

UNE THÉORIE GÉOGRAPHIQUE DES VILLES

Denise PUMAIN

Résumé

L'article donne un aperçu d'une théorie des villes en tant que système dynamique complexe. Il souligne l'importance des interactions entre les villes et des interdépendances qu'elles engendrent dans leur évolution. Les villes organisées en systèmes résilients remplissent ainsi une fonction d'adaptateur du changement social. Un exemple de processus illustrant cette dynamique est celui de la diffusion spatiale des innovations, dans ses relations avec les vagues du développement économique et les spécialisations des villes. Ce type de dynamique devrait être mieux compris pour l'élaboration des politiques urbaines.

Mots-clés

villes, systèmes de villes, fonction urbaine, innovation, évolution, loi d'échelle

Abstract

This is a short introduction to a geographical theory of cities as complex dynamic system. The emphasis is on interactions between cities that generate interdependencies in their evolution. Cities organised in resilient systems fulfil an important adaptive function for societal change. An example of that dynamic process is the spatial diffusion of innovation in relation to the waves of economic development and urban specialisation. Better insights in this type of dynamics should help in the making of policies for cities.

Keywords

cities, systems of cities, urban function, innovation, evolution, scaling laws

I. INTRODUCTION

Je me propose d'exposer ici quelques-uns des fondements d'une « théorie évolutive des villes », qui construit une explication, du point de vue géographique, de leurs inégalités et de leurs différences en termes de taille, de rayonnement et de profil socio-économique, et qui autorise dans une certaine mesure d'en prévoir l'évolution. Cette recherche a été stimulée à l'origine par des questions récurrentes à propos de la croissance urbaine. Vers la fin des années 1960, les villes d'Europe attiraient encore beaucoup de migrants des campagnes avoisinantes, chacune avait une politique de construction de logements, d'aménagement des voies d'accès, de proposition de zones industrielles, de modernisation des commerces, et bientôt de création de zones piétonnes et d'embellissement des vieux centres. Les explications données à ces développements faisaient presque toujours appel à des conditions locales favorables, résultant souvent d'une initiative particulièrement clairvoyante des acteurs impliqués, mairie, chambre de commerce ou entrepreneurs. Des économistes ou des sociologues interprétaient certes ces processus selon des schémas d'ensemble, à l'échelle nationale voire internationale, en

termes d'exode rural, de production fordiste ou d'urbanisation de la société. Mais ne pouvait-on découvrir des logiques géographiques expliquant pourquoi les mêmes types de changement paraissaient intervenir simultanément en tous lieux ?

La théorie urbaine de cette époque, à quelques exceptions près, ne proposait que des schémas d'explication relativement statiques de la répartition des villes dans l'espace, de leurs inégalités de taille et de leurs différentes orientations économiques. La théorie des lieux centraux du géographe allemand Walter Christaller imaginait ainsi les villes comme des centres de service alimentant les campagnes environnantes, d'autant plus grandes, espacées les unes des autres et rayonnant sur des contrées d'autant plus vastes qu'elles offraient des ensembles de services plus rares, plus coûteux et d'usage moins fréquent. C'est sur cette théorie que s'appuyaient les propositions du géographe Michel Rochefort et de l'ingénieur Jean Hautreux, qui furent retenues en 1964 par la DATAR pour définir la politique française d'aménagement du territoire instituant les métropoles d'équilibre. Le rôle moteur des villes dans le développement territorial était bien aperçu par les géographes

de cette époque (Pierre George disait : « ce n'est plus la région qui fait la ville, mais la ville qui fait la région »). Cependant, la représentation commune des villes dans leur ensemble, des réseaux urbains, était souvent limitée au cadre régional et figée dans une notion assez vague d'« armature urbaine ». La fonction sociale impartie à cette structure géographique était la desserte du territoire en services, par une couverture hiérarchisée en niveaux de centres aux aires d'influence emboîtées (Mérenne, 2008). Quelques travaux assez rares comme ceux d'Etienne Juillard (1972) s'interrogeaient sur les effets de l'augmentation historique des vitesses de circulation, induisant une apparente contraction de l'espace (compression de l'espace-temps) et provoquant l'expansion de la portée des relations urbaines et des gabarits régionaux correspondants. Des travaux fondés sur l'observation empirique des croissances urbaines sur le long terme (Robson, 1973) insistaient cependant sur leur relation avec la diffusion des innovations, analysée dans le champ urbain comme un processus spécifique, de type hiérarchique, c'est-à-dire suivant des relations de réseau plus que de proximité (Pred, 1973).

La mise au point de bases de données comparatives et l'observation plus rigoureuse des transformations sociales et économiques des villes sur des durées assez longues nous ont permis d'identifier des traits communs et des spécificités des trajectoires des villes dans l'espace abstrait de leur diversité socio-économique (Pumain & Saint-Julien, 1978) et d'en proposer une interprétation générale. Nous avons conduit cette construction théorique selon un processus de révision des croyances plutôt qu'en rupture et recherche de nouveauté, ce qui permet d'enrichir le fonds conceptuel de la géographie sans rejeter ou déclarer nulles et non avenues les recherches des prédécesseurs (Pumain, 2009). L'interprétation du devenir des villes par une théorie évolutive est aussi l'occasion de bien spécifier ce qui relève d'une histoire, par définition unique, et ce qui peut être considéré comme une dynamique, qu'il est possible de représenter par des modèles génériques, ou des faits stylisés, utilisables pour encadrer des prédictions. Il me semble aussi essentiel de comprendre dans ces processus ce qui relève de dynamiques proprement sociales, et ce qui peut être résumé dans des formalisations partagées avec d'autres sciences, par exemple les sciences de la matière ou les sciences biologiques. Sur le plan épistémologique, il n'est pas question alors de raisonner par analogie ou d'emprunter des métaphores (Varenne, 2007). Il s'agit d'explicitement complètement la signification des modèles formels et de préciser leur domaine de validité éventuel dans une construction de science sociale. Employer en sciences sociales les termes « évolution » ou « évolutif » ne signifie en aucune manière qu'on adopte des concepts darwiniens, mais prend un sens précis, qui emprunte au genre du « récit » (Marx, 2008) de l'histoire tout en admettant

que cette histoire engendre ses propres contraintes, et donc des dynamiques modélisables.

