



HAL
open science

Regards scientifiques croisés sur la hiérarchie des systèmes de peuplement : de l'empirie aux systèmes complexes

Lena Sanders

► **To cite this version:**

Lena Sanders. Regards scientifiques croisés sur la hiérarchie des systèmes de peuplement : de l'empirie aux systèmes complexes. Région et Développement, 2012, n°36 pp.127-146. hal-01416929

HAL Id: hal-01416929

<https://hal.science/hal-01416929v1>

Submitted on 15 Dec 2016

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.

Regards scientifiques croisés sur la hiérarchie des systèmes de peuplement : de l'empirie aux systèmes complexes

Lena Sanders, UMR Géographie-cités

Résumé

L'organisation hiérarchique des systèmes de peuplement intéresse plusieurs disciplines, la géographie, l'économie, les sciences régionales, et aussi l'archéologie. L'objectif de cette contribution est de mettre en vis-à-vis les travaux émanant de ces différentes communautés disciplinaires pour comparer, d'une part les interprétations qu'ils proposent des régularités et des écarts relativement à la loi de Zipf, et d'autre part les cadres théoriques adoptés pour identifier les mécanismes qui conduisent à l'émergence d'une certaine organisation hiérarchique du système de peuplement. Dans une première étape est proposée une grille d'analyse fondée sur la nature de l'explication mobilisée et en particulier son niveau de généralité (de l'explication ancrée dans le contexte historique du système considéré, à celle référant aux comportements des systèmes complexes). Cette échelle d'abstraction est ensuite utilisée pour examiner les différentes interprétations qui sont proposées des distributions empiriques, que celles-ci soient conformes à la loi considérée (log-normale ou Pareto suivant les auteurs) ou s'en écartent (distributions identifiées comme systématiquement convexes ou primatales). La troisième étape est consacrée aux modèles de simulation ayant pour but de reproduire l'émergence d'une certaine organisation rang-taille dans un système de peuplement. La littérature sur le sujet est dense et le parti pris a été de s'appuyer sur des applications variées en termes d'échelles, d'espaces et de périodes (préhistoriques ou contemporains, urbains ou régionaux), afin de confronter cette variété empirique à la diversité des points de vue ressortant des débats scientifiques.

Mots-clés : système de peuplement ; loi de Zipf ; systèmes complexes ; interactions spatiales ; émergence ; archéologie ;

1. Introduction

L'organisation hiérarchique des systèmes de peuplement est un objet d'étude, à la fois ancien et extraordinairement persistant, intéressant plusieurs disciplines, la géographie, l'économie, les sciences régionales, et aussi l'archéologie. Les travaux dans ce domaine sont d'une grande diversité, tant sur le plan empirique que théorique. Certains cherchent à tester le caractère universel de la relation rang-taille, en particulier des systèmes de villes, la référence de la plupart des travaux étant la loi de Zipf (1949), avec un coefficient de Pareto égal à 1. D'autres s'intéressent au contraire aux différentes formes d'écart à cette relation, cherchant d'une part à identifier la significativité de ces écarts (Savage 1997) et d'autre part à repérer des régularités dans des distributions convexes ou primatales (Berry 1961, Drennan et Peterson 2004). Dans les deux cas, qu'il s'agisse d'une distribution en adéquation avec ou s'écartant de la loi de Zipf, il s'agit de réfléchir à l'interprétation empirique des distributions observées et à l'explication théorique de leur émergence à l'aide de modèles analytiques ou de simulation.

Les systèmes de peuplement sur lesquels se penchent les disciplines évoquées plus haut sont de nature variée : alors que géographes et économistes étudient les systèmes de villes de pays ou de grandes régions du monde (Batty 2001, Berry 1961, Carroll 1982, Guérin-Pace 1995,

Moriconi-Ebrard 1993, Pumain 1982, Rosen et Resnick 1980, Shepard 1982, parmi d'autres), les applications des archéologues concernent le plus souvent des échelles plus locales (Drennan et Peterson 2004, Johnson 1980, Pearson 1980, Smith 2005 par exemple). Les premiers centrent clairement leurs travaux sur des systèmes dits *urbains*, avec une discussion critique sur le seuil pertinent pour définir des entités urbaines qui fassent sens (Haggett 1965, Berry 2011), alors que les seconds considèrent parfois les niveaux les plus fins du système de peuplement (Pearson 1980). La distribution rang-taille est ainsi utilisée comme outil, et la loi de Zipf comme référence, pour des objets d'étude de nature différente, les applications concernant aussi bien les époques contemporaines et historiques que les époques plus lointaines, des groupes de chasseurs cueilleurs aux sociétés pré-colombiennes (Grove 2010). Il est de ce fait intéressant de mettre en vis-à-vis les travaux émanant de ces différentes communautés disciplinaires pour comparer : - les interprétations qu'ils proposent des régularités et des écarts relativement à la loi de Zipf ; - la nature des modèles développés pour identifier les mécanismes qui conduisent à l'émergence d'une organisation rang-taille ; - le cadre théorique adopté pour développer ces modèles.

L'objectif de cette contribution est ainsi de rendre compte et de discuter des différentes pratiques des chercheurs dans leur utilisation de la relation rang-taille pour interpréter l'organisation hiérarchique des systèmes de peuplement auxquels ils s'intéressent, et pour identifier les processus conduisant à l'émergence, au maintien, ou à la disparition d'une organisation régulière. Beaucoup de positions contradictoires co-existent dans une littérature à la fois dense et variée sur le sujet, avec des applications concernant une diversité d'échelles, d'espaces et de périodes. L'objectif est davantage de donner une idée de la diversité des points de vue que de mettre en avant un consensus. On montrera d'ailleurs qu'au-delà de la diversité tant dans la nature des systèmes étudiés (préhistoriques ou contemporains, urbains ou régionaux), que dans la récurrence de distributions de type Zipf (fréquentes pour les systèmes de villes contemporains, rares pour les systèmes étudiés par les archéologues), et en matière de sources (statistiques sur les populations pour les économistes et géographes, traces et vestiges matériels pour les archéologues), la teneur des débats scientifiques montre de nombreuses similitudes. On procédera en trois étapes. La première consistera à proposer une grille d'analyse fondée sur la nature des explications mobilisées et en particulier leur niveau de généralité. On distinguera, à une extrémité, celles ancrées dans le contexte historique, politique et social du système considéré, et à l'autre celles faisant référence aux comportements des systèmes complexes de façon générale (§2). Dans un deuxième temps, on utilisera cette échelle d'abstraction pour examiner les différentes interprétations que proposent les chercheurs des distributions observées dans leurs travaux empiriques. On s'intéressera aussi bien aux interprétations données aux distributions conformes à la loi considérée (log-normale ou Pareto suivant les auteurs) qu'aux raisons données aux écarts à une telle régularité, ou encore à la récurrence de distributions identifiées comme systématiquement convexes ou primatiales (§3). La troisième étape sera consacrée aux modèles de simulation ayant cherché à reproduire l'émergence d'une organisation rang-taille correspondant à la loi de Zipf dans un système de peuplement (§4).

