



HAL
open science

A propos des modèles fractals en géographie urbaine et en aménagement : réfutation de l'esthétique et de la norme universelle

Cécile Tannier

► To cite this version:

Cécile Tannier. A propos des modèles fractals en géographie urbaine et en aménagement : réfutation de l'esthétique et de la norme universelle. 2018. hal-01744133

HAL Id: hal-01744133

<https://hal.science/hal-01744133>

Submitted on 27 Mar 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.

A propos des modèles fractals en géographie urbaine et en aménagement : réfutation de l'esthétique et de la norme universelle

Cécile Tannier

Laboratoire Chrono-Environnement, CNRS-Univ. Bourgogne Franche-Comté, Besançon, France

Billet publié sur le blog "Cybergeog Conversation" le 14 février 2018.

<https://cybergeog.hypotheses.org/209>

Les modèles fractals sont utilisés en géographie urbaine depuis maintenant presque quarante ans, essentiellement pour l'analyse de la forme des villes mais aussi pour la simulation de la croissance urbaine. Les recherches menées dans ce domaine ont significativement contribué à améliorer la caractérisation des formes urbaines et la compréhension de leurs évolutions. En parallèle toutefois, on peut déplorer la circulation d'un certain nombre de mythes, relatifs tant à l'interprétation des résultats d'analyses fractales qu'à l'usage possible des modèles fractals pour l'étude des villes et l'aménagement urbain. Je propose ici de démonter quelques-uns de ces mythes en m'appuyant sur la littérature scientifique dans le domaine¹.

1. Les villes ne sont pas fractales.

On observe, en effet, une variation dans l'espace des mesures de dimension fractale : la dimension fractale estimée pour une ville entière et celle estimée pour chacun de ses quartiers sont différentes. Chaque quartier d'une ville a sa propre dimension fractale, comme le montrent par exemple (Thomas, Frankhauser, Badariotti 2012). Qui plus est, pour un tissu bâti donné, qui peut être celui d'un quartier ou d'une ville entière, même si la courbe représentant le nombre d'éléments comptés N pour chaque taille de fenêtre de comptage ε est correctement ajustée au moyen d'une droite², on observe des variations locales de la pente de cette droite (Frankhauser 1997, 1998, 2004 ; Tannier & Pumain 2005 ; Thomas, Frankhauser, Frenay, Verleysen 2010). De fait, très tôt, des travaux pionniers en géographie ont insisté sur le fait que la dimension fractale n'est pas supposée être constante en réalité (Goodchild 1980) ; le plus souvent, elle est constante pour un certain intervalle d'échelles mais varie à travers des intervalles d'échelles successifs (Lam & Quattrochi 1992 ; White & Engelen 1994).

Les propriétés d'invariance d'échelles et d'auto-similarité statistique des formes urbaines sont donc localement spécifiques, et non universelles, et concernent des plages d'échelles restreintes. En découle, par définition, le fait que les villes ne sont pas fractales.

Quoi qu'il en soit, les mesures de dimension fractale sont intéressantes pour la géographie car elles permettent de caractériser des répartitions spatiales très hétérogènes : « *la dimension fractale étant déterminée à partir des comptages effectués selon différents niveaux de résolution d'une distribution spatiale, ce calcul met en évidence des variations systématiques de la répartition d'un fait géographique donné à travers les échelles. Ces variations sont non proportionnelles, non linéaires, elles n'apparaîtraient pas si on se contentait de mesures plus simples des répartitions comme celle des densités, si souvent employée dans la géographie classique (...)* » (François, Frankhauser, Pumain 1995). En pratique, on pose l'hypothèse qu'une distribution spatiale est

1 La plupart des idées émises dans ce billet sont tirées du mémoire d'habilitation à diriger des recherches intitulé "Analyse et simulation de la concentration et de la dispersion des implantations humaines - Modèles multi-échelles et trans-échelles", chapitre 3 "Variation de la concentration et de la dispersion des implantations humaines à travers les échelles : modèles mono- et multi-fractals", pp. 114-175, C. Tannier (2017). <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01668615v1>

