

Modèles et Modélisation en géographie

Céline Vacchiarri - Marcuzzo¹

Introduction

Un des objectifs majeurs de la géographie est de comprendre les multiples façons d'habiter la terre et d'explorer la diversité des systèmes géographiques qui en résultent. Le changement de paradigme théorique et méthodologique survenu dans les années 1960 dans la sphère anglo-saxonne a profondément transformé la géographie en l'ancrant davantage dans une démarche scientifique normative² puis hypothético-déductive³. A partir de ce tournant, la géographie n'est plus seulement la géographie des lieux (approche verticale⁴) mais avant tout une géographie des liens et des interactions entre les lieux, où sont localisées les sociétés humaines (approche horizontale⁵). Pour analyser et comprendre ces organisations spatiales, de très nombreux chemins existent mais par ailleurs, celui de la formalisation, par le biais de la modélisation, des processus qui conduisent à cette différenciation des structures observées est un des plus stimulants intellectuellement. Si la modélisation fait partie de la pratique des géographes depuis plusieurs décennies, l'émergence de données massives géolocalisées, la nécessité de leur traitement et les progrès des outils informatiques, ont fortement accéléré et développé la place de la modélisation et le rôle des modèles en géographie lui conférant ainsi une compétence et une expertise particulièrement recherchée au sein des sciences sociales.

1. Pourquoi modéliser ?

Une des premières questions susceptibles d'être posée au sujet de la modélisation concerne l'objectif envisagé quand on s'engage dans cette voie. Que cherche-t-on à montrer et à démontrer ? Pourquoi modéliser et à quoi cela sert-il dans notre compréhension de l'organisation de la surface de la terre par les sociétés humaines ? En mobilisant un modèle, terme que l'on peut définir comme « une représentation logique, schématisée, simplifiée et idéalisée de la réalité élaborée en vue de la comprendre et de la faire comprendre »⁶, les géographes décrivent, analysent et explicitent les objets et processus spatiaux observés, à différentes échelles, du local au mondial, en passant par divers niveaux mesogéographiques. Le modèle n'est pas la réalité, il est issu d'une construction intellectuelle, il est une abstraction qui vise à comprendre la réalité en la simplifiant. En articulant simplicité et représentativité,

¹ Maître de Conférences, Université de Reims Champagne-Ardenne, UMR Géographie-dités. Ce chapitre s'insère dans un ouvrage collectif qui se caractérise par une très grande diversité thématique des contributions. L'autrice tient à se désolidariser de l'introduction générale de cet ouvrage.

² Démarche où prime la recherche de règles et de régularités observées dans l'espace géographique.

³ Démarche où le réel est observé et interrogé à partir d'hypothèses en mobilisant des théories et des modèles spatiaux, que l'on confronte à la réalité.

⁴ La géographie classique analysait les relations "verticales" entre lieux naturels et sociétés et interprétait les différences observées par la diversité des lieux naturels et l'inégalité des savoir-faire en termes techniques.

⁵ À l'approche verticale, s'est ajoutée l'approche horizontale selon laquelle l'explication des inégalités observées entre les lieux est liée aux échanges et liens créés entre les lieux par les sociétés humaines qui les habitent.

⁶ D'après la définition de Peter Haggett (1965)

l'acte de modéliser porte une double valeur : heuristique et didactique. La modélisation en sciences humaines, de manière générale, est riche d'enseignements, notamment sur les liens qu'elle tisse entre théorie et empirie tout au long de la démarche, dans une forte réciprocity, comme le résume parfaitement le schéma proposé par F. Durand-Dastès (1991).