2. Plusieurs niveaux d'abstraction dans l'interprétation de la relation rang-taille

Les premiers travaux s'intéressant à la relation entre la taille des villes et leur positionnement dans la hiérarchie urbaine datent du début du 20^e s, et se fondent notamment sur le cas des Etats-Unis (Auerbach 1913, Lotka 1925). L'accent est alors mis sur la forme de la fonction liant la taille de ville et son rang, et non sur l'interprétation de la régularité associée. Les

travaux de Zipf (1949) sont le point de départ d'une littérature abondante cherchant à multiplier les cas d'application. La loi de Zipf qualifie les distributions de type :

$$P = k r^{-1},$$

où P désigne la population, r le rang et k une constante.

Le passage aux logarithmes produit une droite de pente (-1). Le constat est d'abord empirique et l'interprétation de la régularité observée a été proposée a posteriori, de manière intuitive (Pumain 2006), comme émanant d'un équilibre entre forces d'agglomération et de dispersion. Nombreux auteurs, en particulier les économistes de la Nouvelle Economie Géographique (NEG), ont exprimé leur perplexité face au décalage entre la force de la régularité empirique et la faiblesse du cadre théorique et des explications sur les mécanismes qui la produisent. Le titre « Confronting the Mystery of Urban Hierarchy » d'un article de Krugman (1996) est révélateur, et il y exprime « the frustrating position of having a striking empirical regularity with no good theory to account for it. » Brakman et al. (1999) soulignent combien il est rare en économie de trouver des relations empiriques qui « méritent d'être appelées « lois » » et que la loi de Zipf est une exception notable.

Comprendre la relation rang-taille représente donc un enjeu pour la plupart des chercheurs, qu'ils soient économistes, géographes ou archéologues. Les stratégies sont en revanche diverses : - identifier les mécanismes sous-jacents à cette organisation et les formaliser de manière analytique ou dans un modèle de simulation; - repérer d'éventuelles régularités statistiques dans la relation entre la forme de la distribution et les autres caractéristiques des systèmes étudiés ; - donner du sens, par l'argumentation, à une forme de distribution observée, ou à la différence de forme entre différents systèmes de peuplement ou d'un même système à différentes périodes de temps. On peut distinguer différents niveaux d'abstraction dans les explications proposées:

- les explications *contextuelles* : elles sont spécifiques au cas précis étudié. Le spécialiste du domaine (géographe, économiste, ou archéologue) cherche à identifier quel contexte précis, quelles formes d'organisation et/ou d'enchaînement d'événements, ont conduit à une organisation du peuplement qui suit une loi de Zipf, ou au contraire s'en écarte. Une telle approche est souvent utilisée pour comparer un même système à deux ou plusieurs dates, en mettant en relation un changement de distribution rang-taille avec un changement sociétal, ou pour comparer différents systèmes de peuplement en interprétant des différences de distribution rang-taille en termes de différences de structuration ou de fonctionnement (politique, économique) des sociétés concernées. En archéologie, une distribution convexe qui devient log-normale pourra par exemple être mise en relation avec une stratification sociale plus accentuée alors qu'en économie et géographie, ce changement sera par exemple mis en relation avec l'amélioration des infrastructures de transport. Ce type d'explication réfère à un contexte spatio-temporel précis et nombreux sont les chercheurs, de l'ensemble des disciplines, à le remettre en cause étant donnée l'énorme diversité des contextes menant à une distribution rang-taille similaire du système de peuplement (Berry 1961, Shepard 1982, Pearson 1980, Dittmar 2010).

- les explications *systémiques* : à un niveau de généralité plus élevé on trouve les explications faisant référence au *niveau d'intégration* du système de peuplement. L'intégration fait référence aux échanges entre les entités de peuplement, ces échanges étant appréhendés de manière diverse dans les différentes applications. La définition de Johnson (1980) est souvent citée : "the extent to which people, materials and information flow within a system of settlements". L'intégration est ainsi vue comme l'existence de flux (information, matériels, de personnes) entre les différentes entités de peuplement. Plus ces échanges sont importants, plus

le système sera considéré comme intégré, avec comme corollaire des taux de croissance indépendants de la taille des villes et non autocorrélés : « Les modalités de croissance s'appliquent à des systèmes de villes intégrés, c'est-à-dire soumis à des contrôles relativement unifiés de leurs interactions » (Pumain 2007).

- les explications *génériques* : se fondant sur le constat d'une extrême diversité de situations politiques, économiques et sociales correspondant à des distributions rang-taille similaires (qu'elles correspondent à la loi de Zipf ou qu'elles soient convexes ou primatiales), plusieurs auteurs défendent l'idée de passer à d'autres niveaux d'explication, plus génériques. Grove (2011) souligne ainsi qu'une structure qui existe à la fois dans les sociétés de chasseurs-cueilleurs et les sociétés industrielles occidentales conduit «... to the unfortunate possibility of each power-law distributed dataset being explained by a different, instance-specific ad hoc hypothesis, and erodes the potential for genuine, generic explanation of the commonalities observed. ». Pumain 2006 préconise ainsi la recherche d'une explication générale des structures hiérarchiques, valide pour des objets de nature différente, émanant des sciences de la nature et des sciences sociales. Pour ce faire plusieurs chercheurs mobilisent la théorie des systèmes complexes et les concepts de chaos borné, de criticalité auto-organisée, de maximisation de l'entropie, pour expliquer la récurrence de la loi puissance dans la distribution des tailles des populations.

Ces différents registres d'explication sont liés et ne s'excluent pas les uns les autres. Suivant leur ancrage thématique et théorique, la plupart des auteurs privilégient cependant un de ces niveaux, et ce quel que soit le champ disciplinaire. Les uns souhaitent produire des connaissances sur *un* système de peuplement précis, les autres sur le fonctionnement des systèmes de peuplement de façon générale.

Le champ étant large, le parti est pris de ne pas viser l'exhaustivité dans la suite de cette contribution mais de privilégier les approches mobilisant les concepts d'*interaction* et d'*intégration*. Ces deux concepts permettent en effet de faire le lien entre les différents registres d'explication mobilisés sur cette échelle d'abstraction et concernent de ce fait à la fois les travaux empiriques et de modélisation. De plus ils sont conceptuellement liés, la notion d'intégration étant à mettre en relation avec la forme et l'intensité des interactions entre les entités d'un système.

3. Interprétation empirique d'une distribution rang-taille : diversité des points de vue

Dans chacun des domaines d'application, économie, géographie, et archéologie, les interprétations empiriques font appel aux deux premiers niveaux d'explication décrits plus hauts. On peut distinguer les travaux mettant l'accent sur la généralité de la relation rang-taille, explorant sa validité en des lieux et des périodes différentes et soulignant la portée heuristique de la comparaison des pentes de ces relations (Batty 2001, Guérin-Pace 1995, Moriconi-Ebrard 1993, Pumain 1982, Schaffar 2009), et les travaux qui s'intéressent explicitement aux écarts à la loi de Zipf (Dittmar 2010, Drennan et Peterson 2004, Smith 2005). Ces écarts fournissent en effet aussi des clés pour donner du sens à cette régularité, identifier les facteurs la faisant émerger, réfléchir à la nature des contraintes qui peuvent l'empêcher. Johnson (1980) souligne ainsi que l'étude des cas présentant une convexité va éclairer sur les « conditions suffisantes » pour que se développe une distribution log-normale. D'une façon générale les économistes se sont davantage penchés sur le caractère universel de la loi de Zipf, multipliant les études empiriques permettant de le vérifier, et recherchant le modèle analytique permettant de l'expliquer, alors que les archéologues, travaillant sur des

peuplements de plus petites tailles, pas forcément urbains, ont davantage mis au point des outils permettant d'analyser et d'interpréter différentes formes d'écarts à cette loi. Cette division des tâches n'est cependant pas systématique comme le montreront certains des exemples mobilisés.