II. LE SYSTÈME DES VILLES COMME ADAPTEUR DU CHANGEMENT SOCIAL

Que dit une théorie géographique des villes ? Elle se fonde sur l'idée que les villes ne sont jamais isolées, mais se développent en relation avec de multiples réseaux, qui les ont progressivement rendues mutuellement interdépendantes. C'est en raison de la force de ces interdépendances que j'ai proposé l'expression de « système de villes » (Pumain, 1992). Dans la longue durée de l'histoire des sociétés humaines, les systèmes de villes peuvent ainsi apparaître comme une invention extrêmement durable, un instrument adaptatif de gestion des ressources et de contrôle des territoires et des réseaux. Cette fonction d'adaptateur social est multiple, elle agit à différentes échelles, dans l'espace et dans le temps. Il ne s'agit pas tellement d'une « institution » sociale, d'une organisation aux objectifs clairement définis, qui résulterait d'une convention sociale conçue à cette fin, même si le rôle « civilisateur » des ensembles de villes a été souvent bien aperçu par des pouvoirs politiques ou religieux, qu'ils aient été fondateurs de réseaux de villes, colonisateurs ou aménageurs. On pense par exemple aux planifications d'une hiérarchie de centres administratifs dans la Chine ancienne (Deluz, 1989 ; Reynaud, 2000 ; Skinner, 1978), ou aux chapelets de comptoirs commerciaux établis sur les rives de la Méditerranée, depuis les Phéniciens jusqu'à Venise, ou encore aux constructions de systèmes de villes fortes aux limites des royaumes, par exemple celles de Vauban. La fonction d'adaptateur social est cependant principalement une propriété émergente, qui résulte de processus auto-organisés constitués d'interactions entre de multiples acteurs, dans et entre les villes. Ces processus activent ensemble tous les domaines de la vie sociale, même si les interprétations les plus fréquentes insistent sur les considérations politiques ou économiques.

C'est sans doute dans le domaine de la production économique liée à la maîtrise technique que la fonction d'adaptateur des villes apparaît le plus clairement. Si on les compare aux autres formes de l'habitat humain que sont les villages, exploitant dans un rapport écologique des ressources locales, soumis aux limitations de ce milieu et à des aléas climatiques locaux, les villes assurent une multiplication des richesses (Reymond, 1971), par des processus internes, à l'échelle de chaque ville, et surtout par des processus externes, impliquant des relations avec d'autres lieux, parfois selon des échelles très larges.

À l'échelle de la ville, sont bien identifiés des processus d'organisation sociale du travail qui améliorent la

productivité, et qui rendent possible une accélération de l'innovation grâce à une fréquence accrue des interactions. Dans la théorie urbaine, nous donnons au terme « innovation » un sens très large et abstrait, qui recouvre l'ensemble des changements sociaux, technologiques et culturels, intervenant dans la nature et l'organisation des activités humaines. L'historien économiste Paul Bairoch (1985) a bien montré que cette division sociale du travail ne pouvait apparaître que lorsque une première accumulation avait pu être réalisée, lorsqu'un surplus issu des activités agricoles était utilisé pour maintenir et développer des rôles sociaux différents de ceux existant dans les sociétés agraires. C'est ainsi que des villes ont émergé, « spontanément », dans toutes les régions du monde où était apparue l'agriculture, environ 3 000 ans après l'émergence de celle-ci. (Le biologiste et géographe Jared Diamond (1997) a répertorié les potentialités de ressources de ces régions en espèces animales et végétales domesticables et cultivables, susceptibles d'avoir favorisé ces émergences multiples au néolithique, aux latitudes subtropicales). Il semble vain de chercher une « fonction première » à l'origine des villes, qui serait selon certains (par exemple Paul Bairoch) le produit d'une nécessité économique, et pour d'autres comme Georges Duby d'abord une création politique. Les fouilles archéologiques ont très souvent mis en évidence dans les villes les plus anciennes la présence simultanée du temple, du palais et du marché (Weatley, 1971), attestant l'existence dès cette époque d'une complexité sociale « à la Veblen », qui active en synergie des formes d'organisation matérielle et sociale que les disciplines scientifiques ont par la suite étudiées en les dissociant.

A. Des villes en réseau

L'organisation urbaine se caractérise par la multiplication des rôles sociaux, induisant une division sociale du travail, qui à terme, lorsqu'elle est jointe à des formes non exclusivement prédatrices de l'accumulation, permet d'augmenter la productivité. Les interprétations économistes de « la » ville mettent ainsi l'accent sur des économies d'échelle ou des économies d'agglomération ou d'urbanisation (Fujita & Thisse, 2002 ; Glaeser, 2008), qui sont en fait des interprétations « instantanées » de ces processus qui se déroulent dans le temps et impliquent très souvent des évolutions de durées assez longues. Les tenants d'une économie évolutionniste rappellent que de telles interprétations négligent par trop les effets de « path dependence » et d'historicité des processus (Martin, 1999). Mais les théories urbaines de la Nouvelle Économie Géographique omettent aussi de prendre en considération, les processus externes par lesquels les acteurs présents dans les villes s'assurent de la durabilité de la valorisation de leurs acquis. Ils retiennent par exemple la suggestion de Henderson, selon laquelle le succès d'une ville dépend du choix judicieux de son portefeuille d'activité ! La richesse des villes dépend en effet aussi

de la mise en relation de ressources complémentaires apportées par la prédation, le commerce, l'imposition de nouveaux produits ou services et l'échange, souvent inégal avec les campagnes (Camagni, 1996), ou plus compétitif avec les autres villes. La mise en réseau des villes permet d'échapper aux limitations des ressources locales et dans le même temps oblige par émulation à continuer l'innovation, dans la rivalité et la concurrence avec les autres villes. Par les échanges d'information qui s'opèrent entre les villes connectées en réseau, l'innovation circule et devient motrice du développement urbain auquel elle s'identifie. En ce sens, les villes en systèmes remplissent la fonction d'adaptateur des territoires au changement social, technologique, économique ou culturel, qu'elles alimentent en permanence par les innovations qui se développent dans leurs réseaux (Figures 1 et 2).

B. Des systèmes adaptatifs résilients

Cette fonction d'adaptateur social historique est reconnue implicitement par le fait que nous continuons d'employer le même mot, la ville, pour identifier des formes d'habitat plurimillénaires, et pour désigner des concentrations qui vont de quelques milliers à plusieurs dizaines de millions d'habitants – ces mégapoles procédant toutes d'entités urbaines antérieures bien moins grandes. Qu'il s'agisse de contrôler un territoire par un réseau de places fortes, de conquérir des marchés par l'essaimage de comptoirs ou de colonies, de s'assurer le contrôle de routes commerciales par des règles financières communes, ou d'établir des relais pour s'ouvrir de nouveaux marchés pour des entreprises multinationales dans les territoires nationaux, les réseaux ou systèmes de villes ont maintes fois au cours de l'histoire démontré l'efficacité de cette forme d'organisation, à la fois polycentrique et très hiérarchisée. La résilience des réseaux urbains est en effet très grande : les historiens du Moyen-Âge ont établi que, un siècle après la catastrophe de la Grande Peste qui a divisé par deux l'effectif de la population en Europe, non seulement les villes avaient retrouvé leur population antérieure, mais aussi dans leur ensemble le rang qu'elles occupaient dans la hiérarchie urbaine européenne un siècle auparavant. Dès cette époque, les relations entre les villes étaient suffisamment nombreuses et suivies pour que le redressement de chacune s'opère en synergie avec celui des autres, la perturbation externe représentée par la catastrophe a perturbé la trajectoire de chaque ville sans modifier sensiblement l'organisation propre du système des villes, issue de sa dynamique concurrentielle.