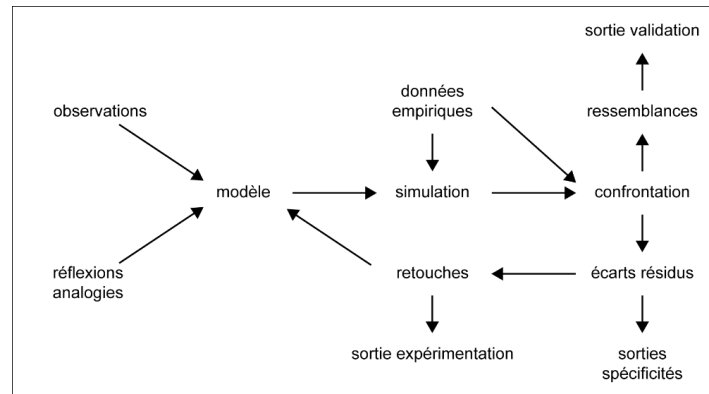


Figure 1. Un modèle de la modélisation, d'après Durand-Dastès, 1991

Modéliser permet d'explorer la question des rapports entre le particulier et le général, même si cette question n'est pas propre à la géographie. En effet, la démarche modélisatrice conduit à la fois à l'observation des processus spatiaux généraux voire universels, ce qui correspond ou se rapproche étroitement du modèle, mais également à la mise en exergue de spécificités, notamment régionales ou locales, ce qui relève de processus plus singuliers. Le modèle joue ainsi le rôle d'un filtre qui permet de révéler « ce qui reste » en dehors de la tendance générale, en l'occurrence les résidus. En effet, aucun déterminisme ne semble pouvoir être établi a priori par les conditions singulières culturelles, historiques d'un territoire. Les héritages constituent une réalité mais chaque espace évolue dans un processus d'adaptation permanente à des contextes en évolution en revisitant sans cesse les traces du passé et en les transformant. C'est donc faire œuvre de géographe que de mobiliser la modélisation pour explorer la diversité des organisations spatiales observées, en faisant la part des singularités locales et des processus communs. Plus encore, modéliser permet de mettre en exergue la dépendance qui caractérise les systèmes géographiques aux conditions initiales montrant que les héritages du passé orientent et contraignent, partiellement, leur développement futur. Cette propriété est également présente dans les théories économiques évolutionnistes où les transformations économiques observées à divers niveaux régionaux (pays, région, ville, etc.) sont en partie issues d'impacts de petits événements historiques qui orientent les dynamiques des innovations.

La modélisation permet ainsi d'investir la complexité des configurations spatiales car elle impose aux géographes d'expliquer toutes les étapes des processus dont ces configurations résultent. En explorant le passé, en testant différentes hypothèses, en proposant divers scénarii, mais aussi en confrontant en permanence les résultats obtenus avec la situation empirique, les géographes disposent, avec la modélisation, d'un outil méthodologique robuste pour comprendre et faire comprendre les situations observées à la surface de la terre au temps t et pour également prévoir ce qui adviendra au temps $t+1$. Le but ultime recherché par la modélisation est toujours d'expliquer *in fine* les processus observés, à différentes échelles mais surtout de s'enrichir de nouvelles connaissances et d'apprendre (Banos, 2013).

La situation de pandémie qui sévit à l'échelle mondiale depuis mars 2020 est une parfaite illustration de l'utilité de la modélisation, sur laquelle reposent les études des épidémiologistes. Dans ce contexte, les géographes modélisateurs peuvent également analyser les mobilités entre les différentes villes afin de mettre en avant les conséquences en termes de répartition de la population entre les différents territoires (entre métropoles et villes moyennes par exemple).

2 Comment modéliser ? La grande diversité des chemins

La seconde question après celle du « Pourquoi » est naturellement celle du « Comment ». Les voies pour modéliser sont multiples, multidimensionnelles et ont mobilisé divers langages au cours du temps. Sur cette voie de la modélisation, les géographes ont surtout crisé la route d'autres disciplines, issues des sciences humaines et sociales (archéologie, sociologie, histoire, philosophie, économie) mais également des sciences de la nature (physique, biologie) et de ces rencontres, ont découlé de nombreux transferts de modèles et manières de les formaliser⁷. L'apport plus récent des sciences informatiques dans les savoir-faire a représenté un apport majeur.