3.1 D'une explication locale à une explication systémique

De nombreux thématiciens appliquant la relation rang-taille à leur terrain de recherche, ont cherché à expliquer la plus ou moins bonne adéquation de la distribution observée à la loi de Zipf en fonction des caractéristiques du système étudié, référant à des phénomènes sociaux différents suivant les disciplines. Les travaux reposant sur une approche comparative surtout ont donné lieu à des interprétations a posteriori des raisons sous-jacentes à un changement ou à une différence. Les explications sont alors ancrées dans l'argumentaire du thématicien, elles sont le plus souvent riche du point de vue thématique, mais présentent un fort risque de surinterprétation. Chaque discipline en fournit de nombreux exemples et de nombreux auteurs mettent en évidence le besoin de passer à un autre niveau d'explication moins dépendant d'un contexte socio-économique particulier.

Déjà en 1961 Berry remettait en cause des idées reçues sur la relation entre la forme de la distribution des tailles de villes et le niveau de développement économique des pays concernés, stipulant qu'une distribution rang-taille log-normale serait le signe d'un système de villes intégré et caractéristique des pays économiquement développés, alors qu'une distribution primatale caractériserait les pays en développement anciennement colonisés (Berry 1961). S'appuyant sur un échantillon de 38 villes aux comportements rang-taille variés, il montre qu'il n'y a aucune relation statistique entre ces comportements et le niveau d'urbanisation d'une part et le niveau de développement économique d'autre part.

La distribution log-normale correspond, à l'inverse, à une situation où les forces sont nombreuses et agissent dans des sens variés, où le système économique est complexe, ce qui est le cas des pays anciennement urbanisés, des pays grands, des pays urbanisés et développés. Berry soulignait ainsi la multiplicité des causes possibles derrière une distribution donnée, et la nécessité de considérer l'existence de plusieurs forces opérant simultanément plutôt que d'envisager une cause unique comme cela l'était souvent fait. Cette multiplicité est également sous-jacente dans les travaux réalisés par Dimou et Schaffar (2007) sur la distribution des tailles de villes dans les Balkans. Dans le cadre d'un travail portant sur les méthodes d'estimation du coefficient de hiérarchisation, ils montrent la persistance de la loi de Zipf dans un contexte mouvant, enregistrant d'énormes bouleversements politiques et démographiques (migrations).

Les applications en archéologie sont plus tardives mais la loi rang-taille devient rapidement un outil d'analyse des systèmes de peuplement anciens (Smith 2005) et les archéologues se joignent aux géographes et économistes dans le débat sur le sens de la régularité. Leurs travaux ont aussi donné lieu à des surinterprétations. Plutôt qu'indicatrices d'un niveau de développement économique, la régularité rang-taille était souvent interprétée par les archéologues comme correspondant à l'émergence d'élites, à une stratification sociale plus avancée et à une plus forte centralisation du pouvoir (Kowalewski 1990, Smith 2005). Selon Grove (2011) cette interprétation est influencée par les travaux portant sur les sociétés complexes pré-colombiennes ou chinoises. Mais Grove questionne ces interprétations, demandant quels seraient les mécanismes amenant ces facteurs à influencer sur la distribution des tailles de peuplement. Le fait de trouver des régularités similaires pour des sociétés ni

complexes ni stratifiées suggère « that a deeper underlying social process may be in operation » (Grove 2011).

Les différentes disciplines ont ainsi eu à faire face au phénomène de surinterprétation, la nature de celle-ci variant en fonction de l'ancrage disciplinaire, et nombreux auteurs appellent à rechercher des mécanismes explicatifs plus génériques. Le travail sur les écarts à la loi de Zipf permet également de mettre en évidence la multiplicité des facteurs en jeu.

3.2 Intérêt pour les écarts à la loi de Zipf : quel sens donner à des distributions convexes et primatiales ?

Très tôt les chercheurs ont dépassé le simple constat d'une non adéquation à la loi de Zipf en spécifiant la forme et l'intensité des écarts et en interprétant leurs sens pour les systèmes de peuplement concernés. Certains auteurs se sont intéressés prioritairement à la primatie, situation où la plus grande ville est plus grande que ne le ferait attendre la loi. Berry (1961) a ainsi élaboré un modèle graphique pour décrire le passage entre une organisation rang-taille complètement primatiale vers une organisation log-normale, en passant par différentes formes d'intermédiarité. Il interprète la distribution primatiale comme correspondant à une situation où peu de forces sont en jeu et où l'on est face à un système simple : un système petit en dimension, et/ou simple au niveau économique et politique, ou encore qui a une histoire d'urbanisation récente. Berry évoque comme exemples la capitale d'empire ou la capitale émergeant dans un pays neuf. Le modèle illustre graphiquement les différents stades de l'évolution, avec une diversification progressive des tailles de villes et l'émergence à terme d'une distribution log-normale, correspondant à ce qu'il interprète comme une situation où les forces sont nombreuses et agissent dans des sens variés, où le système économique est complexe, en général les pays anciennement urbanisés, les pays grands, les pays urbanisés et développés.

Travaillant sur les systèmes de peuplement préhistoriques, Pearson (1980) s'intéresse également aux distributions primatiales et propose une discussion critique sur leur interprétation à partir de la comparaison de trois cas : - le peuplement de la vallée des Mimbres dans le SW de New Mexico entre 1000 et 1200; - le peuplement des plaines de Diyala (Iraq) vers 2800 av. J.C.; - le peuplement de Ossabaw Island (Georgie) entre 1350 et 1550. Il souligne la très grande similarité des trois organisations rang-tailles correspondantes, toutes trois primatiales, avec une ville relativement grande et les suivantes obéissant à une distribution log-normale. Alors que les systèmes culturels associés sont différents en termes de complexité, de structure et d'organisation, ces différences ne sont pas reflétées dans les formes des distributions rang-taille. Sa démarche est ainsi conceptuellement proche de celle de Berry (1961), la différence étant qu'il compare exclusivement des systèmes à distribution primatiale. Sa conclusion est similaire, préconisant la recherche d'explications plus génériques.