La résilience semble s'accroître avec le temps, dans la mesure où les interconnexions établies entre les villes semblent empêcher leur dépérissement ou leur disparition, plus fréquentes autrefois en fonction des conflits ou des catastrophes naturelles.

Cette persistance des hiérarchies urbaines sur la longue durée, loin de manifester comme on le dit trop souvent

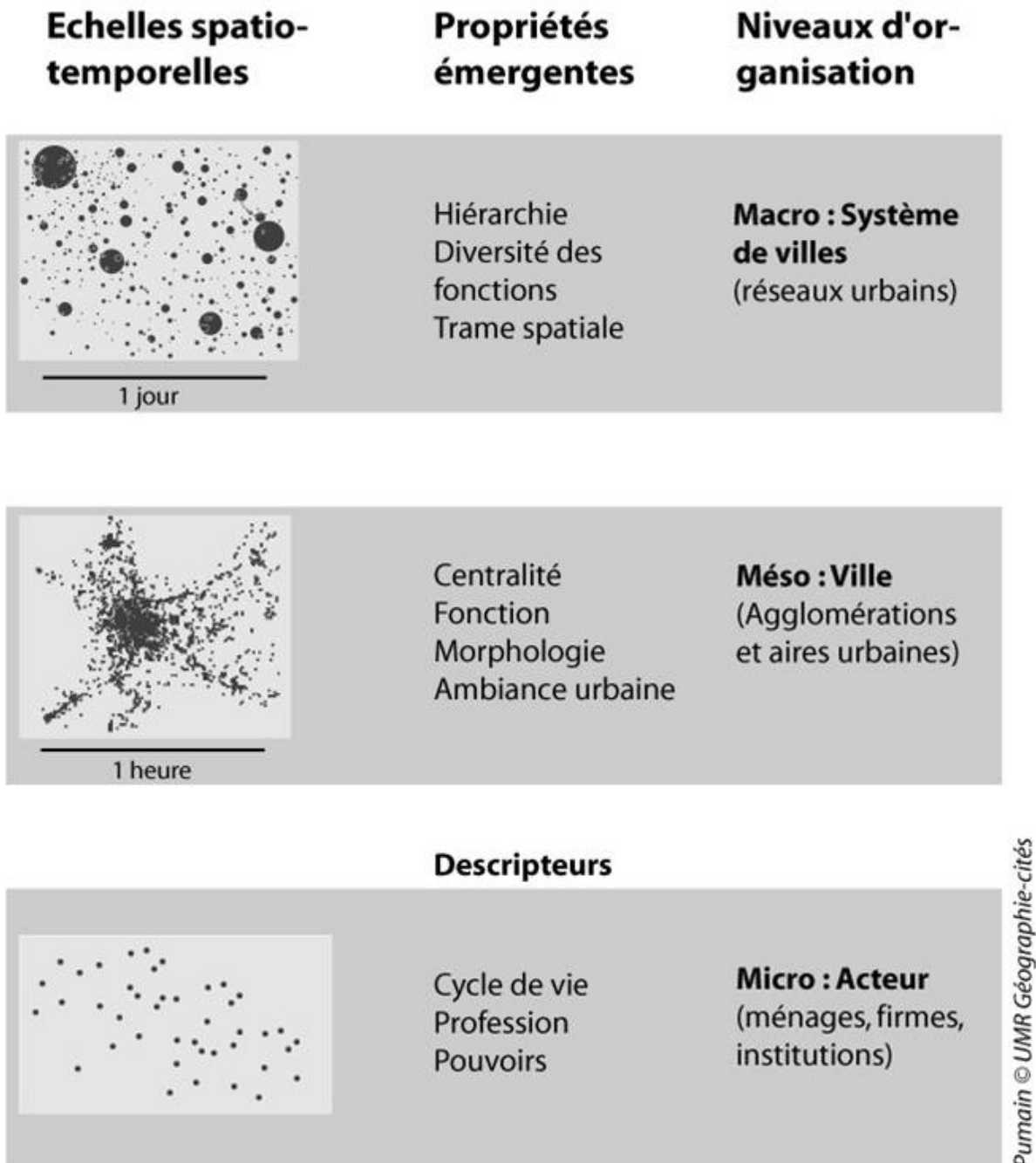


Figure 1. Niveaux d'échelle et systèmes urbains. 1. Propriétés structurelles émergentes

