

Partie IV

Introduction à la modélisation multi-agents des systèmes complexes en géographie

La géographie est au cœur de la complexité en sciences humaines et sociales [LR 05]. Elle est la science de l'échelle intermédiaire, celle du présent et du proche, celle qui est directement accessible à nos sens. Elle est aussi le carrefour des échelles inférieures et supérieures, entre les atomes et les étoiles, entre les passés et les futurs lointains. Elle croise presque tous les domaines scientifiques, de la physique (sciences de la terre) à la sociologie en passant par les sciences de vie, de l'homme et de la nature. Contrairement à la physique atomique ou à l'astronomie qui construisent des représentations et expliquent des phénomènes inaccessibles à nos sens, la géographie étudie ce qui est directement observable. De ce fait, la théorisation, forcément simplificatrice, se heurte directement au spectacle de la complexité infinie de la réalité et rendent d'autant plus facilement critiquables ces constructions simplifiées de la réalité.

La géographie est ancrée par essence dans l'espace, la carte géographique en est l'expression directe. Lorsqu'on s'intéresse à des processus complexes, la prise en compte de l'emboîtement des niveaux d'organisation s'avère nécessaire à la compréhension des phénomènes. La modélisation ajoute de plus une dimension fondamentale à l'expression de la dynamique, celle du temps. La représentation multi-échelles dans l'espace oblige alors à aborder aussi les différents niveaux de temporalité des processus en jeu.

La notion d'objet est le concept central sur lequel se fonde la modélisation multi-agents en géographie. Ce concept n'est pas réduit à son niveau technique, celui de la programmation orientée-objet, mais il est pris ici dans un sens « physique » très général, systémique et auto-référenciel : l'objet est à la fois élément d'une organisation supérieure et lieu d'une organisation intérieure d'éléments qui le compose [LAN 05]. L'objet est le concept à travers lequel se structurent les notions premières d'espace, de temps et de matière-énergie. L'objet n'est pas pris seulement dans son sens d'élément matériel inanimé, mais couvre tout le champ disciplinaire, car nous pensons que les mêmes principes élémentaires de structuration et de fonctionnement sont applicables du caillou au groupe social. Les différences entre objets viennent de la diversité des niveaux de complexité et de la combinatoire des processus agissant sur les éléments du système.

Il ne faut pas confondre *fonctionnement* d'un phénomène et *compréhension* de ce phénomène. Les mécanismes de fonctionnement réels, quel que soit leur complexité, se ramènent toujours en fin de compte, à la physique des particules, aux phénomènes ondulatoires, aux champs de forces, etc. Evidemment, ce fonctionnement ultime de la réalité, que ce soit de l'écoulement de l'eau, de la cognition ou des comportements sociaux, n'est pas le bon niveau pour le comprendre. Car la compréhension doit se faire au niveau de l'émergence du phénomène. C'est donc à ce niveau que se construit une théorie véritablement efficace. La neurologie ne pourra jamais nous permettre de comprendre la théorie de la relativité d'Einstein, ou l'art de la fugue chez Bach, pourtant elle a été produite par le fonctionnement de leur cerveau. Par contre, le niveau de l'émergence d'un phénomène, n'est pas le bon niveau pour le faire fonctionner. En modélisation, on utilisera souvent un niveau de décomposition nettement plus fin pour pouvoir prendre en compte une certaine complexité à la fois dans la diversité des objets utilisés et la combinatoire de leurs interactions.

Un agent en géographie est donc avant tout un objet, cela peut être une goutte de pluie, une parcelle de terrain, un camion, un être humain, voire une nation entière. Chaque agent-objet possède une emprise spatiale, une description matérielle, des liens avec son environnement et un comportement. L'emprise spatiale, ou support de l'objet, permet de donner une unité et une identité à l'objet, en délimitant son intérieur de son extérieur. La description matérielle, peut être « terminale » si elle constitue le dernier niveau de description du système, c'est alors une description élémentaire. Elle peut être aussi « non-terminale » si l'objet est lui-même un système composé d'objets plus élémentaires en interactions, il possède alors une double description, globale en tant qu'objet et éclatée à travers ses composants. La notion d'environnement de l'agent-objet indique que l'agent est dépendant des objets proches de lui en terme spatial (contraintes spatiales, frontières, contacts, distances, accessibilités) ou descriptif (groupe social, liens économiques, de pouvoirs etc.).

Modélisation multi-agents des systèmes complexes en géographie

La notion de comportement ne renvoie pas à l'intelligence de l'agent, au sens anthropomorphique du terme, mais décrit sa capacité à faire un choix parmi ses états possibles à venir, par rapport à la « connaissance » qu'il a de son environnement passé et présent. La notion de comportement généralise la notion de rationalité limitée en définissant le comportement comme la capacité limitée de l'agent-objet à la fois à connaître son espace proche, mais aussi à se connaître lui-même, son passé récent, son présent, et à utiliser cette connaissance limitée pour décider de son futur à court terme. L'agent-objet est donc au centre d'un voisinage spatio-temporel limité à la fois vers l'extérieur et vers l'intérieur. En effet, il s'étend dans l'espace depuis les limites extérieures de son environnement et descend jusqu'aux limites intérieures définies par ses composants terminaux (qui sont des boîtes noires). Son voisinage possède aussi une étendue temporelle qui va de son passé proche à son futur proche. Ce voisinage permet à l'objet de définir son identité et la dynamique de son comportement.