Johnson (1980) s'intéresse, à l'inverse, aux distributions présentant une convexité, i.e. où les entités de peuplement les plus grandes sont de taille moindre que ne le ferait attendre la distribution log normale. Partant de six cas empiriques correspondant ici encore à des terrains extrêmement variés, avec des taille de population allant de 1000 à 800 000 habitants, des superficies correspondant à un rapport de 1 à 1500, et des périodes allant de 2800 av. J.C. au 18^e s. (pour l'Amérique coloniale) et 19^e s. (pour l'Inde), il met en évidence une distribution convexe du peuplement pour chacun des six cas. Il construit ensuite un argumentaire pour expliquer en quoi chacun de ces cas correspond à un système qu'il qualifie de peu intégré. Il

fait l'hypothèse que la convexité relève d'un même processus sous-jacent, avec une inhibition de la loi log-normale due au faible degré d'intégration du système de peuplement. Cette hypothèse implique que si l'intégration du système augmente, la convexité devrait diminuer. Il illustre une évolution de ce type avec deux cas, Susiana en Iran, entre 3800 et 3400 av. J.C. et les Etats-Unis entre 1750 et 1850. Dans le premier cas il fait un parallèle entre le changement de distribution et l'unification politique qui aurait eu lieu au cours de la période. Pour le cas des Etats-Unis il base son argumentaire sur des mesures d'échanges entre les villes, avec l'hypothèse que les échanges vont être contraints (et donc moins importants) dans un système peu intégré, quelles que soient les raisons de cette faible intégration (co-existence de plusieurs systèmes autonomes, formes de compétitions entre les villes etc). Cependant, si une faible intégration implique de faibles flux de marchandises, l'auteur souligne qu'une forte intégration n'implique pas nécessairement qu'il existe des flux de marchandises importants.. Deux questionnement inter-reliés ressortent de cette application : quelle est la nature de l'intégration en jeu, et quels sont les critères qui permettraient de la mesurer ?

Pour l'archéologue la distribution rang-taille est ainsi devenu un outil privilégié pour explorer « causes and implications of deviations from log-normal distributions » (Smith 2005). Certains travaux conceptualisent ces distributions, caractérisent la forme des écarts, les qualifient, les classifient (plus ou moins primatiales ou convexes) et proposent des formalisations permettant de mieux identifier ces formes. Drennan et Peterson (2004) proposent ainsi un coefficient qui mesure la forme d'une distribution rang-taille et quantifie l'intensité et la significativité de sa convexité ou concavité. Ils insistent d'ailleurs sur l'intérêt heuristique de comparer entre elles les courbes plutôt que de trop pinailler sur l'importance de l'écart à une log-normale. D'autres comme Savage (1997) insistent sur la nécessité de s'assurer qu'une différence observée visuellement à partir de graphiques, reflète bien une différence significative. Cette vérification est d'autant plus nécessaire que les archéologues consacrent beaucoup d'efforts pour interpréter et donner du sens aux écarts entre les distributions observées et la loi de Zipf.

S'il est particulièrement répandu dans la recherche archéologique, l'intérêt pour les écarts à la loi de Zipf a aussi mobilisé économistes et géographes. Dittmar (2010) prend ainsi le contre-pied de la plupart des économistes en s'intéressant au contexte qui permet l'émergence de la loi de Zipf dans les systèmes de villes européens. Il adopte une double perspective comparative, dans le temps en s'intéressant à la période 1300-1800 et dans l'espace en distinguant les systèmes de villes de l'Europe de l'Ouest et de l'Europe de l'Est. Comparant les distributions rangs-tailles, il constate que la distribution observée se distingue de la distribution de Zipf en 1300 pour s'en rapprocher à partir des années 1600, et présenter une excellente adéquation en 1800. Il met en relation cette émergence d'une distribution rang-taille de type Zipf avec une meilleure productivité économique et une accentuation des échanges, facteurs qui contribuent à diminuer le poids du foncier. Le système est ainsi libéré de contraintes foncières qui empêchaient la théorie de la croissance aléatoire de fonctionner, avec pour conséquence des grandes villes plus petites que ne le prévoyait la loi. Pour l'Europe de l'Est, l'émergence est décalée, décalage interprété comme dû au système de servage qui a entraîné des croissances différentielles des villes et conduit à un écart plus persistant à une distribution correspondant à la loi de Zipf. L'argumentation de Dittmar réfère ainsi à différents niveaux d'explication : il se situe d'emblée à un niveau générique, en faisant référence aux mécanismes de Gibrat (avec une croissance aléatoire de moyenne similaire pour l'ensemble des villes), et c'est l'absence du caractère aléatoire et uniforme des taux de croissance qu'il met en relation avec des facteurs explicatifs relevant des caractéristiques des

sociétés concernées. L'esprit de son travail est ainsi proche de celui de Johnson en archéologie.

Brakman et al. (1999) proposent un argumentaire similaire pour les Pays-Bas, dont les 20 villes de plus de 10 000 habitants répertoriées en 1600 ont une distribution de taille relativement égale, reflétant suivant l'auteur, l'absence d'un système urbain intégré. Cette absence se maintiendra jusqu'au milieu du 19^e s.. La pente de la droite rang-taille passe de 0,55 en 1600 à 1,03 en 1900 et ce passage est interprété comme le résultat d'une part du développement des infrastructures de transport qui vont faciliter les échanges entre les villes, et d'autre part d'une spécialisation plus accentuée qui va contribuer à favoriser la croissance des échanges entre les villes. Le coefficient correspondant à la pente descend ensuite à 0,7 en 1990, ce qui est interprété comme une augmentation des problèmes de congestion, freinant la croissance des plus grandes villes.

3.3 Point de vue ontologique sur la relation rang-taille

Les résultats empiriques d'une analyse rang-taille dépendent en premier lieu de la nature des *entités* que l'on observe, de l'*ensemble* que l'on considère, et de la façon dont on mesure les tailles respectives des entités. Pour identifier les villes par exemple doit-on utiliser des critères administratif, morphologique ou fonctionnel ? Comment délimite-t-on l'ensemble étudié afin de l'appréhender comme un système de villes qui fasse sens ? Schaffar (2009) rappelle que dans sa première application aux villes australiennes en 1949, Zipf déjà avait interprété la déviation relativement à une distribution de Pareto par le fait qu'étaient assemblés deux ensembles d'objets de nature différente, les « communautés urbaines et rurales ». Haggett (1965), dans une critique du modèle de Berry de 1961, souligne que la loi rang-taille n'est valide que pour la partie « urbaine » du système de peuplement, et qu'en deçà d'un certain seuil de taille, elle n'a plus de sens. Pour boucler la boucle, Berry (2011), reprenant les grandes phases de la recherche sur les distributions rang-taille, remarque que l'attention des économistes de la NEG porte principalement aujourd'hui sur la validité de la loi de Gibrat et sur les qualités respectives des lois log-normale et de Pareto pour décrire la distribution des tailles des villes, occultant la question qui lui paraît essentielle: « What are the appropriate urban-regional units to which the size distribution models should be fitted ? ». Cette question de nature ontologique mobilise davantage la communauté des géographes, particulièrement sensible aux effets d'échelle. Berry reproche ainsi aux économistes d'utiliser dans leurs applications empiriques des entités ne correspondant pas aux aires de fonctionnement des villes, notamment pour le haut de la hiérarchie urbaine. Il montre ainsi l'intérêt de considérer des mégalo-poles ou des régions urbaines composées de plusieurs unités urbaines. Les travaux de Bretagnolle et al. (2008) vont dans ce sens, utilisant des analyses d'accessibilité pour reconstruire des entités urbaines qui aient un sens comparable au cours du temps pour les Etats-Unis.

