

# Introduction

**Cécile TANNIER**

*ThéMA, CNRS, Université de Franche-Comté, Besançon, France*

De nombreux objets naturels tels que les lignes de côte, les montagnes, les nuages, les plantes, les cellules, etc., ont des formes très irrégulières. Les formes de la distribution spatiale des implantations humaines sont aussi très irrégulières bien que des logiques de régularité sous-tendent souvent leur construction (architecture des bâtiments, continuité des infrastructures, règles d'urbanisme et d'aménagement, etc.). En effet, l'irrégularité et la complexité des formes sont le cas dans de nombreux domaines des sciences naturelles (physique, biologie, chimie, etc.) et sociales (finance, architecture, géographie, etc.).

Historiquement, les mathématiciens ont laissé de côté l'étude de ces formes complexes et irrégulières, car elles ne pouvaient pas être analysées avec les outils mathématiques classiques. Le calcul infinitésimal introduit par Newton et Leibniz au cours du XVII<sup>e</sup> siècle était parfaitement adapté à l'étude de formes euclidiennes lisses et régulières (cercles, rectangles, ellipses, etc.), mais non à celle de formes complexes et irrégulières. Cependant, depuis la fin des années 1960, avec l'introduction de la géométrie fractale, les mathématiciens se sont penchés sur l'étude de ces formes de manière systématique. Depuis lors, tous les domaines des sciences ont été considérés d'un point de vue fractal, ce qui a donné lieu à des avancées importantes notamment en imagerie médicale, en physique dans le domaine de la turbulence des fluides, en biologie pour la compréhension des dépenses énergétiques des organismes et en cinématographie pour la simulation de paysages virtuels.

En géographie, la géométrie et l'analyse fractales ont été appliquées à partir des années 1980, soit très peu de temps après la publication de l'ouvrage fondateur de

B. Mandelbrot (1975). Les premiers travaux ont montré l'intérêt des fractales pour mesurer et modéliser des formes géographiques complexes et tenir compte des relations entre les structures à différentes échelles (Goodchild 1980 ; Arlinghaus 1985, 1987 ; Batty et Longley 1986, 1987 ; Goodchild et Mark 1987 ; Frankhauser 1988). Spécifiquement en géographie humaine, les travaux pionniers ont concerné la fractalité du périmètre des formes bâties (Longley et Batty 1989 ; Arlinghaus et Nystuen 1990 ; Frankhauser 1994), les relations scalantes entre le nombre d'agréats bâtis et leur taille (White et Engelen 1993) et les aspects fractals de la croissance des agglomérations urbaines (Fotheringham *et al.* 1989 ; Frankhauser 1990 ; Batty et Xie 1996, 1999 ; Benguigui *et al.* 2000). Depuis, l'intérêt des géographes pour l'analyse et la modélisation fractales ne s'est pas démenti, en témoigne la publication régulière de nombreux articles traitant de cette approche dans des revues de référence. Les recherches menées dans ce domaine, depuis maintenant une quarantaine d'années, ont contribué significativement à améliorer la caractérisation des formes de la distribution spatiale des implantations humaines et la compréhension de leurs évolutions (Tannier et Pumain 2005 ; Tannier 2018).

Dans le présent ouvrage, nous avons souhaité faire le point sur les concepts et les méthodes d'analyse et de modélisation fractales permettant d'étudier la distribution spatiale des implantations humaines. La construction et la rédaction de l'ouvrage ont été pensées en vue d'apporter une compréhension fine des méthodes et de faciliter la prise en main de logiciels existants. Les principaux concepts et les outils mathématiques sont rappelés, et l'accent est mis sur les intérêts pratiques de leur application pour la description des formes en géographie humaine, ainsi que sur les écueils à éviter lors de leur utilisation. Des renvois d'un chapitre à l'autre favorisent ces apprentissages en familiarisant progressivement le lecteur avec la manipulation des objets fractals et leur interprétation pratique, grâce aux expérimentations menées sur une grande diversité de cas empiriques.

