

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

Ferri Mickaël

Doctorant en Géographie, UAPV, UMR ESPACE 7300 CNRS

Encadrement :

- **Genre-Grandpierre Cyrille**, Professeur des Universités (UAPV, UMR ESPACE 7300 CNRS)
- **Redjimi Mounir**, Maître de conférences (UAPV, UMR ESPACE 7300 CNRS)

Ville et système de villes

La ville = un fort potentiel d'interactions entre individus (nombre personnes accessibles en un temps donné (1h))

Potentiel(i) = f(densité, vitesse).

Fort potentiel = émergence d'économies d'agglomération (innovation, productivité).

Ville et système de villes

La ville = un fort potentiel d'interactions entre individus (nombre personnes accessibles en un temps donné (1h))

Potentiel(i) = f(densité, vitesse).

Fort potentiel = émergence d'économies d'agglomération (innovation, productivité).

Chaque ville est intégrée dans **un système de villes.**

Sa taille dépend des réseaux de transport qui relient les villes et facilitent l'interaction.

Constat

Il existe toujours **une distribution hiérarchique des villes d'un même système de villes.**

La hiérarchie est le résultat de la croissance différentielle des villes sur le temps long.

Constat

Il existe toujours **une distribution hiérarchique des villes d'un même système de villes.**

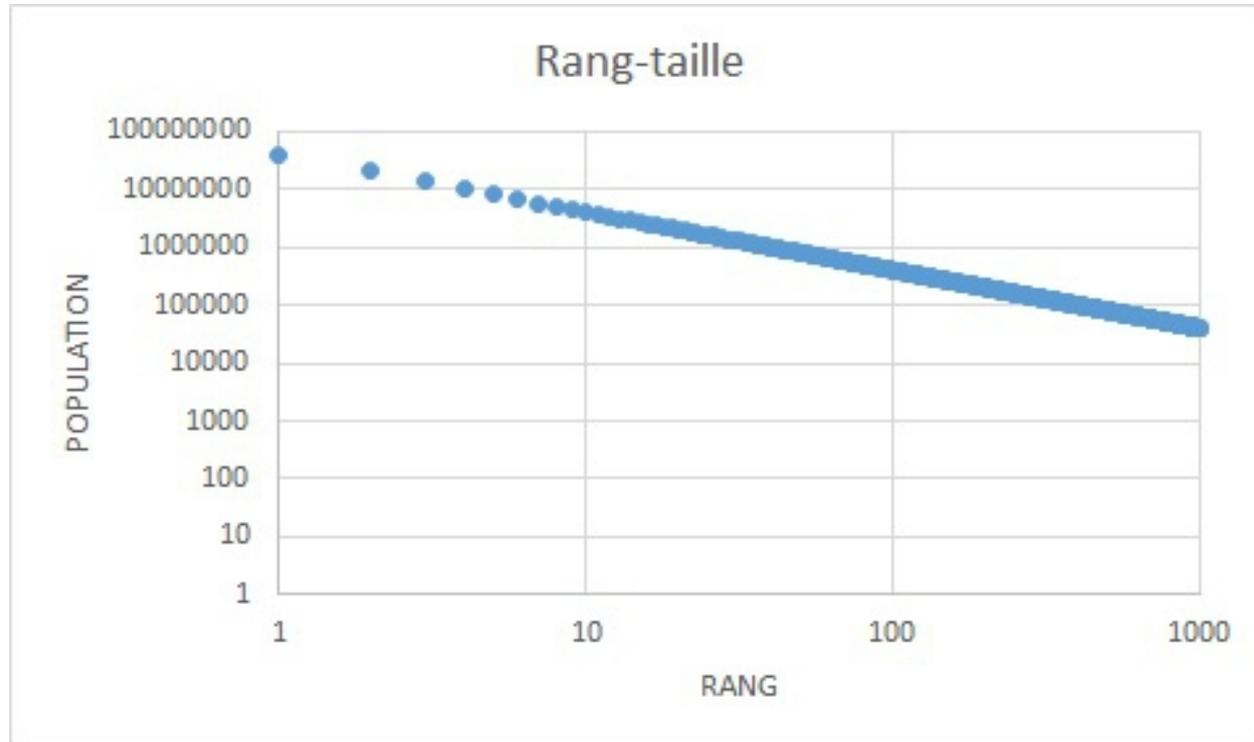
La hiérarchie est le résultat de la croissance différentielle des villes sur le temps long.