Les archéologues travaillent à de toutes autres échelles spatiales. La plupart de leurs travaux concernent l'échelle régionale, et certains de tout petits habitats. La superficie des sites est le plus souvent utilisée pour approximer la taille des villes (Marzano 2011). Reprenant la littérature archéologique, Smith (2005) souligne que la loi rang-taille est souvent appliquée pour étudier des régions trop petites, dans lesquelles n'existe pas un fonctionnement de places centrales, condition nécessaire selon lui pour que la régularité rang-taille ait un sens. Il estime que certains archéologues ont ainsi utilisé cet outil dans des contextes non appropriés. Pearson (1980), s'intéressant aux systèmes de peuplement préhistoriques, souligne au contraire que les archéologues ont justement la capacité de s'intéresser plus particulièrement à ce qui se passe

sous ces seuils de l'urbain et que la relation rang-taille est un outil opérationnel également pour ces objets là. Travaillant sur le peuplement de la Mésopotamie au 2^e millénaire av. J.C., Ristvet (2008) montre quant à elle que les seuls vestiges matériels se révèlent insuffisant pour parvenir à délimiter un système de peuplement de manière cohérente et met en évidence la nécessité de considérer également le contexte politique et économique de la période considérée.

Ces exemples illustrent le rôle de l'échelle à laquelle on saisit un phénomène et l'absence de consensus dans ce domaine. La petitesse du territoire ou la prise en compte d'une partie seulement du système de peuplement sont souvent évoqués comme des explications d'une distribution primatale (Grove 2011). Pour Morrill (cité par Pearson 1980), la distribution primatale est d'ailleurs la configuration la plus économique pour occuper un petit territoire. La combinaison de plusieurs systèmes de peuplement indépendants, dont l'union ne constitue pas un véritable système (et présente de ce fait un niveau faible d'intégration) conduit au contraire à une distribution convexe (Grove 2011, Johnson 1980). C'est également le cas d'un système incomplet, dont les frontières sont par exemple situées à l'extérieur de la zone considérée (les villes d'une colonie par exemple). Avec l'hypothèse que le degré d'intégration est la clé de compréhension de la régularité de Zipf, l'échelle à laquelle on saisit un *système* ainsi que la délimitation des entités considérées jouent un rôle déterminant sur le résultat. Une conceptualisation poussée de ce qu'*est* le système en jeu s'avère ainsi incontournable avant toute application empirique de la relation rang-taille.

4. Vers des explications génériques : modèles inspirés des systèmes complexes

Les approches modélisatrices adoptées par les chercheurs pour rendre compte de l'existence et/ou de l'émergence d'une distribution de tailles de villes correspondant à la loi de Zipf sont de nature diverse, tant en termes d'hypothèses que de formalisme. En simplifiant le trait, une première distinction oppose les modèles statistiques de type Gibrat qui « fonctionnent » parfaitement dans la mesure où ils reproduisent des organisations rang-taille conformes à la loi de Zipf, mais sans expliquer pourquoi de telles distributions sont récurrentes, et les modèles micro-économiques, intégrant au contraire de nombreuses hypothèses explicatives en termes de comportements des agents économiques, mais ne réussissant pas à reproduire la distribution voulue. Un fait particulièrement perturbant pour les économistes est ainsi que les modèles qui produisent les distributions rang-taille les plus conformes à la loi reposent sur l'hypothèse que le taux de croissance est indépendant de la taille des villes alors que tous les modèles économiques de croissance stipulent l'inverse : « .. all existing economic models of cities involve returns that are anything but constant » (Fujita et al., 2001). Comparant différents modèles issus de la théorie urbaine, ces auteurs constatent que le modèle de Henderson (1988), conforme à la théorie économique, ne conduit pas à une loi rang-taille, alors que d'autres, moins conformes aux théories classiques, tel celui de Simon (1955), le font. L'objectif des économistes est de raccrocher la loi de Zipf à un modèle d'équilibre général, en rajoutant à celui-ci le mécanisme nécessaire. Brackman et al. (1999) montrent ainsi qu'en ajoutant des effets de congestion au modèle classique de la NEG, ils peuvent, grâce à la simulation (leur modèle n'a pas de solution analytique), reproduire la distribution souhaitée. Shepard a fait un constat critique de nature similaire à celui de Fujita et al. (2001) à propos de la place des interactions entre les villes dans les modèles plus agrégés développés en géographie. Il souligne que les modèles prenant en compte les effets des interactions spatiales pour expliquer les croissances différentielles entre les villes, ne conduisent pas nécessairement à une distribution rang-taille, alors que ces interactions jouent un rôle clé dans

les hypothèses avancées par les géographes sur la croissance urbaine (Sheppard, 1982). Constatant que « .. the rank-size relationship can be arrived at from a wide range of specific situations », Shepard souligne ensuite l'importance de rechercher des mécanismes explicatifs plus génériques.

L'échec des modèles analytiques, qu'ils soient d'inspiration économique ou géographique, développés au niveau micro-économique ou agrégé (Grove 2010, Wong et Fotheringham 1999), a amené de nombreux auteurs à explorer d'une part la voie de la simulation (Axtell et Florida 2006, Batty 2001, Sanders et al. 1997) et d'autre part les apports théoriques des systèmes complexes (Griffin 2011, Grove 2010, 2011, Wong et Fotheringham 1999, Pumain 2007). Des processus très variés pouvant mener à l'émergence d'une relation rang-taille, plusieurs auteurs préconisent en effet d'adopter une démarche générique inspirée des théories des systèmes complexes, où les phénomènes de loi puissance sont nombreux. Il s'agit alors de confronter les lois associées à l'évolution de ces phénomènes à ce que l'on sait du fonctionnement des systèmes de peuplement, des points de vue empirique et théorique. L'esprit de la démarche de Shepard (1982) se retrouve ainsi dans nombreux travaux récents, ayant accès à d'autres formalismes (en particulier les systèmes multi-agents (SMA) et les automates cellulaires (AC)) et à d'autres concepts (systèmes complexes). Parmi les nombreux modèles existant, le choix a été fait dans la suite de cette contribution de se concentrer sur les modèles mettant en jeu des hypothèses sur le rôle des interactions, que celles-ci opèrent directement entre des agents économiques ou entre entités spatiales ou encore par l'intermédiaire de l'environnement, selon les approches. Ce choix offre une cohérence avec les interprétations abordées dans la partie précédente, centrées sur le lien entre la forme de la distribution rang-taille et le niveau d'intégration d'un système de peuplement.

4.1 Mobilité des individus, principes gravitaires et chaos borné

Wong et Fotheringham (1990) mobilisent le concept de chaos borné pour décrire les systèmes urbains, mettant en avant que la croissance de chaque ville relève d'une multitude de décisions (« the product of innumerable and often unpredictable decisions ») qui la rendent unique et imprévisible, alors que les types de configurations des systèmes urbains sont en nombre limité. Les auteurs interprètent la dimension fractale associée à la distribution des tailles de villes d'un système urbain comme une mesure du « degré d'imprédictibilité du processus sous-jacent ». Faisant le lien entre la dimension fractale et le coefficient de Pareto, ils montrent que la valeur 1 associée à la loi de Zipf, correspond à une dimension fractale de 0.5 qui révèle un fort degré d'imprédictibilité.