L'ouvrage comporte trois parties. Dans la partie 1 (voir chapitres 1 à 3), nous présentons les notions élémentaires et les figures géométriques de référence utiles pour mener une analyse fractale éclairée et pertinente en géographie humaine. Nous montrons en quoi les formes fractales présentent des propriétés intéressantes pour les géographes, et en quoi et comment le cadre formel de la géométrie fractale permet de travailler sur ces formes. Les fondements mathématiques sont décrits précisément, dans un langage que nous avons souhaité accessible au plus grand nombre de lecteurs. Dans la partie 2 de l'ouvrage, nous exposons en détail les principes de quatre grandes familles de méthodes d'analyse : les analyses fractales de semis de points (bâtiments, intersections de routes, etc.) (voir chapitre 4), les méthodes fractales de délimitation morphologique des agglomérations urbaines (voir chapitre 5), les analyses multifractales de la distribution spatiale des populations (voir chapitre 6) et les signatures trans-échelles pour mesurer les écarts à l'invariance d'échelle (voir chapitre 7). Les modalités d'application de ces méthodes sont décrites en détail et illustrées par de nombreux exemples. La troisième et dernière partie de l'ouvrage est consacrée aux applications de la géométrie fractale pour

l'urbanisme et l'aménagement urbain et régional. Nous montrons notamment que l'introduction de règles fractales géométriques dans les modèles permet de mieux comprendre comment l'espace est organisé à travers les échelles et en quoi il est possible de modifier cette organisation spatiale en prenant en compte conjointement les effets de la distance et de la dépendance d'échelle (voir chapitre 8). Une application du modèle Fractalopolis à l'agglomération parisienne donne ensuite un exemple concret de planification prospective multifractale (voir chapitre 9).

## Bibliographie

- Arlinghaus, S.L. (1985). Fractals Take a Central Place. *Geografiska Annaler*, 67(2), 83–88.
- Arlinghaus, S.L. (1987). *Essays on Mathematical Geography II*. Institute of Mathematical Geography, Ann Arbor.
- Arlinghaus, S.L., Nystuen, J.D. (1990). Geometry of Boundary Exchanges. *Geographical Review*, 80(1), 21–31.
- Batty, M., Longley, P.A. (1986). The Fractal Simulation of Urban Structure. *Environment and Planning A*, 18, 1143–1179.
- Batty, M., Longley, P.A. (1987). Urban shapes as fractals. *Area*, 19(3), 215–221.
- Batty, M., Xie, Y. (1996). Preliminary Evidence for a Theory of the Fractal City. *Environment and Planning A*, 28, 1745–1762.
- Batty, M., Xie, Y. (1999). Self-Organized Criticality and Urban Development. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 3, 109–124.
- Benguigui, L., Czamanski, D., Marinov, M., Portugali, Y. (2000). When and Where Is a City Fractal?. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 27, 507–519.
- Fotheringham, A.S., Batty, M., Longley, P.A. (1989). Diffusion-Limited Aggregation and the fractal nature of urban growth. *Papers of the Regional Science Association*, 67, 55–69.
- Frankhauser, P. (1988). Fractal Aspects of Urban Systems. *Sonderforschungsbereich 230 « Natürliche Konstruktionen »*, 1, 67–76.
- Frankhauser, P. (1990). Aspects fractals des structures urbaines. *L'Espace géographique*, 19(1), 45–69.
- Frankhauser, P. (1994). *La fractalité des structures urbaines*. Anthropos, Paris.
- Goodchild, M. (1980). Fractals and the Accuracy of Geographical Measures. *Mathematical Geography*, 12(2), 85–98.
- Goodchild, M., Mark, D. (1987). The Fractal Nature of Geographic Phenomena. *Annals of the Association of American Geographers*, 77(2), 265–278.
- Longley, P.A., Batty, M. (1989). On the Fractal Measurement of Geographical Boundaries. *Geographical Analysis*, 21(1), 47–67.

Mandelbrot, B. (1975). *Les objets fractals. Forme, hasard et dimension*. Flammarion, Paris.

Tannier, C. (2018). À propos des modèles fractals en géographie urbaine et en aménagement : réfutation de l'esthétique et de la norme universelle. *Cybergeo Conversation* [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://cybergeo.hypotheses.org/209> [Consulté le 14 février 2018].

Tannier, C., Pumain, D. (2005). Fractals in Urban Geography: a theoretical outline and an empirical example. *Cybergeo: European Journal of Geography*, 307 [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://journals.openedition.org/cybergeo/3275>.

White, R., Engelen, G. (1993). Cellular Automata and Fractal Urban Form: A Cellular Modelling Approach to the Evolution of Urban Land-Use Patterns. *Environment and Planning A*, 25(8), 1175–1199.