA est donc une collection d'objets plus ou moins autonomes et inter-agissants, et peut donc se concevoir, selon le degré de réalisme que l'on donne à ces derniers (en terme de fonctionnalités et d'attributs), comme un univers virtuel. Le concept d'objet se retrouve tout au long du développement du modèle, de sa représentation sous forme de schémas fonctionnels lors de la phase de conception (la notation UML), à sa programmation dans un langage orienté-objet (comme Java) lors de son implémentation. L'objet, comme métaphore, est donc présent tout au long de l'élaboration du modèle et présente un atout indéniable, en particulier dans le cadre de travaux impliquant géographes et informaticiens.

Les principaux objets qui constituent le modèle EUROSIM sont les villes européennes, auxquelles nous avons attribuées un certain nombre de caractéristiques et de fonctionnalités (voir figure 1) : une position géographique, une population, des spécialisations économiques, appelées fonctions, ainsi que différentes fonctionnalités leur permettant d'assurer la croissance de leur population (qui est leur objectif final) : produire des biens et des services, et effectuer des échanges marchands avec d'autres villes, le tout dans le but de satisfaire la demande de leur population.

Figure 1. Diagramme de classes de l'agent-ville



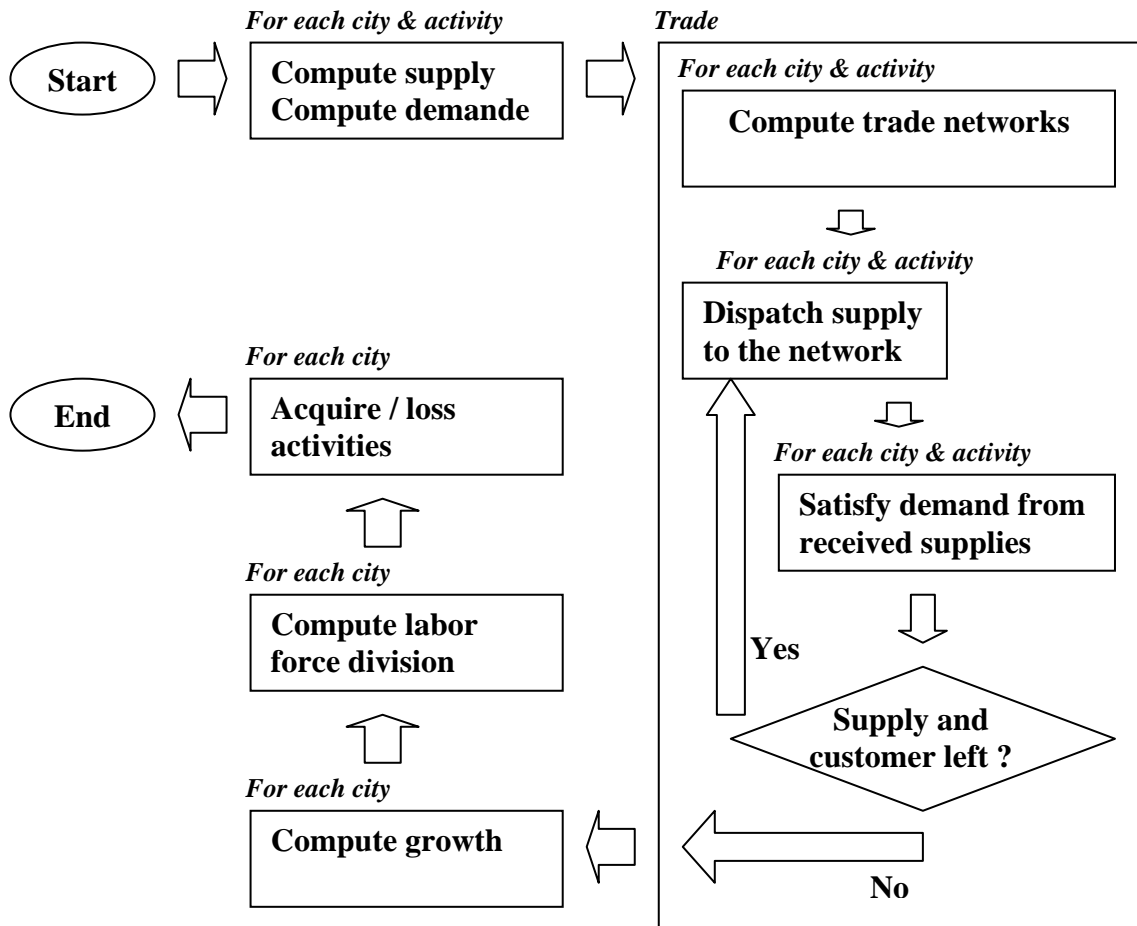
Le caractère métaphorique du SMA transparait véritablement dans la spécification des fonctionnalités et des caractéristiques d'un objet. L'emploi d'un langage informatique permet en effet de combiner aisément différents éléments :

- des règles logiques du type SI [...] ALORS [...]
- des équations
- des variables stochastiques
- des constantes

1.2 Architecture du système et ordonnancement des opérations

Le SMA est par essence dynamique. Il n'existe finalement que lors des simulations, qui consistent à faire réaliser par l'ordinateur supportant le programme un certain nombre d'opérations, selon un schéma pré-établi : un ordonnancement (figure 2). Ce dernier définit en particulier les règles de communication entre les agents.