2 La pente de cette droite, représentée dans un graphique double-logarithmique, correspond à une dimension fractale du tissu bâti étudié.

invariante d'échelles (ou statistiquement auto-similaire), et on étudie les écarts à ce modèle. Des écarts à l'invariance d'échelles peuvent apparaître pour certaines plages d'échelles et pas d'autres. Des écarts à l'invariance d'échelles peuvent aussi varier dans l'espace : on met ainsi en évidence des différenciations spatiales.

2. L'évolution de la forme des villes ne suit pas un modèle unique qui aboutirait *in fine* à un état d'ordre fractal.

Pour P. Frankhauser (2004), ainsi que N. Salingaros et B. West (1999), la combinaison de deux types de processus serait à l'origine de l'émergence de tissus urbains fractals : des processus *bottom-up*, consistant en l'action des individus (par exemple, le choix d'acquérir un pavillon neuf en zone périurbaine) et des groupes de pression (par exemple, les actions s'inscrivant dans la logique Nimby (*Not In My BackYard*)), et des processus *top-down* (par exemple, les actions de planification urbaine). Pour F. Schweitzer et J. Steinbrink (2002), l'interaction entre des actions contradictoires de niveau uniquement individuel, en l'occurrence la recherche d'une localisation résidentielle minimisant la distance à la fois au centre-ville et à la bordure urbanisée (campagne), peut aussi être à l'origine de tissus urbains fractals.

L'idée d'auto-organisation est sous-jacente à ces différentes hypothèses. Dans un système auto-organisé, une structure d'ordre méso- ou macroscopique émerge des interactions de niveau microscopique et contraint, en retour, les évolutions futures du système³.

Ainsi, F. Schweitzer et J. Steinbrink (2002) ont émis l'hypothèse que la distribution rang-taille des agrégats bâtis des villes évoluait au cours du temps jusqu'à s'approcher d'une distribution de Pareto. Si tel était le cas, on pourrait en conclure que l'exposant de Pareto est indicateur du stade de développement d'un tissu urbain et que les déviations d'une distribution rang-taille des agrégats bâtis à une distribution parétienne indiquent des potentialités de développements futurs. Cependant, d'autres résultats de recherche empiriques contredisent cette hypothèse. Notamment, L. Benguigui, E. Blumenfeld-Lieberthal et D. Czamanski (2006) ont montré que la distribution rang-taille des agrégats bâtis de Tel Aviv a suivi une loi de Zipf entre 1935 et 1964 puis s'en est progressivement écartée entre 1974 et 2000.

Différents auteurs ont étudié l'évolution de la dimension fractale des villes au cours du temps. Bien qu'une comparaison des valeurs de dimensions entre une étude et une autre soit impossible en raison des différences de données et de méthodes de calcul, les tendances observées sont identiques. P. Frankhauser (1990) a calculé une augmentation de la dimension fractale de Berlin (Allemagne) au cours du temps : 1,43 en 1875, 1,54 en 1920 et 1,69 en 1945. G. Shen (2002) a calculé une augmentation de la dimension fractale de la ville de Baltimore (USA), de 1,015 en 1822 à 1,722 en 1992. Une augmentation de la dimension fractale de la surface bâtie a aussi été mise en évidence pour l'agglomération tri-nationale de Bâle (Suisse, France, Allemagne) entre 1882 et 1994 (Tannier & Pumain 2005) et pour l'agglomération de Lisbonne (Portugal) (Encarnação, Gaudio, Santo, Tenedório, Pacheco 2012) entre 1960 et 2004.