Prenant appui sur cet argumentation théorique, ils proposent un modèle où la croissance des villes est issue d'un processus stochastique de migration rural-urbain. Procédant à plusieurs simulations, ils aboutissent à autant de situations finales, mais chacune de celles-ci correspond à la même distribution rang-taille, résultat cohérent avec ce que fait attendre un système au chaos borné. Le modèle est fondé sur les principes gravitaires dans la mesure où un migrant potentiel est « projeté » en une localisation choisie au hasard, un modèle de choix spatial permettant de déterminer son choix de destination en fonction de la taille des villes et de leurs proximités respectives. Notons que dans ce modèle, les mécanismes d'agglomération sont ainsi introduits explicitement, mais s'il s'inspire effectivement des principes gravitaires, ce modèle n'intègre aucune interaction directe entre les villes.

4.2 Modèle de fission/fusion et criticalité auto-organisée

Griffin (2011) et Grove (2011), de façon indépendante (pas de citations réciproques), fondent leur interprétation de la taille des groupes humains sur une réflexion à partir du modèle de fusion-scission qui manifeste des propriétés de criticalité auto-organisée¹ (Bak et al., 1987). Le premier s'inspire du modèle de feu de forêt, un des modèles emblématiques (avec celui du tas de sable) de la criticalité auto-organisée, dont une des signatures est la distribution puissance avec exposant -1 de la fréquence d'un phénomène (le nombre de feux par exemple) en fonction de son importance (le nombre de cellules touchées par le feu). Il fait un parallèle entre la dynamique produite par un modèle de diffusion du feu et les cycles de fusions (phase d'extension et de consolidation), et scissions (conflits de pouvoir, fragmentation politique) enregistrés par des communautés humaines (chefferies). Le peuplement est réparti sur une grille, les cellules vides représentant des territoires non contrôlés, séparant des ensembles de cellules adjacentes sous le contrôle du même groupe. Les groupes s'étendent spatialement et fusionnent lorsque leurs territoires se rejoignent. Tout comme l'étincelle allume le feu en une cellule (choisie de manière aléatoire dans un modèle AC) dans le modèle de feu de forêt, les mouvements de contestation interne émergent par hasard dans une communauté, conduisant à des scissions. Ce modèle permet de reproduire par simulations des distributions rang-taille oscillant entre forme convexe (après une scission) et primatale (juste avant la scission), succession correspondant à ce que les archéologues ont pu reconstituer dans la vallée de Tiwanaku. Durant une période comprise entre 1500 av. J.C. à 100 après J.C. les centres urbains sont en formation et leur distribution est convexe, alors qu'entre 800 et 1000 ap. J.C. il y a une densification urbaine et un système bien intégré a émergé. Cette période est suivie par une nouvelle phase convexe, correspondant à une dispersion du peuplement après le déclin de Tiwanaku. Des oscillations du même type ont pu être observées ailleurs et l'auteur interprète la transition entre des distributions primatale et convexe qu'il simule, comme le passage d'un système de peuplement présentant un fort niveau d'intégration entre le centre principal et les autres, à un peuplement se dispersant à partir du centre.

Grove réfère également au modèle de fusion-scission, mais dans une perspective différente du point de vue des processus sociaux sous-jacents. Que ce soit dans les sociétés de chasseurs-cueilleurs où dans les groupes sédentarisés, il existe plusieurs niveaux auxquels les groupes s'agrègent ou se séparent en différentes circonstances de la vie sociale, l'unité de base étant la cellule familiale. S'inspirant de travaux sur la taille des groupes formant différents réseaux sociaux (Zhou et al. 2005), il analyse, à partir de vestiges archéologiques, l'organisation sociale de la période du Bronze en Irlande. Pour caractériser la taille des groupes il utilise la circonférence des cercles de pierre (mégolithiques). Il montre la validité de la loi de Zipf pour l'âge de bronze (1600-800 av. J.C.), et il conclut à l'existence d'une « hierarchically nested social system ». Contrairement aux autres exemples évoqués, il ne s'agit pas ici de lieux de vie, mais plutôt de réunions saisonnières, les cercles les plus larges correspondant aux réunions les plus rares, mais aussi les plus importantes (en nombre de participants et en portée géographique). Hamilton et al. (2007) suivent un raisonnement similaire pour appréhender l'organisation sociale des chasseurs-cueilleurs. Considérant une hiérarchie d'agrégats périodiques de ces populations en six niveaux (famille étendue, cérémonies, échanges matrimoniaux), ils s'intéressent au rapport entre la taille des groupes correspondant à deux niveaux successifs dans cette hiérarchie. Ils interprètent la constance de ce rapport comme la signature d'une structure auto-similaire, signifiant que la taille des groupes est issue d'un

¹ NB : théorie permettant d'interpréter des changements brusques dans un système, sans intervention de contrôle, sous l'effet du cumul de fluctuations aléatoires de faible ampleur. Cf article de D. Provitolo dans Hypergeo : <http://www.hypergeo.eu/>

processus d'auto-organisation qui optimise les flux d'énergie, de matériaux, d'information entre les membres du groupe.

Ces auteurs suggèrent ainsi que la loi rang taille serait la signature d'un mécanisme sous-jacent de scission-fusion, ou de l'existence d'une structure sociale multi-niveaux plutôt que d'un processus d'urbanisation ou de centralisation du pouvoir. Ces auteurs concluent que l'analyse de la distribution rang-taille représente un excellent outil, dans une perspective dynamique, pour repérer le jeu de tels mécanismes.

4.3 Interactions *bottom-up* : une condition suffisante pour faire émerger une organisation rang-taille hiérarchisée

Les systèmes multi-agents (SMA) permettent de simuler l'émergence de structures spatiales et hiérarchiques à partir des interactions entre les agents de niveau élémentaire. Ils représentent donc une méthode privilégiée pour simuler l'émergence d'une distribution correspondant à la relation rang-taille, à partir de la formalisation des interactions entre individus ou agents économiques. Ces interactions peuvent opérer suivant différents intermédiaires, les ressources dans le modèle proposé par Batty (2001), les firmes pour celui de Axtell et Florida (2006) par exemple.

Le modèle de Batty repose sur un processus de marche aléatoire associé à des mécanismes d'apprentissage. Les agents se déplacent sur une grille où se trouvent des ressources. Celles-ci étant repérées ils retournent à leur lieu d'origine, en laissant une trace sur leur passage. Dans un système en croissance, les nouveaux agents (des migrants) doivent "apprendre" où se trouvent les ressources à partir de ces "traces". L'agent se déplace toujours dans le sens où l'interaction est la plus forte, i.e. là où les traces sont les plus nombreuses. D'abord émergent les chemins (avec une compétition entre les chemins), puis les concentrations d'agents (regroupements de cellules interprétés comme des zones urbaines). L'hypothèse est que ce sont les actions répétées, les petits feedback accumulés qui aboutissent à terme à une distribution en loi puissance du peuplement et à l'émergence d'une organisation « polynucleated » au niveau régional (Batty, 2001).

