

**Proposition de communication pour les  
2e Rencontres Francophones Transport Mobilité (RFTM)  
Montréal, 11-13 juin 2019**

**Session spéciale : "L'effet territorial des réseaux de transport en question : perspectives dans la longue durée".**

**Titre :**

Rôle des réseaux de transport sur l'émergence d'une structure hiérarchique dans les systèmes de villes.

**Auteur(s) :**

Mickaël FERRI, Doctorant, UMR ESPACE 7300, [mickael.ferri@univ-avignon.fr](mailto:mickael.ferri@univ-avignon.fr)

Cyrille GENRE-GRANDPIERRE, Professeur, UMR ESPACE 7300, [cyrille.genre-grandpierre@univ-avignon.fr](mailto:cyrille.genre-grandpierre@univ-avignon.fr)

Mounir REDJIMI, Maître de Conférence, UMR ESPACE 7300, [mounir.redjimi@univ-avignon.fr](mailto:mounir.redjimi@univ-avignon.fr)

**Mots-clés :**

Système de ville, hiérarchie, rang taille, interaction centralité, accessibilité

**Résumé :**

La ville peut se définir comme un fort potentiel d'interactions entre individus, notamment parce que la densité y limite les coûts de transport. Ce potentiel d'interaction permet l'émergence des économies d'agglomération, favorables à l'innovation et au développement économique. Chaque ville est de plus intégrée dans un système de villes, dont la taille dépend notamment des facilités offertes par les réseaux de transport qui relient les villes entre elles et facilitent plus ou moins l'interaction à longue portée.

L'observation empirique montre que partout la distribution statistique des villes est hiérarchisée alors qu'à l'origine le peuplement était composé d'agglomérations isolées de taille relativement identique. Mieux, la distribution des villes suit même une distribution très particulière, comme l'a observé Zipf [1949]<sup>1</sup>, à savoir une loi rang taille plus ou moins marquée. Il résume sa loi ainsi : « si les villes d'un pays sont rangées d'après le volume de leur population, de la plus grande à la plus petite, la population P d'une ville est liée à son rang r par la relation :  $r.P^q = K$  où q et K sont des constantes ». Ainsi, il y a très peu de grandes villes pour beaucoup de petites. Zipf pense que la hiérarchie des villes est dynamique et évolutive dans le sens où les plus grosses villes croissent aux dépens des plus petites<sup>2</sup>. La hiérarchie urbaine est donc le résultat de croissances urbaines inégales. Cette croissance est le résultat de :

- De la croissance naturelle qui est la différence entre le taux de natalité et le taux de mortalité (la croissance endogène),
- Du solde migratoire : différence entre les arrivées et les départs (la croissance exogène).

Si de nombreux géographes ont décrit cette hiérarchie dans les systèmes de villes, la question de sa cause, de son émergence, de son omniprésence reste encore largement posée. Notre objectif est donc de comprendre comment émerge une structure hiérarchique de type rang-taille dans un système de villes. Plutôt que d'utiliser une approche économique dans laquelle la diffusion

<sup>1</sup> Zipf, George K. Human behavior and the principle of least effort. Cambridge, (Mass.) : Addison-Wesley, 1949, pp. 573.

<sup>2</sup> Georges Nicolas, Anne Radeff, « Hiérarchies des villes : des « lois » taillées sur mesure ». 2012, page 5

plus ou moins rapide de l'innovation explique la croissance différentielle des villes, nous centrons notre approche sur l'interaction et les échanges, avec comme objectif de parvenir à modéliser la croissance allométrique du système de villes avec le modèle le plus simple possible.

L'hypothèse centrale de ce travail est que c'est la façon dont s'organisent les échanges entre villes qui va expliquer leur croissance, et par conséquent les réseaux de transport vont jouer un rôle central.