Or si les villes évoluaient selon un processus de croissance fractale, leur dimension fractale ne devrait pas changer au cours du temps, ce que contredisent les études citées ci-avant. On peut objecter que celles-ci considèrent chaque ville au sein d'une emprise spatiale qui est fixe au cours du temps et qui inclut la ville proprement dite (qui s'étend progressivement) et sa périphérie (dont l'emprise spatiale diminue en parallèle de l'extension de la ville). C'est pourquoi d'autres études ont pris en compte la ville selon une emprise spatiale qui croît au fur et à mesure du processus d'urbanisation. Notamment, L. Benguigui, D. Czamanski, M. Marinov et J. Portugali (2000) ont analysé l'évolution de l'agglomération de Tel Aviv de 1935 à 1991 en considérant trois zones d'étude emboîtées les unes dans les autres. Ils ont montré que les différentes parties de l'agglomération se développent différemment, certaines d'entre elles devenant fractales (i. e. statistiquement auto-

3 Certains auteurs ajoutent à l'idée d'auto-organisation celle de facteur limitant, qui correspond souvent à une taille maximale de ville impossible à dépasser (Schweitzer & Steinbrink 2002) ou bien à un taux d'urbanisation maximum (Chen 2016).

similaires sur une certaine plage d'échelles) plus tôt que d'autres et que l'agglomération dans son ensemble ne devient fractale qu'à partir du milieu des années 1980. Leur étude montre aussi que, dans chaque partie de l'agglomération, la dimension fractale augmente à des vitesses différentes.

De fait, une ville ne se construit pas au fil des siècles selon un procédé de croissance fractal qui serait unique et se poursuivrait jusqu'à un stade de "maturité" finale de la forme urbaine. D'une part, les règles présidant à la localisation et à la forme des nouveaux développements urbains changent au cours du temps. D'autre part, le processus d'étalement urbain aboutit à l'intégration progressive dans la ville de zones bâties périphériques pré-existantes (villages, hameaux ou semis diffus relativement dense de bâtiments ruraux). Le tissu urbain d'une ville peut aussi être, à certains moments, profondément modifié par destruction et reconstruction (par exemple, l'Hausmanisation de Paris au XIXe siècle, les villes reconstruites après avoir été partiellement détruites par des bombardements ou des catastrophes naturelles, ou encore la destruction massive de bâti ancien et la reconstruction de larges immeubles ou de gratte-ciels dans les grandes villes chinoises contemporaines). Il existe aussi des cas de croissance urbaine ex nihilo (par exemple, les villes nouvelles de banlieue parisienne).

3. Rien ne prouve qu'une forme urbaine fractale soit, par nature, optimale.

Partant du fait qu'une structure d'ordre fractale peut émerger au niveau méso- ou macroscopique à partir de processus d'auto-organiseurs, la fractalité des tissus urbains est parfois considérée comme un état d'équilibre souhaitable. « *Multifractality represents optimal structure of human geographical systems because a fractal object can occupy its space in the most efficient way. Using the ideas from multifractals to design or plan urban and rural terrain systems, we can make the best of human geographical space* » (Chen 2016)⁴. Dans ce cas, comme le souligne C. Genre-Granpierre (2017) : « [Si] on considère que ces formes fractales auto-organisées sont satisfaisantes (voir optimales), alors l'aménagement devient "inutile" (et même gênant, puisque l'intervention humaine engendre "des déviations à la fractalité") ». Les déviations à la fractalité sont dès lors vues comme étant le signe de dysfonctionnements. Par exemple, pour Y. Chen et J. Wang (2013), l'écart à une structure multifractale de l'agglomération de Pékin est le signe d'un déclin et d'une dégénérescence de la ville centre⁵. Or, nous avons vu précédemment que les villes ou les tissus bâtis de portions de villes ne sont pas fractals. Seraient-ils tous en déclin ou bien dégénérés ? On peut en douter.