Ces disciplines ont en partage la construction de modèles, qui sont avant tout des résumés de savoir, certes simplifiés par rapport à la diversité et la complexité des cas individuels, mais communicables et améliorables parce que codifiés, à un moment donné de l'état des connaissances, par des formalisations mathématiques ou informatiques. (Pumain, 2020)

La démarche de modélisation passe ainsi par un grand nombre de langages que les géographes ont adopté selon leur questionnement et/ou leur objet d'étude. La modélisation s'applique à tous les objets de la géographie même si elle a trouvé un développement particulier dans le cas des villes et des échanges entre lieux. Ces modèles peuvent être statiques (décrivant ainsi une situation observée à un moment donné) ou dynamiques (prenant en compte les processus qui aboutissent à la situation observée). Sans vouloir établir une liste exhaustive, notons que les modèles classiques en géographie ont pu prendre un langage graphique ou cartographique, en lien avec des images ou schémas qui expriment par leur simplification des états mais surtout des processus, comme le fameux modèle de Christaller sur les lieux centraux (1933), les chorèmes, structures élémentaires d'un alphabet de l'organisation spatiale (Brunet, 1980), les classes socio-spatiales, fortement influencées par le modèle centre-périphérie (Reynaud, 1988) ou encore les modèles d'organisation urbaine proposés par l'Ecole de Chicago, concentrique, sectoriel ou polycentrique (Harris, Ullman, 1945). Le langage mathématique est un deuxième exemple de formalisation très largement utilisé dans les modèles. Un grand nombre de modèles repose sur l'expression par des équations des relations entre les lieux, des interactions, tel que les modèles de localisation, ou les modèles sur l'attractivité des lieux (Reilly, 1929) ou encore le modèle gravitaire, sans doute l'un des plus utilisés en géographie dans l'analyse des migrations et mobilités par exemple ou des flux commerciaux. Le rôle de la distance est fondamental dans l'ensemble de ces modèles, composante essentielle de l'espace géographique où chaque lieu est par définition localisé par des coordonnées uniques et implique donc un déplacement pour s'y rendre. Plus récemment, s'est développé un autre type de langage et de formalisation étroitement lié au champ des sciences de la

⁷ La confrontation entre disciplines donne également lieu à de nombreux débats notamment sur la question des niveaux d'observation des objets analysés (Sanders, Thomas, Vacchiari-Marcuzzo, 2020).

complexité. L'effort accru depuis les années 2000 des capacités informatiques a permis de mettre en place des modèles de simulation des processus spatiaux dans une dimension inédite jusque-là. Les automates cellulaires et les systèmes multi-agents sont nés de ces innovations liées à l'intelligence artificielle. Ces derniers ont notamment permis de répondre à de nombreux questionnements posés par les géographes et autres chercheurs en sciences sociales en proposant un changement de perspective (Sanders, 2011) et en leur permettant de formaliser davantage les hypothèses concernant la dynamique des systèmes géographiques. Les mises en œuvre de la modélisation sont donc multiples, évolutives et cumulatives. Chaque méthode contribue à l'apport de connaissances et les différentes temporalités des savoir-faire et des savoir-penser de la modélisation ont profondément nourri la discipline géographique.