Notre travail consiste donc à simuler les échanges entre villes avec différentes hypothèses concernant l'intensité et la distribution des échanges et à observer l'effet de ces hypothèses sur la hiérarchie urbaine.

- Dans un premier temps, le coût de l'échange est considéré comme nul. Des individus déménagent donc, selon des règles définies, d'une ville à une autre sans que la position géographique de la ville intervienne dans le choix de la destination. L'approche est ici statistique.
- Dans un deuxième temps, des hypothèses sont faites quant à l'attractivité des villes. Les plus attractives sont les plus centrales ou accessibles via un système de transport donné. L'approche est ici plus géographique et permet grâce à des simulations conduites sur le SMA Netlogo d'étudier le rôle des réseaux sur la croissance allométrique des villes.

### 1. Rôle de l'intensité des échanges entre villes sur la hiérarchie urbaine :

Nous avons mis en évidence que la hiérarchie urbaine est une structure et organisation spatiale qui émerge de l'inégalité des interactions. Qu'on simule la croissance urbaine avec des interactions se faisant aléatoirement ou en fonction de l'attraction des villes, on obtient toujours une distribution inégale des villes selon leur taille. Si la hiérarchie est peu marquée avec l'échange aléatoire où la croissance exogène est globalement bien répartie, elle est en revanche très marquée quand on simule l'attraction<sup>3</sup> des villes où seulement quelques villes captent les migrations. On se rapproche des distributions rang-taille théoriques dès que l'on intègre la notion d'attraction.

Finalement, nous montrons que la seule simulation des échanges entre villes crée une structure hiérarchique. Quels que soient les paramètres de simulation utilisés (taux de croissance naturelle, pourcentage d'individus migrants, population initiale), on obtient toujours l'émergence d'une hiérarchie bien qu'au départ nous ayons des villes de taille identique.

### 2. Rôle du réseau de transport sur l'émergence de la hiérarchie urbaine

Nous avons spatialisé ces interactions en favorisant l'attractivité des villes les plus centrales ou accessibles dans un réseau. Cette simulation permet d'étudier la contribution spécifique de différentes topologies de réseaux à l'émergence de hiérarchies urbaines.

Pour cette simulation nous avons recréé sous une plateforme de Système Multi-agents le modèle de migration. Nous simulons les jeux migratoires entre 441 villes. À chaque tour, un certain pourcentage d'individus qui composent les villes doit choisir une destination. Le choix de la destination est alors influencé par les contraintes spatiales représentées ici par la structure et la nature du réseau de transport. Dans un premier temps, nous avons testé le modèle avec des distances réseau topologiques, pour ne tester que l'influence de la topologie du réseau, puis en distance-temps afin de tester l'hypothèse de l'accessibilité comme autre paramètre explicatif potentiel de la structure hiérarchique. Au départ d'un lieu  $i$  la probabilité pour une ville  $j$  d'être une destination pour  $i$  dépendra de l'attractivité<sup>4</sup> de  $j$  et de la distance  $d_{ij}$  : **Nouvelle destination = attractivité / distance**. La distance est calculée en plus court chemin, et l'attractivité se recalcule à chaque migration.

Afin de savoir si le réseau influence ou non la forme de la distribution et l'organisation hiérarchique du système de villes, nous modélisons différents types de réseaux :

- Aléatoire
- Invariant d'échelle

<sup>3</sup> Indice attractivité = (Nombre de flux reçus + nombre de flux émis) / nombre total de flux

<sup>4</sup> Indice attractivité = (Nombre de flux reçus + nombre de flux émis) / nombre total de flux

- Small-world
- Réseau quadrillé ou Réseau Manhattan
- Réseau quadrillé tronqué ou Réseau Manhattan Réseau tronqué