Dans le modèle de Axtell & Florida (2006), ambitionnant « to find out the first behaviorally-plausible, microscopic explanation of the city size distribution.. », les interactions entre les agents se font par l'intermédiaire des firmes. Les agents (1 millions), hétérogènes quant à leur attrait pour les revenus et les loisirs, sont répartis sur 100 cellules. La distribution initiale est aléatoire : chaque agent a sa firme et un réseau social fixe de deux autres agents. Les agents changent de firme en fonction de leur utilité. Les simulations conduisent à l'émergence de « villes », correspondant aux cellules enregistrant une forte concentration d'agents et de firmes, dont la distribution des tailles est régulière.

Ces deux exemples illustrent comment des mécanismes sociaux différents mais reposant sur des interactions opérant au niveau individuel sont suffisants pour conduire à l'émergence d'une organisation rang-taille. Sans connaître les travaux de Batty, Axtell & Florida (2006) suggèrent dans leur conclusion que si d'autres modèles doivent conduire à l'émergence de la loi de Zipf, il repose sur les interactions au niveau micro entre des agents hétérogènes, stipulant que : « ...microeconomically distinct yet macroeconomically similar mechanisms is a consequence of *universality*. »

4.4 Interactions entre unités de peuplement : une *condition nécessaire* pour reproduire une hiérarchie rang-taille dans l'approche SimPop

Le modèle SimPop², développé avec un SMA, a pour objectif de simuler l'émergence progressive d'un système de villes hiérarchisé aux fonctions diversifiées en partant d'une situation initiale théorique représentant une répartition à peu près régulière de la population (Bura et al. 1996, Sanders et al. 1997). Ce modèle repose sur le concept d'agent-ville (Pumain et al 2009, Sanders 2010) et les règles sont définies au niveau de ces agents (interactions, échanges) et non d'agents-individus comme dans la plupart des applications des SMA en sciences sociales. La pente de la droite rang-taille avait été utilisée pour suivre le rythme du processus de hiérarchisation. La construction du modèle, en versions successives, a permis de repérer quels mécanismes étaient nécessaires et suffisants pour faire émerger et se maintenir une organisation rang-taille de type Zipf :

- la toute première version ne comportait pas d'interactions entre les entités de peuplement, celles-ci croissaient suivant un taux de croissance tiré aléatoirement dans une loi Normale de même moyenne. Les entités de peuplement atteignant un certain seuil acquéraient le statut de ville, et puisaient alors leurs taux de croissance dans une loi Normale ayant une moyenne un peu plus forte. Les villes atteignant un nouveau seuil, acquéraient un statut de ville de niveau supérieur, associé à un taux de croissance encore un peu plus élevé etc. 2000 itérations de ce modèle très simple ne permettait pas d'aboutir à une distribution rang-taille correspondant à la loi de Zipf, la pente de la loi rang-taille restait en effet très faible. Ce résultat se rapproche de celui de Bretagnolle et al. (1999), qui choisissent de se concentrer sur des simulations partant d'une situation initiale correspondant à la loi log-normale, i.e. déjà structurée, après avoir constaté qu'il était impossible de simuler l'émergence d'une loi de Zipf avec des *valeurs réalistes* de paramètres sur une période de 300 ans (alors qu'en théorie, la loi de Zipf émerge de n'importe quelle distribution initiale).

- dans une deuxième version, le taux de croissance des villes dépend de la réussite de ses échanges commerciaux. A chaque itération, chaque agent-ville propose sa production à l'ensemble des entités de peuplement se trouvant à sa portée (dont l'étendue dépend de son niveau de fonction), et chacun de ceux-ci fait état de sa demande à l'ensemble des villes productrices auxquelles elle a accès. Les portées des villes conduisent à des superpositions de leurs aires d'influence, ce qui se traduit par une compétition entre les villes au sein du marché d'échanges. Ce modèle donne lieu à une hiérarchisation progressive des villes. Au bout d'un certain nombre d'itérations cependant, le degré de hiérarchisation se stabilise, et cette stabilisation s'accompagne d'une stagnation du système.

- dans une troisième phase, la possibilité d'acquérir de nouvelles fonctions a été introduite dans le modèle, entraînant la poursuite du processus de hiérarchisation, avec une pente de la droite rang-taille continuant d'augmenter.

Les résultats des simulations étaient variés, dépendant des conditions initiales et des valeurs des paramètres, mais les constantes étaient les suivantes :

- sans interactions entre les entités de peuplement, le processus de hiérarchisation ne se mettait pas en place et les pentes restaient toujours très faibles ;
- l'introduction d'interactions et de leurs effets sur le taux de croissance conduit toujours à une hiérarchisation, qui s'estompe seulement quand le système n'offre plus la possibilité

² développé au sein du laboratoire Géographie-cités : <http://www.simpop.parisgeo.cnrs.fr/>

d'acquérir un nouvel avantage dans la compétition pour la croissance. La possibilité d'acquérir de nouvelles fonctions différenciatrices, conduit en revanche le système à poursuivre le processus de hiérarchisation. Ce résultat est cohérent avec les résultats empiriques montrant la faible hiérarchisation des systèmes où les taux de croissance des villes sont peu différenciés (Dittmar 2010).

Conclusion

La diversité des travaux, tant empiriques que s'inspirant des théories des sciences de la complexité, met en évidence l'intérêt d'adopter une approche combinant plusieurs *points de vue*. La plupart des travaux évoqués dans cette contribution cherchent à expliquer la forme (ou le changement de forme) d'une distribution rang-taille donnée, qu'elle suive la loi de Zipf ou qu'elle soit significativement primatale ou convexe. Ces travaux suggèrent qu'une réflexion se fondant sur un cheminement entre plusieurs niveaux d'abstraction devrait permettre une interprétation plus subtile que celle s'inscrivant dans un niveau unique, même s'il s'agit du plus universel. Par ailleurs, lorsque l'on s'intéresse à un système de peuplement, on aurait avantage à considérer la relation de Zipf comme un critère parmi d'autres, ce qui conduirait à mettre davantage l'accent sur ces *autres*. Que les sources soient des vestiges archéologiques ou des données statistiques, l'organisation spatiale des entités en fonction de leur taille est un facteur à prendre en compte, tout autant que l'intensité et la nature des différentes formes d'interactions opérant entre elles, que l'information soit qualitative ou quantitative. Les pratiques des différentes disciplines sont source d'inspiration pour diversifier les approches, qu'il s'agisse d'expliquer la récurrence d'une relation rang-taille ou de décrire empiriquement les caractéristiques d'un système de peuplement.