Adoptant un point de vue organiciste, d'autres auteurs soutiennent l'idée que la planification urbaine doit viser la création de formes fractales car celles-ci sont observées dans la nature (dans laquelle elles émergent spontanément) et sont donc "naturellement" vertueuses et optimales. Les fractales sont alors érigées en principe esthétique universel, voir par exemple (Jiang & Sui, 2014). Outre le fait qu'un tel principe relève de la croyance plutôt que de la science, l'adopter mène le plus souvent à accorder davantage d'importance aux formes émergentes qu'aux processus qui en sont à l'origine. Les modèles qui en découlent sont essentiellement structurels : ils ne prennent en compte ni les comportements réels des individus (résultats d'une combinaison d'aspirations, de contraintes, et de moyens à disposition), ni l'émergence forte qui caractérise les systèmes sociaux⁶.

De fait, les avantages, en termes fonctionnels, de développements urbains fractals réalistes (partant d'un tissu urbain existant) au regard de développements non fractals sont encore mal connus car peu étudiés jusqu'à présent. Or une forme n'est pas, en elle-même, optimale : elle ne l'est que par rapport aux processus (i. e. aux modes de fonctionnement) qu'elle permet d'optimiser. De plus, l'absolu n'existe pas en termes de distribution spatiale des implantations humaines en raison de la diversité

4 Y. Chen (2016) va même plus loin en émettant l'hypothèse qu'un processus d'urbanisation devrait idéalement s'arrêter au stade pour lequel le taux d'urbanisation L est égal à 0.618 et le ratio urbain-rural correspondant, qu'il nomme "golden ratio", égal à 1.618.

5 Accessoirement, nous avons montré que les "déviations" du spectre multifractal observées par Y. Chen et J. Wang (2013) pour Pékin sont dues à des artefacts de mesure ou bien correspondent à des cas limites des mesures effectuées : cf. (Tannier 2017, page 137).

des contextes sociaux, politiques, économiques, naturels, etc. desquels résultent des fonctionnements des hommes dans l'espace également très divers.

4. Il n'existe pas de "bonne" dimension fractale pour l'aménagement urbain.

Une même valeur de dimension fractale peut non seulement caractériser des formes urbaines différentes mais en outre, peut être produite par des processus quantitativement et qualitativement très divers (Pumain 2017). Par conséquent, la question de la "bonne" dimension fractale, celle qui serait optimale, tombe de fait (Genre-Grandpierre 2017). Aucune dimension fractale ne peut servir de norme universelle pour l'aménagement des espaces urbains.

Ceci n'empêche pas de fixer une dimension fractale à atteindre pour le développement d'un tissu bâti donné (par extension et/ou densification), en adaptant et justifiant le choix de cette dimension au regard des objectifs poursuivis, des spécificités du tissu bâti considéré et de la nature des données qui le représentent.

Références bibliographiques

- Benguigui L., Czamanski D., Marinov M., Portugali Y. (2000). When and Where Is a City Fractal? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 27, pp. 507-519.
- Benguigui L., Blumenfeld-Lieberthal E., Czamanski D. (2006). The Dynamics of the Tel Aviv Morphology. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33, pp. 269-284.
- Chen Y., Wang J. (2013). Multifractal Characterization of Urban Form and Growth: The Case of Beijing. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(5), pp. 884-904.
- Chen Y. (2016). Defining urban and rural regions by multifractal spectrums of urbanization. *Fractals*, 24(1): 1650004.
- Encarnaç o S., Gaudiano M., Santo F. C., Tened rio J. A., Pacheco J. M. (2012). Fractal cartography of urban areas. *Scientific Reports*, 2(527), www.nature.com/scientificreports.
- François N., Frankhauser P., Pumain D. (1995). Villes, densit  et fractalité. Nouvelles représentations de la répartition de la population. *Les Annales de la recherche urbaine*, 67 "Densités et espacements", pp. 55-64.
- Frankhauser P. (1990). Aspects fractals des structures urbaines. *L'Espace géographique*, 19-20(1), pp. 45-69.
- Frankhauser P. (1997). L'approche fractale. Un nouvel outil de réflexion dans l'analyse spatiale des agglomérations urbaines. *Population*, 4, pp. 1005-1040. Version anglaise : (1998). The fractal approach: a new tool for the spatial analysis of urban agglomerations. *Population*, 4, pp. 205-240.
- Frankhauser P. (1998). Fractals geometry of urban patterns and their morphogenesis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2, pp. 127-145.
- Frankhauser P. (2004). Comparing the morphology of urban patterns in Europe. A fractal approach. In A. Borsdorf, P. Zembri (eds) *European Cities: Insights on Outskirts*, Structures, ESF COST Office, Brussels, pp. 79-105.
- Genre-Grandpierre C. (2017). Commentaire sur le chapitre 1. In G. Dupuy (dir) *Villes, réseaux et transport. Le défi fractal*, Economica, Collection "Méthodes et approches", Paris, pp. 31-39.