En termes informatiques, le comportement de l'agent est défini par un ensemble de mécanismes algorithmiques qui lui permet, à partir du faisceau des trajectoires possibles de son passé pouvant produire son état présent, et devant le faisceau des trajectoires possibles de son futur, de pouvoir évaluer puis choisir la trajectoire d'action qui correspond le mieux à son identité et/ou à son groupe. Lorsque l'objet est simple, son environnement sans obstacle rapproché, et le comportement purement réactif, le futur se construit de manière déterministe par continuité avec le passé, tel le camion lancé sur la route droite, poursuit sa route future, dans le même sens et la même direction que le passé, selon les lois de l'inertie. Son comportement est alors purement de type fonctionnel : $x_{t+1} = f(x_{t-1}, x_t)$, la situation passée x_{t-1} et actuelle x_t ne peut donner qu'une seule situation future x_{t+1} . Mais lorsque l'objet est complexe et est soumis à un environnement lui-même complexe, chaque état présent de l'objet résulte d'un compromis entre des processus en quasi-équilibre qui se contraignent, se combinent, se régulent les uns par les autres, plusieurs trajectoires sont alors possibles pour le futur. L'agent possède un mécanisme lui permettant de décider quelle trajectoire choisir. Ce mécanisme peut être très simple, il peut par exemple faire un tirage au hasard ou prendre la première qui se présente. S'il possède un moyen d'évaluer la plus pertinente, en fonction de ses expériences passées, de la connaissance de son environnement, de sa capacité d'action, de ses objectifs, alors il pourra faire un choix plus « intelligent » que le simple hasard.

Ce mouvement vers l'étude de la complexité des phénomènes géographiques et une informatisation poussée des problématiques géographiques n'est pas récent. La Time-Geography, la synergétique et la systémique ont progressivement amené le géographe à s'interroger sur le rôle de la diversité de leurs objets (individu, ménage, ville), de l'interdépendance des niveaux d'organisation et des interactions dans les phénomènes qu'ils étudient, alors que les méthodes tels les systèmes d'information géographique l'amenaient à formaliser les concepts liés à l'espace et au temps. Depuis

le milieu des années 1990, une branche modélisatrice de la géographie s'appuie sur les principes de l'intelligence artificielle distribuée (IAD) pour simuler des phénomènes complexes. Ce mouvement touche également l'économie, la sociologie et donne lieu à de multiples appellations : *Artificial Societies*, *Agent Based Economy*, *société d'agents Artificiels* etc. L'appellation *Géographie artificielle* s'impose alors comme un idiomatique, reconnue et lisible par la communauté des chercheurs en IAD dont le dénominateur commun est la complexité. Elle s'en distingue par le fait que la granularité des agents va de l'individu social à l'entité spatiale agrégée. La *Géographie artificielle*, reliée à l'informatique, est ainsi un « laboratoire » qui permet la formalisation et la validation de processus locaux aptes, grâce à la simulation, à produire des dynamiques et des structures spatiales de niveaux supérieurs.

Le chapitre 15 présente les concepts spécifiques à l'espace dans la modélisation multi-agents, en particulier tout ce qui concerne la topologie de voisinage des objets spatiaux. Le chapitre 16 illustre l'utilisation des systèmes multi-agents dans l'étude d'un processus de diffusion des innovations. Il s'agit ici de montrer une utilisation des SMA couplant des hypothèses géographiques, en particulier l'interaction spatiale, et des hypothèses sociologiques, comme l'interaction sociale. Enfin le chapitre 17 propose une étude comparative de trois implémentations du modèle de Schelling. Le choix de ce modèle s'impose par sa simplicité, ses aspects pédagogiques et le fait qu'il puisse se formaliser aussi bien dans un contexte AC que SMA. Ce modèle est paramétré par la tolérance des individus et par la densité de population dans le domaine. Il se termine par l'analyse de la dimension des agrégats ainsi produits et de l'évolution du nombre d'individus insatisfaits dans l'espace des paramètres.

Bibliographie

- [DAU 05] DAUDE E., « Systèmes Multi-Agents pour la Simulation en Géographie : vers une Géographie Artificielle », chap. 13 de GUERMOND Y dir. *Modélisations en géographie, déterminismes et complexités*, Londres, Hermès-Sciences, p.355-382, 2005.
- [LR 05] LANGLOIS P., REGUER D., La place du modèle et de la modélisation en Sciences Humaines et sociales, chap. 1 de GUERMOND Y dir. *Modélisations en géographie, déterminismes et complexités*, Londres, Hermès-Sciences, p.35-48, 2005.
- [LAN 05] LANGLOIS P., Complexité et systèmes spatiaux, chap. 11 de GUERMOND Y dir. *Modélisations en géographie, déterminismes et complexités*, Londres, Hermès-Sciences, p.299-319, 2005.