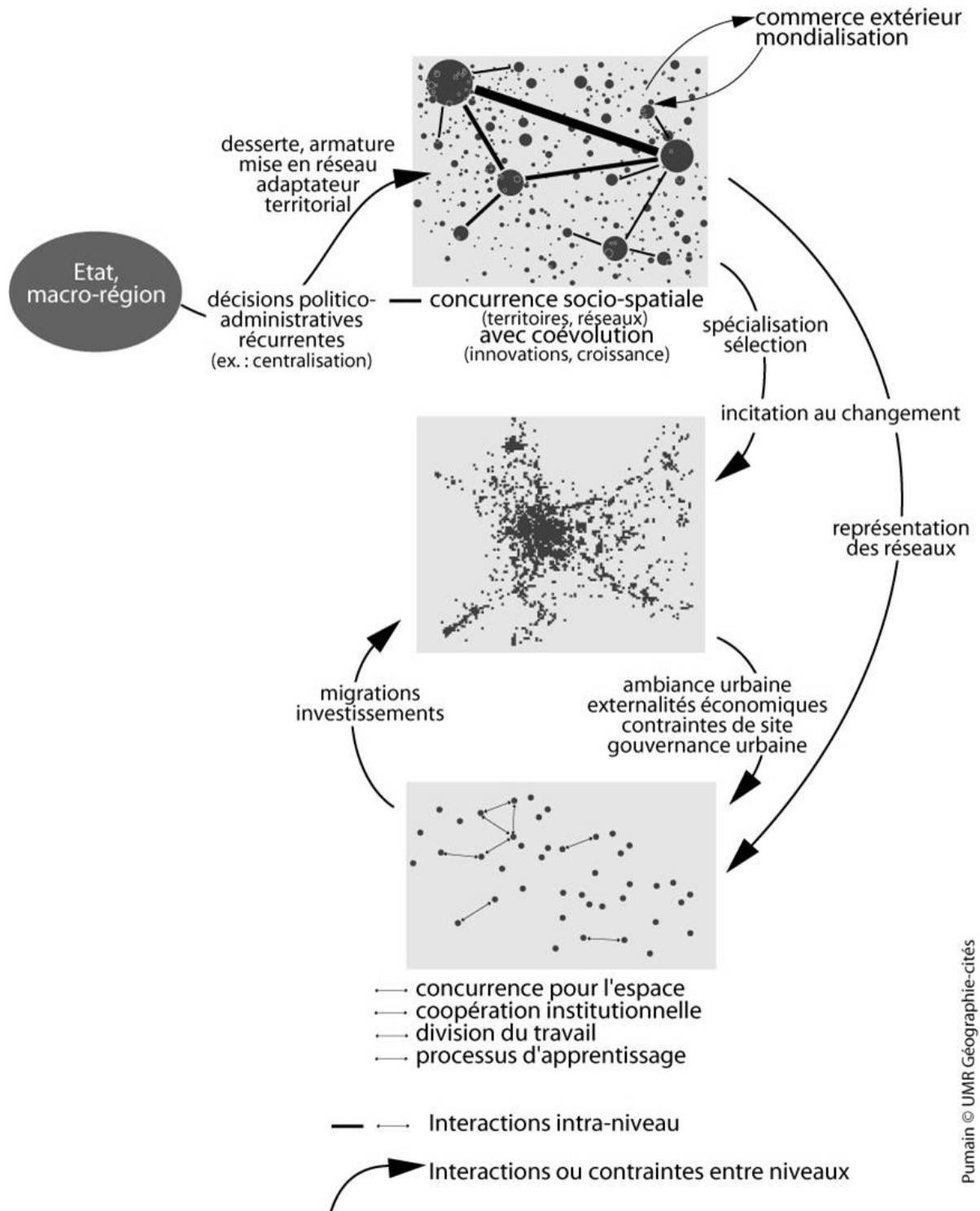


Figure 2. Niveaux d'échelle et systèmes urbains. 2. Interactions constitutives

une « inertie » des réseaux urbains, un poids mort géographique qui s'opposerait à la marche de l'histoire, s'explique en fait par une co-évolution des villes extrêmement proactive, par un processus concurrentiel fait d'imitation et d'anticipation pour la valorisation des richesses localisées, dans lequel tous les acteurs urbains sont très généralement engagés.

C. La force de la dynamique est l'innovation

Mes travaux et ceux de mes collègues et étudiants ont en effet permis d'établir, théoriquement et empiriquement, une relation causale, renforcée par rétroaction, entre la forme statistique des hiérarchies urbaines et le processus de croissance qui les construit (Robson, 1973 ; Pumain, 1982 ; Guérin-Pace, 1993). Le modèle statistique de Gibrat (1931) indique qu'une croissance proportionnelle à la taille des villes, indépendante de la taille des villes et redistribuée aléatoirement sur de courts intervalles de temps, produit à terme une distribution lognormale, proche de la « loi rang-taille » que Zipf a proposée pour décrire la distribution des tailles de villes. Mais ce modèle purement statistique suppose paradoxalement l'indépendance des villes, tout en assurant une moyenne et une variance communes à leurs taux de croissance. Sur le plan théorique, il contredit le concept même de villes en système, et sur le plan empirique, il n'explique qu'imparfaitement les taux de croissance observés, en sous-estimant la tendance historique à la concentration des hiérarchies urbaines et en n'offrant pas la possibilité de simuler l'émergence pourtant fréquente des macrocéphalies urbaines (Moriconi-Ebrard, 1993). Nous avons donc complété le modèle de Gibrat pour tenir compte des interactions entre les villes (Favaro, 2007 ; Favaro & Pumain, 2011), selon des cycles de diffusion hiérarchique des innovations, qui induisent une croissance des inégalités de taille entre les villes légèrement plus forte que celle prévue par ce modèle stochastique – ce qui est plus conforme aux observations.

Au cours du temps, ce que j'ai appelé une « croissance distribuée », multiplicative, est ainsi répartie entre toutes les villes, qui dans un système très connecté se développent à peu près au même rythme, grâce au captage ou à l'adoption des innovations du moment, lesquelles sont véhiculées par les multiples réseaux connectant les villes entre elles. Les innovations sont en général captées ou impulsées dans un premier temps par les plus grandes villes, qui possèdent par accumulation antérieure une diversité d'activités et une complexité sociale favorisant la probabilité d'émergence des innovations ou augmentant les capacités de l'adopter. Les activités innovantes sont amenées à sélectionner ces localisations, bien qu'elles soient en général plus coûteuses (en loyers, en rémunérations) parce qu'elles y trouvent les moyens (financiers, intellectuels) de se développer dans la période à hauts risques où leur utilité sociale est incertaine. Leur succès

éventuel engendre des profits élevés et donc une probabilité de croissance supérieure pour les grandes villes, bien que les coûts élevés associés et l'imitation par les autres villes entraîne assez vite une propagation, une « délocalisation » vers des villes plus petites et moins coûteuses – assurant celles-ci de participer à la croissance et à la modernisation de leurs structures, sans toutefois en retirer tout à fait autant de bénéfices. Lorsque l'activité vieillit, il est probable qu'elle doive encore réduire ses coûts en se relocalisant dans de plus petites villes – voire dans d'autres pays où les coûts sont moindres lorsque les conditions de circulation et de taxation au passage des frontières le permettent.

III. DES LOIS D'ÉCHELLE POUR LES ACTIVITÉS URBAINES

Nous avons ainsi pu mettre en évidence, dans plusieurs régions du monde, des « lois invariantes d'échelle » pour les activités économiques urbaines, que nous avons mises en relation avec les cycles de l'innovation et leur propagation hiérarchique dans les réseaux de villes.

Des expériences ont été conduites avec Fabien Paulus et Céline Vacchiani-Marcuzzo sur les villes de France, d'Europe, d'Afrique du sud et des États-Unis (Pumain *et al.*, 2006b et 2009). Le résultat le plus important de ces recherches est que, *contrairement à la biologie où les lois invariantes d'échelle relatives aux dépenses d'énergie ou au métabolisme ont toujours des exposants inférieurs à 1, on trouve dans les systèmes de villes des variables d'activité, de production ou de consommation qui ont des exposants égaux ou supérieurs à 1*. En fait, trois types de lois d'échelle sont identifiés dans les villes. Certaines quantités sont en effet réparties dans les villes proportionnellement à la population (exposant égal à 1), d'autres au contraire ont des exposants inférieurs à 1, et d'autres des exposants plus grands que 1. Cette dernière forme de relation, dite supra-linéaire, est une nouveauté pour les physiciens et les biologistes.