6 Différents auteurs distinguent l'émergence faible, où des structures macroscopiques peuvent être observées de l'extérieur comme fruit de processus microscopiques, de l'émergence forte où les dynamiques des niveaux microscopiques s'adaptent en retour aux structures des niveaux macroscopiques qu'elles ont engendrées et qu'elles observent de l'intérieur. Les systèmes socio-spatiaux sont caractérisés par une émergence forte : par leur appartenance ou non   un groupe social ou à un lieu, les individus participent à la construction des références collectives qui s'y r f rent ( mergence faible). En retour, l'adoption (ou non) de ces références collectives par l'individu ou le groupe influence son comportement ( mergence forte).

- Goodchild M. (1980). Fractals and the Accuracy of Geographical Measures. *Mathematical Geology*, 12(2), pp. 85-98.
- Jiang B., Sui D. (2014). A New Kind of Beauty Out of the Underlying Scaling of Geographic Space. *Journal. The Professional Geographer*, 66(4), pp. 676-686.
- Lam N., Quattrochi D. (1992). On the Issues of Scale, Resolution, and Fractal Analysis in the Mapping Sciences. *Professional Geographer*, 44(1), 88–98.
- Pumain D. (2017). Commentaire sur le chapitre 3 - Les fractales doivent-elles guider l'aménagement urbain ? In G. Dupuy (dir) *Villes, réseaux et transport. Le défi fractal*, Economica, Collection "Méthodes et approches", Paris, pp. 113-119.
- Salingaros N., West B. (1999). A universal rule for the distribution of sizes. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 26(6), pp. 909-923.
- Schweitzer F., Steinbrink J. (2002). Analysis and Computer Simulation of Urban Cluster Distributions. In K. Humpert, K. Brenner, S. Becker (eds) *Fundamental Principles of Urban Growth*, Müller + Busmann, Wuppertal (Germany), pp. 142-157.
- Shen G. (2002). Fractal Dimension and Fractal Growth of Urbanized Areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(5), pp. 437-519.
- Tannier C., Pumain D. (2005). Fractals in Urban Geography: A Theoretical Outline and an Empirical Example. *Cybergeo: European Journal of Geography*, 307 [En ligne].
- Tannier C. (2017). *Analyse et simulation de la concentration et de la dispersion des implantations humaines - Modèles multi-échelles et trans-échelles*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Bourgogne Franche-Comté, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01668615v1>
- Thomas I., Frankhauser P., Frenay B., Verleysen M. (2010). Clustering patterns of urban built-up areas with curves of fractal scaling behaviour. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37, pp. 942-954.
- Thomas I., Frankhauser P., Badariotti D. (2012). Comparing the fractality of European urban neighbourhoods: do national contexts matter? *Journal of Geographical Systems*, 14, pp. 189-208.
- White R., Engelen G. (1994). Urban Systems Dynamics and Cellular Automata: Fractal Structures between Order and Chaos. *Chaos, Solitons and Fractals*, 4(4), pp. 563-583.