Il n'y a pas de modélisation parfaite, et surtout, il n'y a pas une seule modélisation. Les choix potentiels sont multiples, et il est de bonne méthode d'utiliser la large gamme de possibilités qu'ils offrent pour faire progresser la connaissance, sans repli frileux ou sectaire sur telle ou telle méthode de modélisation de l'espace (Durand-Dastès, 2001)

3. Un exemple de modélisation de l'évolution des systèmes de peuplement

Afin d'illustrer la pratique de modélisation en géographie, un cas concret est développé dans ce chapitre : celui de l'émergence (morphogénèse) et de l'évolution spatio-temporelle du peuplement, à la fois dans ses processus généraux et ses spécificités en s'appuyant sur un système multi-agents (SMA). Ce choix est pertinent à plusieurs titres : (1) le SMA permet de *décrire* les mécanismes et les fonctionnements de la mise en peuplement d'un territoire mais aussi de la mise en place des villes, notamment par fronts pionniers (dans le cas d'une colonie de peuplement) puis par le processus de croissance urbaine ; (2) il sert également à *expliquer* en testant la pertinence de faits stylisés⁸, applicables à divers types de systèmes. Se posent ainsi les questions suivantes : comment des villes reliées entre elles par des réseaux matériels et immatériels co-évoquent-elles dans un environnement où apparaissent continuellement des innovations sociales et économiques ? Et comment maintiennent-elles à l'échelle macrogéographique des différenciations fonctionnelles, hiérarchiques et spatiales, d'évolution beaucoup plus lente ? Le modèle SIMPOP⁹ permet de tester les effets des processus généraux de l'urbanisation et des interactions entre les villes, en hiérarchisant les paramètres selon leur pouvoir descriptif et les règles qui ont produit une variété de configurations à l'échelle des systèmes de villes. Ces diverses situations sont liées aux conditions de l'interaction spatiale : moyens de connexion, vitesses de circulation, réseaux, portée des échanges à plus ou moins longue distance. À partir du modèle générique, qui définit les règles susceptibles de produire émergence et évolution, trois variantes sont envisagées pour simuler trois situations (*i déd-types*) observables sur la très longue durée (de quelques siècles à deux mille ans)¹⁰. Bien évidemment, la réalité est beaucoup plus complexe que la description utilisée mais l'atténuation de la

⁸ En sciences humaines et sociales, un fait stylisé est une simplification des faits réels.

⁹ SIMPOP est un modèle de Simulation Multi-Agents mis en place par une équipe pluridisciplinaire au sein du laboratoire Géographie-cités qui a ensuite été développé dans plusieurs directions dont SIMPOP2 pour l'analyse des systèmes de peuplement dans diverses aires géographiques et périodes historiques.

¹⁰ type 1 (*type Europe*) : Pays d'urbanisation ancienne, poursuivie sans rupture historique majeure autre que la transition urbaine ; type 2 (*type Inde*) : Pays d'urbanisation ancienne ayant subi une phase de domination coloniale ; type 3 (*type États-Unis et Afrique du Sud*) : Pays neufs, colonisés surtout par migrations externes à partir du XVI^e siècle.

complexité passe par la simplification des faits réels, étape essentielle de la modélisation. Les simulations menées sur des espaces de taille différente^{1 1}, mettent l'accent sur les règles de fonctionnement susceptibles d'expliquer la stabilité de la configuration hiérarchique au niveau macrogéographique du système et le renforcement des contrastes entre les villes au cours du temps. Le rôle des grands cycles d'innovations historiques (techniques de transport, accroissement de la vitesse) a été clairement mis en avant dans l'évolution de la hiérarchie urbaine. Selon les pays et les époques, les systèmes de villes, issus de ces interactions, sont plus ou moins hiérarchisés, les villes sont plus ou moins espacées, et les plus grandes villes, ou métropoles, ont plus ou moins d'importance par rapport au poids des autres villes (primatie ou macrocéphalie). En faisant varier les paramètres, la modélisation permet ainsi de reproduire les aspects généraux et spécifiques de la diversité des peuplements dans le monde.