A. Une interprétation « physique » de la ville

Une contribution importante des physiciens à l'interprétation est de relier par un modèle mathématique la valeur des exposants des lois d'échelle à des processus de croissance. En effet, un exposant inférieur à 1 révèle des contraintes sur le développement, qui se traduisent par une limite à la croissance, laquelle prend la forme d'une fonction logistique : au-delà d'une certaine taille, la part des ressources que le système consacre à son entretien ne lui permet plus de croître encore. L'évolution a sélectionné des systèmes biologiques dont l'organisation suit un principe d'efficacité, dans les propriétés génériques des réseaux qui distribuent l'énergie et répartissent les ressources : ces réseaux organisés hiérarchiquement

selon une structure fractale occupent l'espace de façon optimale, en minimisant l'énergie nécessaire pour atteindre tous les constituants élémentaires d'un organisme et en dissipant le moins possible d'énergie. L'analogie est immédiate en milieu urbain avec le cas des infrastructures, qui ont aussi des lois d'échelle d'exposant inférieur à 1 (Kuhnert *et al.*, 2006), et dont le dessin s'est souvent auto-organisé hiérarchiquement selon une géométrie fractale (Frankhauser, 1994 ; Genre-Grandpierre, 2000), ce qui à la fois constitue une optimisation destinée à permettre la croissance des villes, mais aussi tendrait à limiter la taille qu'elles peuvent atteindre, si les ressources dont elles disposent étaient fixes.

Dans le cas des lois d'échelle dont les exposants sont égaux à 1, une croissance exponentielle, sans limite, est possible. Ce modèle de dynamique, selon un processus de *croissance distribuée*, semble soutenir le développement des réseaux urbains depuis la première révolution industrielle (Robson, 1973 ; Pumain, 1982 ; Guérin-Pace, 1993). La transition urbaine qui a touché depuis plus de deux siècles les pays industrialisés puis les actuels pays en développement se traduit par une croissance quasi homothétique des villes selon leur taille, certes avec de nombreuses fluctuations entre les villes d'un même territoire et d'une période à la suivante, et selon des intensités et des temporalités variables selon les pays et les continents (Bretagnolle *et al.*, 2007).

Lorsque l'exposant est plus grand que 1, alors la contrainte au contraire incite à un développement d'autant plus grand que le système est déjà grand : ce sont les fameux rendements croissants qu'évoquent les économistes pour rendre compte des économies d'agglomération ! Les physiciens déduisent dans ce cas une « singularité en temps fini » de la courbe de croissance des villes, explosion quantitative qui se traduirait ensuite par une décroissance brutale, en l'absence d'une innovation apportant des ressources nouvelles et modifiant l'énergie du système (Kuhnert *et al.*, 2006). Ce résultat prédit par le modèle mathématique n'a cependant jamais été observé dans la réalité ! Le calcul reste une « expérience de pensée », incitant à entreprendre de nouvelles enquêtes quant à la croissance des villes.

Ces trois types d'observations sont réunis par les physiciens dans une interprétation fonctionnelle et universaliste (Bettencourt *et al.*, 2009). Les activités dont l'exposant est inférieur à 1 seraient celles pour lesquelles les grandes villes réalisent des économies d'échelle, elles témoignent de l'efficacité de l'organisation sociale, qui permet de maintenir des villes de plus grande taille avec un coût moindre par habitant. En effet, ce sont en général les infrastructures (longueur des réseaux, nombre de stations-service...) qui ont ce type de comportement scalant. D'autres activités sont à peu près proportionnelles au nombre d'habitants, il s'agit des services banaux qui satisfont des besoins individuels. En revanche, des mesures du revenu des villes, ou de leur capacité d'innovation (comme le nombre de chercheurs, les emplois de

la recherche-développement, ou le nombre des brevets déposés), suivent des lois d'échelle avec des exposants supérieurs à 1, conformément à ce que les économistes appellent des « économies d'agglomération » ou des « rendements croissants » avec la taille (Feldman *et al.*, 1994 ; Bettencourt *et al.*, 2009). Remarquons que non seulement ces produits de l'activité urbaine, mais aussi des « effets sociaux induits » comme les coûts (fonciers, immobiliers, le coût de la vie), le niveau des salaires, ou encore le taux de criminalité dans les villes américaines... (mais cela n'est pas avéré, cf. (Shearmur & Polèse, 2005) ont des lois d'échelle d'exposant plus grand que 1. Ainsi, la dépense d'énergie, sous toutes ses formes, tendrait à augmenter plus que proportionnellement avec la taille des villes. Cette observation explique sans doute la difficulté d'établir des bilans coût-avantage en termes d'économie urbaine (Pumain, 2006a) et les controverses récurrentes quant à l'existence ou non d'une taille optimale des villes (Bairoch, 1988). L'interprétation des physiciens qui conclut à une élévation du « rythme de vie » (*pace of life*) avec la taille des villes, très largement médiatisée (Nature, New York Times), nous semble cependant passer à côté de toute l'organisation sociale construite au cours de l'histoire du développement des villes. Par ailleurs, rien n'est dit quant au déclencheur, au moteur de cette activation, alors que la théorie urbaine offre d'autres pistes pour une explication moins « instantanée » des effets de la taille des villes sur la répartition des activités, en d'autres termes pour ne pas confondre l'observation « transversale » des états des villes à un moment donné avec l'observation « longitudinale » (selon le vocabulaire de la démographie) de la trajectoire d'une ville au cours du temps. En effet, une hypothèse fondamentale pour permettre le passage formel (mathématique) entre les exposants des lois d'échelle et la forme des courbes de croissance est celle de l'ergodicité du système (chacun des états observés pour les villes devant être accessible à chaque ville à tout moment), ce qui n'est absolument pas plausible dans le cas des systèmes urbains.

B. Une interprétation géographique

Nous avons donc proposé une seconde interprétation, qui historicise l'explication de ces trois types de lois d'échelle, en les reliant à la théorie de la division sociale du travail, aux cycles d'innovation économique urbains et au processus de diffusion hiérarchique de ces innovations. En effet, les secteurs d'activité dont les exposants sont supérieurs à 1 sont toujours ceux qui sont les plus innovants lors d'une période donnée, ils sont captés d'abord par les plus grandes villes, avant de se diffuser dans le reste du système ; les activités alors banalisées, correspondant à un deuxième stade dans l'histoire des produits ou des pratiques, se répartissent proportionnellement à la population des villes, ce sont pour ces secteurs que les exposants sont proches de la valeur 1. Quant aux