Références

- Auerbach F., 1913, Das Gesetz der Bevölkerungskonzentration, *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 59, p.74-76.
- Bak, P., Tang, C. and Wiesenfeld, K., 1987, "Self-organized criticality: an explanation of $1/f$ noise", *Physical Review Letters*, 59, 4, p.381-384.
- Axtell R. et Florida R., 2006, Emergent cities : micro-foundations of Zipf's law, Working Paper (http://creativeclass.com/rfcgdb/articles/Emergent_Cities.pdf)
- Batty, M., 2001, Polynucleated Urban Landscapes, *Urban Studies*, vol. 38, 4, 2001, p. 635-655.
- Berry B.J.L., 1961, City Size Distribution and Economic Development, *Economic Development and Cultural Change*, 9, 4, Part 1, p573-588
- Berry B.J.L & Okulicz-Kozaryn A., 2011, The city size distribution debate: Resolution for US urban regions and megalopolitan areas, *J. Cities*, doi:10.1016/j.cities.2011.11.007
- Brakman S., Garretsen H., Van Marrewijk C., van den Berg M., 1999, The return of Zipf: towards a further understanding of the rank-size distribution, *Journal of Regional Science*, 39, 1, p183-213

- Bretagnolle A., Mathian H., Pumain D., Rozenblat, 1999, Long-term dynamics of European towns and cities : towards a spatial model of urban growth, *Cybergeo: European Journal of Geography*, article 131, URL : <http://cybergeo.revues.org/566>
- Bretagnolle A., Giraud T., Mathian H., 2008, « La mesure de l'urbanisation aux Etats-Unis, des premiers comptoirs coloniaux aux *Metropolitan Areas* (1790-2000) », *Cybergeo : European Journal of Geography*, article 427, URL : <http://cybergeo.revues.org/19683>
- Bura S., Guérin-Pace F., Mathian H., Pumain D., Sanders L., 1996, Multi-agents system and the dynamics of a settlement system, *Geographical Analysis*, vol 28, n°2, p161-178
- Carroll G.R., 1982, National city-size distributions: what do we know after 67 years of research?, *Progress in Human Geography*, 6, p1-43
- Dimou M. & Schaffar A., 2007, Evolutions des hierarchies urbaines et loi de Zipf: le cas des Balkans, *Région et Développement*, 25.
- Dittmar J., 2010, Cities, Institutions, and Growth: The Emergence of Zipf's Law, Working Paper (http://www.jeremiahdittmar.com/files/Zipf_Dittmar.pdf)
- Drennan R., Peterson C., 2004, Comparing Archaeological settlement systems with rank-size graphs: a measure of shape and statistical confidence, *Journal of Archaeological Science*, 31, Issue 5, p.533-549
- Fujita M., Krugman P., Venables A.J., 2001, *The spatial economy : Cities, regions and international trade*, MIT Press, 381p.
- Gabaix X., 1999, Zipf's law for cities: an explanation, *The Quarterly Journal of Economics*, p739-767
- Griffin A., 2011, Emergence of fusion/fission cycling and self-organised criticality from a simulation model of early complex polities, *Journal of Archaeological Science*, 38, p873-883
- Grove M., 2009, Hunter-gatherer movement patterns: Causes and constraints, *Journal of Anthropological Archaeology*, 28, p222-233
- Grove M., 2010, Stone circles and the structure of Bronze Age society, *Journal of Archaeological Science*, 37, p2612-2621
- Grove M., 2011, An archeological signature of multi-level social systems : The case of the Irish Bronze Age, *Journal of Anthropological Archaeology*, 30, p44-61
- Guérin-Pace F., 1995, Rank-size distribution and the process of urban growth, *Urban Studies*, 32, p551-562
- Haag G., Max H., 1995, Rank-size distribution of settlement systems: a stable attractor in urban growth, *Papers in Regional Science*, 74, 3, p243-258
- Haggett, P., 1965, *Locational analysis in human geography*. London: Edward Arnold.

- Hamilton M., Milne B., Walker R., Burger O., Brown J., 2007, The complex structure of hunter-gatherer social networks, *Proceedings of Biological Sciences*, 274, n°1622
- Henderson, J.V., 1988, *Urban Development: Theory, Fact and Illusion*, Oxford University Press.
- Johnson G., 1980, Rank-Size Convexity and System Integration: A View from Archaeology, *Economic geography*, 56, 3, p234-247
- Kowalewski S.A., 1990, The evolution of complexity in the Valley of Oaxaca, *Annual Review of Anthropology*, 19, 39-58.
- Krugman P., 1996, Confronting the Mystery of Urban Hierarchy, *Journal of the Japanese and international Economies*, 10, p399-418
- Lotka A., 1941, The law of urban concentration, *Science*, 94, 164
- Marzano A., 2011, Rank-size analysis and the Roman cities of the Iberian Peninsula and Britain, in Bowman A et Wilson A., *Settlement, Urbanisation and Population*, Oxford University Press
- Moriconi-Ebrard F., 1993, *L'urbanisation du monde depuis 1950*, Paris, Anthropos
- Pearson C., 1980, Rank-Size Distributions and the Analysis of Prehistoric Settlement Systems, *Journal of Anthropological Research*, 36, 4, p453-462
- Pumain D., 1982, *La dynamique des villes*, Economica, Paris
- Pumain D. 2006, Alternative explanations of hierarchical differentiation in urban systems, in Pumain D. (ed.) *Hierarchy in natural and social sciences*, Springer, Methodos series 3, 169-222.
- Pumain D., 2007, Les villes et le paradigme de la complexité, in A. Da Cunha et L. Matthey, *La ville et l'urbain : des savoirs émergents*, Presses Polytechniques et universitaires romandes, p35-60
- Pumain D., Sanders L., Bretagnolle A., Glisse B., Mathian H., 2009, The future of urban systems: exploratory models in Lane, van der Leeuw, West, Pumain (eds), *Complexity perspectives on innovation and social change*, Springer, Methodos series, p331-359.
- Ristvet L., 2008, Legal and archaeological territories of the second millennium BC in northern Mesopotamia, *Antiquity*, 82, p.585-599
- Rosen K., Resnick M., 1980, The Size Distribution of Cities: an Examination of the Pareto Law Primacy, *Journal of Urban Economics*, 8, p.165-186
- Sanders L., 2010, Les villes comme agents: simulation des futurs possibles du système urbain européen, *NPSS (Nouvelles Perspectives en Sciences Sociales)*, Volume 5, numéro 2, mai 2010, p153-180

- Sanders L., Pumain D., Mathian H., Guérin-Pace F., Bura S., 1997, SIMPOP: a multi-agents system for the study of urbanism, *Environment and Planning.B*, vol. 24, p287-305
- Savage S., 1997, Assessing Departures from Log-Normality in the Rank-Size Rule, *Journal of Archaeological Science*, 24, 233-244
- Schaffar A., 2009, La loi de Zipf dans la science régionale: entre anciennes controverses et nouvelles perspectives, *Cybergeo*, document 450
- Sheppard E., 1982, City size distribution and spatial economic change, *International Regional Science Review October*, 7, 2, p.127-151
- Simon H.A., 1955, On a class of skew distribution functions, *Biometrika*, 42, p425-440
- Smith M., 2005, City size in late postclassic Mesoamerica, *Journal of Urban History*, 31, 4, p403-434
- Wong D., Fotheringham A., 1990, Urban Systems as Examples of Bounded Chaos: Exploring the Relationship between Fractal Dimension, Rank-Size, and Rural-to-Urban Migration, *Geografiska Annaler, Series B, Human Geography*, 12, n°2/3, p89-99
- Young D., 2002, A New Space-Time Computer Simulation Method for Human Migration, *American Anthropologist, New series*, 104, 1, p138-158
- Zhou W.-X., Sornette D., Hill R., Dunbar R., 2005, Discrete hierarchical organization of social group sizes, *Proceedings of Biological Sciences*, 272, 1561, p439-444
- Zipf G.K., 1949, *Human behavior and the principles of least effort*, Cambridge, Mass, Addison-Wesley Press, Cambridge