À partir des propriétés communes établies par le modèle, la simulation de l'émergence du peuplement dans le cas sud-africain (type 3) a permis de tester des hypothèses comparables à celles posées dans le cas des systèmes de villes anciens, notamment sur le rôle des moyens de communication et sur l'impact des cycles d'innovation économique sur la croissance urbaine (Vacchiani-Marcuzzo, 2016). Ce système de villes récent repose sur différentes vagues d'urbanisation depuis 1652, date de l'implantation coloniale au Cap et début de l'émergence du sens urbain^{1 2}. Trois mécanismes principaux constituent le cœur de la modélisation du cas sud-africain : 1) Le premier concerne le rôle des fronts pionniers. Deux fronts se sont succédé : un premier, le long du littoral puis un deuxième, vers l'intérieur du pays, vers les centres miniers, provoquant un basculement du centre de gravité du littoral (urbanisation coloniale) vers le centre nord-est du pays, corrélé au développement du réseau ferroviaire. Le mécanisme des fronts pionniers a donc été mis en place dans la modélisation comme élément déclencheur de l'installation du peuplement, tout d'abord par des populations sédentaires et l'organisation collective d'activités localisées mais aussi par la diffusion du peuplement générant un remplissage progressif du territoire ; 2) Le deuxième mécanisme est celui des cycles d'innovation économique liés aux zones de gisements. La région aurifère devient l'emplacement d'un vaste ensemble urbain en position centrale dans le territoire, autour de Johannesburg et on observe également un effet « littoral » avec le rôle des villes-ports, portes d'entrée et de sortie des richesses ; 3) Le troisième mécanisme est celui des villes possédant la fonction « ville-monde », dont la croissance repose sur des facteurs principalement exogènes. Si la situation initiale adoptée au départ est similaire à celle du modèle utilisé pour l'Europe, les résultats obtenus successivement au cours des simulations (Figure 2) ont révélé que le modèle s'approchait aussi de celui des États-Unis, révélant des caractéristiques hybrides dans le fonctionnement du modèle Afrique du Sud. Cependant, la nécessité de jouer sur la demande internationale pour faire croître le système, élément indispensable pour l'émergence et la croissance des villes, est bien plus forte dans le cas sud-africain que nord-américain. Cela révèle la plus grande dépendance du territoire par rapport aux échanges extérieurs, ce qui l'a inséré très précocement dans les investissements internationaux (afflux de capitaux dès la fin du XIX^e siècle et rôle fondamental dans la mise en place des réseaux de transport ferroviaire, etc.).

^{1 1} Les systèmes de villes analysés s'inscrivent dans des espaces de superficie variable allant de petits pays comme l'Afrique du Sud (1,2 millions de km²), les États-Unis (9,8 millions de km²), l'Europe, ou encore l'Inde (3,3 millions de km²).

^{1 2} Les formes urbaines de la période précoloniale sont davantage des *agratoons*

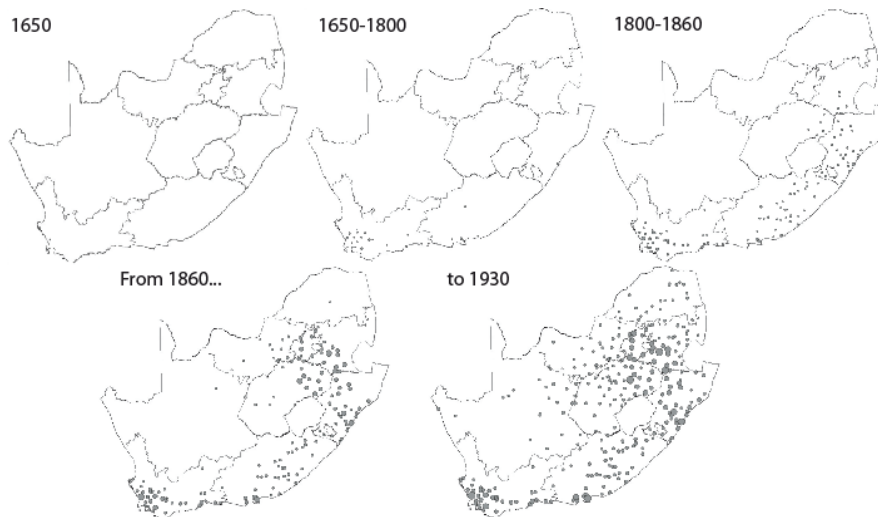


Figure 2 Simulation de la mise en place du peuplement en Afrique du Sud (1650-1930)