activités dont les exposants sont inférieurs à 1 (ce qui représente une concentration relative dans les plus petites villes), ce sont celles qui concernent des secteurs en fin de cycle. Cette interprétation, qui tient compte de l'évolution historique des villes, s'appuie sur la théorie de la diffusion hiérarchique des innovations. Celle-ci met en avant la plus forte capacité des grandes villes à capter les bénéfices de l'innovation, qui sont plus importants dans les premiers stades, mais avec des coûts supérieurs, si bien qu'un processus de diffusion s'opère vers des villes de moins grande taille, où les coûts sont plus modestes, lorsque le produit ou le service ne rapporte plus autant car sa production se banalise. Lorsque l'activité devient obsolète, elle n'est plus assurée que par des petites villes spécialisées. Cette théorie est confirmée par l'observation de l'évolution des exposants (Paulus, 2004). Au cours des cinquante dernières années, on voit les valeurs des exposants diminuer, tout en restant supérieurs à 1, pour les industries du cycle de l'automobile et de l'électricité par exemple, alors qu'elles augmentent encore pour les activités de recherche et développement ainsi que pour les technologies de l'information et de la communication. Notre interprétation est aussi renforcée par l'observation des lois de répartition des catégories sociales, qui dans la nomenclature française ou dans celle des États-Unis sont à peu près classées selon le statut, le niveau d'instruction et la qualification des personnes. L'ordre des exposants reflète bien la hiérarchie sociale : les catégories qui ont des lois d'échelle supra linéaires sont celles du haut de la hiérarchie, tandis que des catégories moyennes comme les instituteurs ou les personnels de santé se répartissent proportionnellement à la population, et les ouvriers, avec ou sans qualification, ont au contraire des répartitions qui varient sub-linéairement avec la taille des villes (Pumain *et al.*, 2006 et 2009).

Tous ces résultats nous amènent à proposer une interprétation des lois d'invariance d'échelle qui situe le processus dynamique, non pas à l'échelle de la trajectoire d'une seule ville au cours du temps, mais dans un système de villes. Le processus consiste en la captation des activités innovantes, exigeantes en travail très qualifié, par les plus grandes villes, suivie à des intervalles de quelques décennies de la substitution de ces activités par d'autres encore plus récentes, alors que les activités du cycle précédent se relocalisent dans des villes de moindre importance où leur développement est moins coûteux et le travail moins qualifié, avant qu'elles ne finissent par se replier sur de toutes petites villes, voire se *délocaliser* dans des territoires où le marché du travail pèse encore moins sur les coûts de fonctionnement des activités. Ce processus de « division internationale du travail » bien observé depuis plus de quarante ans (Aydalot, 1976) joue aussi à l'intérieur des territoires, expliquant et s'expliquant par la co-évolution des villes qui structurent ces échanges et réalisent une continue adaptation au changement social, économique et culturel. Seule l'absence de données

statistiques solides sur les valeurs des produits urbains, permettant la comparabilité d'un pays à l'autre, nous empêche encore de valider empiriquement la théorie à l'échelle des réseaux urbains mondiaux.

IV. LES VILLES HABITENT LA TERRE

Quelles conséquences pratiques peut-on retirer de ces recherches ? La concurrence entre les villes, les interdépendances de leur évolution, ont été aperçues depuis très longtemps. Un auteur en économie politique de la Renaissance italienne, Giovanni Botero, a consacré un bel opuscule à ce processus, dès 1588, sous le titre : « *Delle cause della grandezza e magnificenza delle città* ». Les observations très fines par cet auteur des divers domaines dans lesquels s'exerce la concurrence entre les villes et des leçons qui peuvent en être tirées pour le bon gouvernement des princes (Pumain & Gaudin, 2002) pourraient servir aujourd'hui encore de conseil au marketing urbain !

En revanche, avec l'extraordinaire expansion des villes liée à la transition démographique et aux « révolutions industrielles », on avait un peu perdu de vue les interdépendances entre cette urbanisation et les ressources naturelles et énergétiques qu'elle consomme. Les contraintes écologiques sont de nouveau prises en compte pour anticiper le développement des villes, non plus tellement comme autrefois en fonction des limitations locales qu'elles imposeraient, mais sous forme des directives mondialisées et des politiques locales qu'elles incitent afin de réguler les dépenses énergétiques et les émissions de polluants. Si, pour un grand nombre d'indicateurs urbains, le raisonnement comparatif en termes de quantités par habitant fait sens, il convient de reconsidérer certaines autres mesures des performances des villes à la lumière des « lois d'échelle ». Par exemple, pour tout ce qui concerne les consommations d'énergie ou de ressources pour des équipements, parmi lesquels vont se trouver nombre d'indicateurs du « développement durable », les lois d'échelle indiquent que les grandes villes font déjà « mieux », spontanément, que les petites, et le dosage de l'effort supplémentaire à entreprendre doit tenir compte de l'importance des économies d'échelle réalisables. En revanche, en termes de compétitivité économique, les petites villes doivent être considérées comme viables et attractives, même lorsqu'elles comportent des proportions d'activités « métropolitaines » inférieures à celles des plus grandes villes.

Tout en observant les expériences en vraie grandeur qui sont actuellement conduites pour cette « réadaptation » des villes à leurs écosystèmes, il est utile d'aider à une réflexion prospective sur l'avenir des villes en construisant des modèles dynamiques de l'évolution des systèmes de villes. Nous avons réalisé des modèles de simulation des transformations spatio-temporelles des ensembles de

villes, au moyen de systèmes multi-agents, qui autorisent des représentations plus différenciées et détaillées des interactions spatiales que les modèles classiques d'équations non linéaires. Les modèles de la gamme SIMPOP reconstruisent les réseaux d'échange entre les villes liés à leur différenciation hiérarchique et fonctionnelle (Bura *et al.*, 1996 ; Sanders *et al.*, 1997 ; Pumain *et al.*, 2009 ; Bretagnolle *et al.*, 2010). Ces réseaux d'échange sont souvent très difficiles à observer, quand il s'agit de flux financiers ou d'information par exemple, mais essentiels pour la dynamique des systèmes de villes, qui se construit à partir de leurs orientations, de leurs inégalités et de leurs asymétries. Nous avons pu vérifier que ces réseaux simulés, à partir de règles reproduisant les faits stylisés issus de nos observations, reproduisaient bien les changements observés à plusieurs niveaux d'échelle géographique, parfois sur plusieurs siècles.