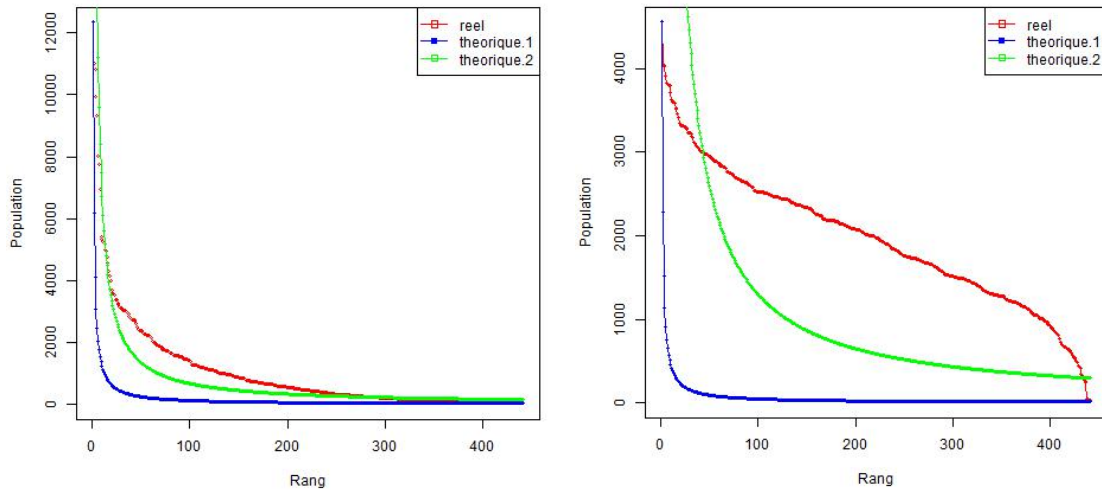


Figure 2 Distribution hiérarchique du réseau invariant d'échelle (à gauche), du réseau de Manhattan (à droite)

Les résultats montrent qu'un réseau invariant d'échelle par sa structure, favorise une hiérarchie prononcée et, ainsi permet de se rapprocher d'une distribution statistique de type rang-taille. Tous les réseaux ne le permettent pas. Un réseau de Manhattan qui a une structure quadrillée offre une certaine homogénéité des villes en termes de centralité et d'accessibilité et in fine produit une hiérarchie moins prononcée. Par ailleurs, la forme du réseau influence la hiérarchie, reste à trouver comment. Nous avons donc entamé l'analyse de la corrélation entre des indices de centralité et d'accessibilité des villes modélisées, avec leur rang hiérarchique final, mais aussi leur attractivité. Les indices utilisés pour l'instant sont l'eigenvector centrality (centralité de vecteur propre ou centralité spectrale), la betweenness (centralité intermédiaire) et la closeness centrality (centralité de proximité). Si les résultats confirment le fait que la centralité est en grande partie explicative de la position hiérarchique finale, et que l'accessibilité nuance l'influence de la centralité, nous voulons savoir s'il est possible d'influencer la trajectoire hiérarchique en cours par la modification de l'état initiale (modification de la structure du réseau et de l'impédance du réseau).

Ces travaux permettent de mieux comprendre dans quelle mesure il est possible d'infléchir la trajectoire d'un système de villes en modifiant la configuration des réseaux de transport.

### 3. Simuler un système de villes ancien pour valider les hypothèses / validation par données empiriques

Afin de valider nos hypothèses, nous avons simulé l'évolution dans le temps long de systèmes de villes réels (Etats Unis notamment). La simulation débute au temps  $t$ . On connaît la population des villes et la configuration du réseau de transport les reliant. On simule les migrations entre villes selon le modèle vu précédemment. Si des changements sont intervenus sur le réseau de transport dans la réalité (création de routes, augmentation de vitesse) ceux-ci sont réintroduits en cours de simulation.

Pour différentes étapes de simulation, nous comparons les systèmes de villes réels et ceux issus de la simulation afin de valider l'hypothèse de départ que c'est la façon dont s'opèrent les interactions qui va conditionner la croissance allométrique dans les systèmes de villes.