Cependant, ces simulations des processus passés révèlent un phénomène qui résiste à la modélisation, ce qui constitue sans aucun doute l'intérêt de la démarche. Il s'agit de l'impossibilité de conduire en quelques décennies à sa taille observée la première ville, Johannesburg, dont le développement repose principalement sur des facteurs exogènes et/ou relève de décisions politiques. Le cas de Johannesburg constitue un point commun avec les États-Unis, où le modèle échoue aussi à faire croître suffisamment les villes nées de la ruée vers l'or ou encore des ressources pétrifiées (Los Angeles, San Francisco ou Dallas). La modélisation ne révèle pas la nature des spécificités, connue par ailleurs, mais elle contribue à les hiérarchiser dans l'explication de la singularité du système de villes. Même si cet exemple de modélisation invite à un retour sur les hypothèses de départ et les paramètres du modèle, le modèle générique élaboré est suffisamment général dans sa conception pour reproduire de façon plausible l'émergence et l'évolution du peuplement dans un territoire quelconque.

Conclusion

Si la démarche de modélisation a trouvé un fort ancrage parmi les géographes et dans l'ensemble des sciences humaines et sociales, favorisant également le dialogue avec les autres sciences, c'est en grande partie du fait de ses nombreux atouts : la simplification de la complexité du réel, l'aide à la compréhension des situations, la capacité à comparer des structures spatiales dans différents contextes ou encore l'anticipation et la prévision. Cependant, des critiques, même si elles sont de moins en moins vives, ont souvent émergé redoutant la trop grande simplification des modèles ou les biais opérés par les choix faits par les modélisateurs. Les géographes sont tout à fait conscients des limites inhérentes à chaque modèle et à chaque démarche mais la confrontation permanente entre les résultats théoriques et les situations empiriques permet de les améliorer afin de contribuer à une meilleure appréhension du monde habité dans ses configurations actuelles et futures.

Références

- Banos, 2013, *Pour des pratiques de modélisation et de simulation libérées en géographie et en SHS*, HDR, Paris 1.
- Durand-Dastès F., 1991, Le particulier et le général en géographie, in F. Audigier et G. Baillat (eds), Actes du 6^e colloque de *Didactiques de l'histoire et de la géographie, des sciences sociales*, 207-216.
- Durand-Dastès F., 2001, Les concepts de la modélisation en analyse spatiale, in L. Sanders (dr.), *Modèles en analyse spatiale*, Paris, Hermès Sciences, 31-59.
- Haggett P., 1965, *L'analyse spatiale en géographie humaine*, Paris, Armand Colin, trad. de l'anglais, éd. 1973.
- Harris C. D., Ullman E. L., 1945, The Nature of Cities, *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, vol. 242, "Building the Future City", 7-17.
- Puomain D (dr.), 2020, *La modélisation en géographie, Villes et territoires*, Royaume-Uni, ISTE Editions.
- Sanders L., 2011, Géographie quantitative et analyse spatiale : quelles formes de scientificités ? in Th. Martin (ed), *Les sciences humaines sont-elles des sciences*, Paris, Vuibert.
- Sanders L., Thomas I., Vacchiani-Marcuzzo C., 2020, On the Survival of Butterflies in the Jungle of Urban Systems, in D. Puomain (ed), *Theories and Models in Urbanization*, Springer, 151-167.
- Vacchiani-Marcuzzo C., 2016, *L'Afrique du Sud est-elle un cas à part ? Analyse d'une hybridité urbaine*, HDR, Université Paris 1 <https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-01461937>