A. Comment contrôler ces systèmes complexes

Cependant, depuis la grande « transition urbaine » qui a fait émerger progressivement cette entité géographique plus ou moins autonome, pourvue de propriétés spécifiques et d'une dynamique propre, que nous appelons « système de villes », ce système lui-même, né à partir des échanges, a créé entre les villes des interdépendances très étroites, qui peu à peu ont fait émerger des entités d'échelles supérieures : les états, mais aussi les réseaux bancaires ou commerciaux, puis les entreprises industrielles et multinationales. Paradoxalement, ces conquêtes réalisées grâce aux villes leur ont fait perdre une grande partie du contrôle local qu'elles exerçaient sur leur évolution. Les États nations se sont développés partout dans le monde. Les statuts personnels sont désormais garantis par des références à des échelles plus vastes. Certes, les acteurs présents dans les villes sont toujours en concurrence avec ceux des autres villes pour valoriser l'investissement local, la richesse accumulée, et capter les innovations. Mais les villes ont perdu l'exercice de nombreux pouvoirs (édicter des normes pour les citoyens locaux, régler l'activité économique) qui ont été délégués à des acteurs contrôlant les territoires à des niveaux d'échelle supérieurs, états-nations ou entreprises en réseaux. Le découplage entre système de pouvoir et villes est devenu tellement grand que l'évolution du système des villes paraît désormais quasi autonome, et déconnectée sinon des intentions, du moins du contrôle des acteurs. Car il se trouve que les ressorts les plus influents de la dynamique du système des villes, c'est-à-dire la concurrence entre les villes et l'expansion historique des relations systémiques, sont plus que jamais activés par la mondialisation. Celle-ci met en communication, et donc implique dans des relations d'interdépendance, un nombre toujours plus grand de villes, entre des régions du monde de plus en plus éloignées, du fait de l'élargissement de la portée des interactions. Les réseaux des entreprises multinationales

(Rozenblat, 2010), les moyens techniques de télécommunication tout comme les organisations politiques ou associatives internationales et régionales participent de cette évolution. La force de ces logiques explique la difficulté des tentatives de reprise de contrôle local pour en corriger les effets.

B. La question de la taille optimale

Une question souvent posée à l'aménagement du territoire est celle de la taille « optimale » des villes. Est-il raisonnable de laisser croître encore, sans limite, des entités géographiques, des mégapoles de plusieurs dizaines de millions d'habitants, qui bien souvent dans les pays pauvres concentrent des masses de population dans des bidonvilles, comme l'évoque le sociologue Mike Davis (2006) dans « *Le pire des mondes possibles* » ? Même si le plafonnement de la population mondiale est annoncé pour la fin de ce siècle, il reste des réserves de population rurale dans les plus grands pays du monde, Inde et Chine notamment, qui laissent augurer d'une poursuite de la concentration de la population dans les villes. On observe d'ailleurs, sans pouvoir bien le mesurer faute de données, que la richesse reste encore bien plus concentrée que la population dans les grandes villes « mondiales ». La décrue démographique, les politiques préservant l'environnement, l'élévation du coût de l'énergie, suffiront-elles à inverser cette dynamique, à enrayer la tendance historique à la concentration dans des villes toujours plus grandes ? Il est important, pour suivre ces évolutions, de disposer de bons modèles afin d'explorer les futurs possibles de l'urbanisation planétaire. Créer les conditions locales de qualité de vie et d'ambiance urbaines favorables à l'attraction d'investissements, sans sacrifier l'adaptabilité de la ville aux innovations de l'avenir, requiert à la fois une bonne connaissance des circulations dans les réseaux mondiaux et une savante animation des synergies locales. Là sont les vrais défis et les enjeux de dispositifs comme l'intercommunalité. C'est sans doute par l'invention d'une multiplicité de solutions adaptées aux contextes locaux, que seront apportées des réponses aux défis que l'autonomie des évolutions urbaines pose au pouvoir politique dans toutes les régions du monde. Mais ce n'est pas au niveau local que se trouveront les régulations nécessaires à la maîtrise des facteurs les plus déterminants de ces évolutions. En d'autres termes, les systèmes des villes sont des systèmes complexes, difficile à contrôler : les villes et les états pourront-ils en infléchir la trajectoire ?

BIBLIOGRAPHIE

- AYDALOT P., 1976. *Dynamique spatiale et développement inégal*, Paris : Economica.
 BAIROCH P., 1985. *De Jéricho à Mexico*, Paris : Gallimard.