Figure 2. Ordonnancement des opérations au cours d'un pas de temps



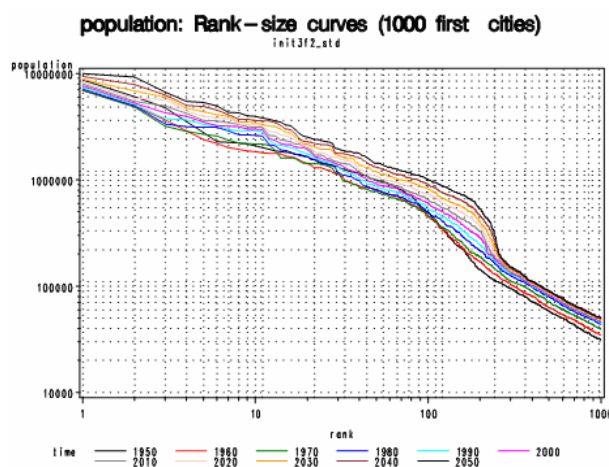
2. Validation du SMA

L'exécution du programme EUROSIM produit une quantité très importante d'informations chiffrées, puisque toutes les variables, pour chaque ville et à chaque itération (populations, flux commerciaux, etc...) sont enregistrées et stockées dans une base de données (environ 1Go). Se pose alors la question de savoir comment analyser ces résultats ? Quels indicateurs construire pour s'assurer de la validité du modèle, c'est-à-dire de sa capacité à reproduire correctement la réalité ?

2.1 La confrontation au réel

La première approche consiste naturellement à effectuer sur ces données simulées les analyses statistiques descriptives que l'on a coutume d'employer sur les données réelles (régression, caractérisations des propriétés distributionnelles des grandeurs-clés). La pertinence du modèle est mesurée à l'aune de sa capacité à reproduire les observations faites sur le réel. La figure 3 montre les pentes rang-taille calculées à différentes itérations dans le système.

Figure 3. Evolution de la loi rang-taille au cours d'une simulation



2.2 Cohérence interne et explorations multiples du modèle

Cependant, très souvent, les phénomènes observés sont susceptibles d'être causés par des mécanismes très différents, c'est le cas en particulier des hiérarchies urbaines. Une autre phase consiste donc à tenter de vérifier la cohérence interne du modèle, c'est-à-dire à s'assurer que le modèle est cohérent aux différentes échelles spatiales, mais aussi dans ses différentes dimensions. La notion d'échelle est essentielle en SMA : la multiplicité des interactions au sein du système (simulé ou réel) est source de non linéarité dans les phénomènes observés, c'est-à-dire que des interactions à un niveau inférieur émergent des phénomènes inattendus (c'est-à-dire non directement déductibles) à un niveau supérieur. Il est ainsi possible que des règles inexactes produisent au niveau supérieur un résultat satisfaisant. Dans le cas d'EUROSIM nous allons donc étudier le comportement du modèle à différentes échelles géographiques (villes, réseaux de villes, pays, régions...), mais aussi dans sa dimension économique (bilan des échanges commerciaux), afin de s'assurer que la hiérarchie observée est bien le résultat de règles cohérentes (figure 4).

Cette phase est naturellement plus délicate que la première, car il n'existe généralement que peu (ou pas) de données réelles pouvant servir d'étalons de comparaison. Elle suppose également de procéder à un très grand nombre de simulations, dans le cadre d'une exploration de la sensibilité du modèle à différentes valeurs des paramètres d'entrée. En termes combinatoires, une exploration précise et exhaustive du modèle peut nécessiter, théoriquement, plusieurs milliards de simulations. Cette contrainte technique, mais aussi cognitive, suggère donc d'appliquer un principe de parcimonie dans la définition des objets.

Figure 4. Une analyse multi-échelle et multi-dimensionnelle

Level Characteristics	Macro Level - Europe	Meso Level 1 -Blocs	Meso Level 2 - countries	Local Level - cities
Population and wealth	- aggregate trajectories of evolution - Analysis of the urban hierarchy rank-size graphs and primacy indexes - Analysis of the urban concentration tables and graphs of the evolution of the top of the hierarchy			- Cities trajectories of evolution
Activity sectors (13)	- Repartition of the labour force according to the 13 specialized sectors - Decomposition of demand and supply according to: sold and unsold, satisfied and unsatisfied			- Maps of specialisations - Profile of the labour force repartition.
Analysis of the interaction networks	- Global statistics	- maps of transborder exchanges	- flow maps	- Size and structure of the networks

Conclusion

Les SMA constituent un outil très puissant de modélisation en sciences sociales, et tout particulièrement en géographie, confronté à des phénomènes complexes. Le modèle EUROSIM est à cet égard une application intéressante puisqu'il permet de simuler un système réel, à partir d'hypothèses bien moins restrictives que celles imposées par les outils mathématiques (équation différentielles, synergétique,..). En revanche, leur grande souplesse peut conduire au développement de modèles dont la complexité peut finir par poser problème. Il est important de ne pas perdre de vue que les modèles sont des constructions visant à schématiser la réalité, simplification nécessaire qui fonde leur utilité.

Bibliographie indicative :

Amblard F, D.Phan (dir.) (2006) *Modélisation et simulation multi-agents : Applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société*, Lavoisier, Paris

Sanders L (dir.) (2001) *Modèles en analyse spatiale*, Lavoisier, Paris

Sanders L (coord.), J-M Favaro, B.Glisse, H.Mathian, D.Pumain (2006) *Dynamics of the European urban network*, Final Rapport WP4 TiGrESS/EVG3-2001-00024 (<http://www.tigress.ac>)