- BAIROCH P., 1988. *Taille des villes, conditions de vie et développement économique*, Paris : EHESS.
- BARBUT M., 2004. Une famille de distributions : des paréliennes aux « contra-paréliennes ». Applications à l'étude de la concentration urbaine et de son évolution. *Cybergeo*, 266, <http://cybergeo.revues.org/3935>.
- BETTENCOURT L., LOBO J. & WEST G., 2009. The self similarity of human social organization and dynamics in cities. *Complexity perspectives on innovation and social change* (Lane D., Pumain D., van der Leeuw S., West G. eds.), ISCOM, Methodos Series 7, Berlin : Springer, pp. 221-236.
- BOTERO G., 1588. *Della Ragion di Stato, Delle cause della grandezza delle città*. Torino : L. Firpo, pp. 341-400.
- BOURGINE P. & LESNE A. (dir.), 2006. *Morphogenèse, l'origine des formes*, coll. Échelles, Paris : Belin,
- BRETAGNOLLE A., 2003. Vitesse des transports et sélection hiérarchique entre les villes françaises. *Données Urbaines* (Pumain D., Mattéi M-F (coord)), Paris : Anthropos, 4, pp. 309-323.
- BRETAGNOLLE A., MATHIAN H., PUMAIN D. & ROZENBLAT C., 2000. Long-term dynamics of European towns and cities: towards a spatial model of urban growth. *Cybergeo*, 131, <http://cybergeo.revues.org/566>.
- BRETAGNOLLE A., PUMAIN D. & VACCHIANI-MARCUZZO C., 2007. Les formes des systèmes de villes dans le monde. *Données urbaines* (Mattéi M.-F., Pumain D. dir), Paris : Anthropos, 5, pp. 301-314.
- BRETAGNOLLE A., MATHIAN H. & GIRAUD T., 2008. L'urbanisation des États-Unis, des premiers comptoirs coloniaux aux Metropolitan Areas (1790-2000). *Cybergeo*, 427, <http://cybergeo.revues.org/19683>.
- BURA S., GUÉRIN-PACE F., MATHIAN H., PUMAIN D. & SANDERS L., 1996. Multi-agent systems and the dynamics of a settlement system. *Geographical Analysis*, 2, pp. 161-178.
- CAMAGNI R., 1996. *Economie urbaine*, Paris : Economica.
- CAMAGNI R., 1990. Struttura urbana gerarchica e reticolari: verso una teorizzazione. *Gerarchie e reti di città: tendenze e politiche*, (Curti F. Diappi L. eds), Milano : Franco Angeli.
- CASTELLS M., 1990. *The Informational City*, Oxford : Basil Blackwell.
- CAUVIN C. & REYMOND H., 1985. *L'espacement des villes*, Paris : CNRS, Mémoires et Documents de Géographie.
- DAVIS M., 2006. *Le pire des mondes possibles*, Paris : La Découverte.
- DELUZ C., 1989. Villes et organisation de l'espace : la Chine de Marco Polo. *Villes, bonnes villes, cités et capitales. Mélanges offerts à Bernard Chevalier*, Tours. pp. 167-168.
- DIAMOND J., 1997. *De l'inégalité parmi les sociétés - Essai sur l'homme et l'environnement dans l'histoire*, Paris : Gallimard (trad. fr. 2000).
- FAVARO J.-M., 2007. *Croissance urbaine et cycles d'innovation dans les systèmes de villes : une modélisation par les interactions spatiales*. Thèse de doctorat, Université Paris I.
- FELDMAN M.-P. & FLORIDA R., 1994. The Geographic Sources of Innovation: Technological Infrastructures and Product Innovation in the United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 84 (2), pp. 210-229.
- FRANKHAUSER P., 1994. *La fractalité des structures urbaines*, Paris : Anthropos.
- FUJITA M. & THISSE J.-F., 2002, *Economics of Agglomeration: Cities, Industrial Location, and Regional Growth*, Cambridge : Cambridge University Press.
- GENRE-GRANDPIERRE C., 2000. *Forme et fonctionnement des réseaux de transport : approche fractale et réflexions sur l'aménagement des villes*. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté.
- GIBRAT R., 1931. *Les inégalités économiques*, Paris : Sirey.
- GLAESER E., 2008. The economic approach to cities. Harvard Institute of Economic Research Discussion Paper, 2149.
- GUÉRIN-PACE F., 1993. *Deux siècles de croissance urbaine*, Paris : Anthropos.
- HAUTREUX J. & ROCHEFORT M., 1965. Physionomie générale de l'armature urbaine française. *Annales de Géographie*, 406, pp. 660-667.
- JUILLARD E., 1972. *Espace et temps dans l'évolution des cadres régionaux*. Études de géographie tropicale offertes à P. Gourou, Paris : Mouton, pp. 29-43.
- KUHNERT C.D., HELBING D. & WEST G.B., 2006. Scaling laws in Urban Supply Networks. *Physics A, Statistical Mechanics and its applications*, 263 (1), pp. 96-103.
- MARTIN R., 2008. Path Dependence and Path Creation in the Economic Landscape. *Handbook of Evolutionary Economic Geography* (Boschma, R. and Martin, R. Eds), Cheltenham : Edward Elgar.
- MARX W. (ed), 2008. *Le récit*, Paris : PUF, Actes de savoirs, 4.
- MÉRENNE B., 2008, *Géographie des services et des commerces*, Rennes : Presses Universitaires de Rennes.
- MORICONI-EBRARD F., 1993, *L'urbanisation du monde depuis 1950*, Paris : Anthropos.
- PAULUS F., 2004. Coévolution dans les systèmes de villes : croissance et spécialisation des aires urbaines françaises de 1950 à 2000. Université Paris I, thèse de doctorat.
- POLÈSE M. & SHEARMUR R., 2005. *Économie urbaine et régionale*, Paris : Economica.
- PRED A., 1973. Systems of cities and information flows, *Lund Studies in Geography, Serie B*, 38.
- PUMAIN D., 1982. *La dynamique des villes*, Paris : Economica.
- PUMAIN D., 1992. Les systèmes de villes. *Encyclopédie de géographie* (Bailly A., Ferras R., Pumain D., eds), Paris : Economica, pp. 645-664.
- PUMAIN D., 1997. Vers une théorie évolutive des villes. *L'Espace Géographique*, 2, pp. 119-134.
- PUMAIN D. & GAUDIN J.-P., 2002. Systèmes de villes et pouvoir. L'analyse de Giovanni Botero à l'époque de la Renaissance. *Cybergeo*, 227, <http://cybergeo.revues.org/1836>.
- PUMAIN D., 2004. « Scaling laws and urban systems », *Santa Fe Institute, Working Paper*, 04-02-002, 26 p.
- PUMAIN D., 2006a. Villes et systèmes de villes dans l'économie. *Revue d'économie financière*, 86, pp. 29-46.

- PUMAIN D., 2006b. Lois d'échelle et mesure des inégalités en géographie. *Revue Européenne des Sciences Sociales*, tome XLV, 138, pp. 55-65.
- PUMAIN D., PAULUS F., VACCHIANI-MARCUZZO C. & LOBO J., 2006. An evolutionary theory for interpreting urban scaling laws, *Cybergeo*, 343, <http://cybergeo.revues.org/2519>.
- PUMAIN D., PAULUS F. & VACCHIANI-MARCUZZO C., 2009. Innovation Cycles and Urban Dynamics. *Complexity perspectives on innovation and social change*, (D. Lane, D. Pumain, S. Van der Leeuw, G. West eds.), ISCOM, Methodos Series, Berlin : Springer, pp. 237-260.
- PUMAIN D., 2009. L'espace, médium d'une construction spiralaire de la géographie, entre société et environnement *La cumulativité des connaissances en sciences sociales* (Walliser B., ed), collection Enquêtes, Paris : EHESS, pp. 163-197.
- ROBSON B.T., 1973. *Urban growth, an approach*, London : Methuen.
- RACINE J.-B., 1994. *La ville entre Dieu et les hommes*, Paris : Anthropos.
- REYMOND H., 1981. Une problématique théorique. *Problématiques de la géographie*, Isnard H., Racine J.-B., Reymond H., Paris : PUF.
- REYNAUD A., 2000. *Une Géohistoire, la Chine des Printemps et des Automnes*. Paris : Belin.
- ROZENBLAT C., 1996. L'efficacité des réseaux de villes pour le développement et la diffusion des entreprises multinationales en Europe (1990-1996). *Flux*, 27-28, pp. 41-58.
- ROZENBLAT C., 2010. Opening the Black Box of Agglomeration Economies for Measuring Cities' Competitiveness through International Firm Networks. *Urban Studies*, 47, pp. 2841-2865.
- SANDERS L., FAVARO J.-M., GLISSE B., MATHIAN H. & PUMAIN D., 2007. Artificial intelligence and collective agents : the EUROSIM model, *Cybergeo*, 392, <http://cybergeo.revues.org/8962>.
- SKINNER G.W., 1978. Cities and the hierarchy of local systems. *Studies in Chinese Society*. (Wolf A.P., ed), Stanford CA : Stanford University Press.
- VACCHIANI-MARCUZZO C., 2005. Mondialisation et système de villes : les entreprises étrangères et l'évolution des agglomérations sud-africaines. Université Paris I, thèse de doctorat.
- VARENNE F., 2007. *Du modèle à la simulation informatique*, Paris : Vrin.
- WHEATLEY P., 1971. *The pivot of the four quarters*, Edinburgh : University Press.

Cordonnées de l'auteur :

Denise PUMAIN,
Professeur,
Université Paris I, Institut Universitaire de France
UMR Géographie-cités,
13, rue du Four,
F-75006 Paris
pumain@parisgeo.cnrs.fr