La croissance d'une ville est fonction :

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

Relation rang-taille

La distribution des villes suit une distribution très particulière, à savoir une loi rang taille [Zipf, 1949].



Relation rang-taille

Chaque système de ville possède sa propre distribution rang-taille.

Le problème de la loi rang-taille est qu'elle est a-spatiale, **c'est une approche statique, descriptive et non explicative**

Objectifs

La question de cette hiérarchie, de sa cause, de son émergence, de son omniprésence reste encore largement posée.

Objectifs

La question de cette hiérarchie, de sa cause, de son émergence, de son omniprésence reste encore largement posée.

Notre objectif est de trouver le ou les processus en jeu qui peuvent expliquer cette émergence

Objectifs

La question de cette hiérarchie, de sa cause, de son émergence, de son omniprésence reste encore largement posée.

Notre objectif est de trouver le ou les processus en jeu qui peuvent expliquer cette émergence

Plutôt que d'utiliser une approche économique où c'est l'innovation et son impact qui explique la croissance différentielle des villes.

Objectifs

La question de cette hiérarchie, de sa cause, de son émergence, de son omniprésence reste encore largement posée.

Notre objectif est de trouver le ou les processus en jeu qui peuvent expliquer cette émergence

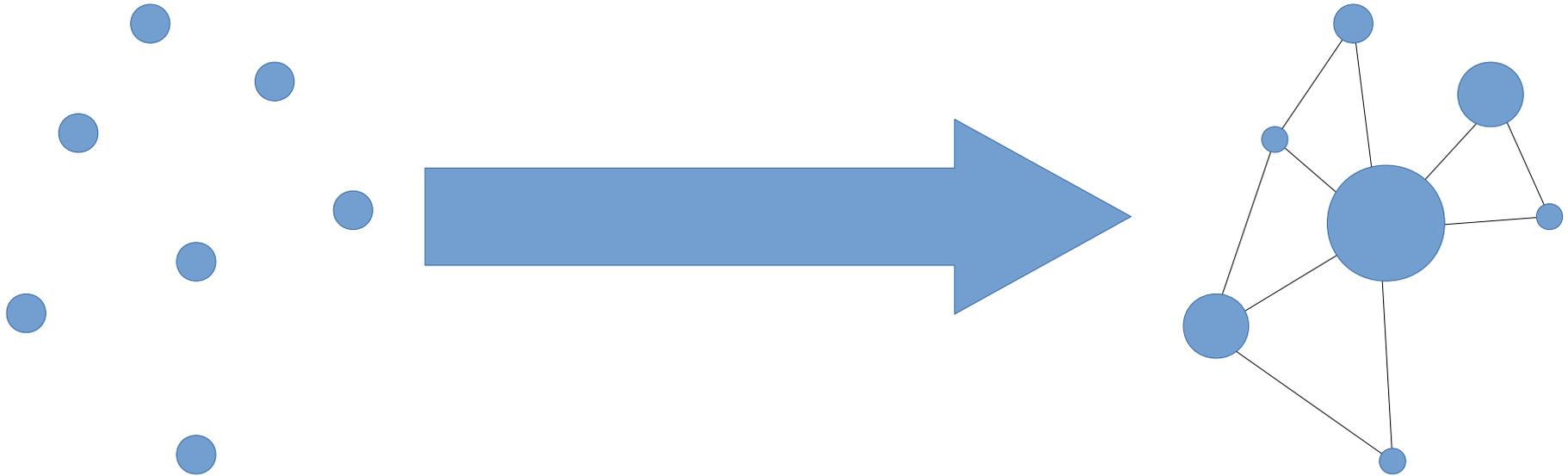
Plutôt que d'utiliser une approche économique où c'est l'innovation et son impact qui explique la croissance différentielle des villes.

Nous centrons notre approche sur l'interaction et les échanges.

Problématique

Comment passe-t-on d'une distribution de la population plus ou moins homogène sous forme de villages peu en interaction, à un système de villes hiérarchisé ?

Problématique



Hypothèse

Plus les villes échangent plus elles croissent

Hypothèse

Plus les villes échangent plus elles croissent

L'intensité de l'échange dépend de la population de la ville et de sa capacité à interagir avec les autres

Hypothèse

Plus les villes échangent plus elles croissent

L'intensité de l'échange dépend de la population de la ville et de sa capacité à interagir avec les autres

Capacité qui dépend de la localisation de la ville et des réseaux de transport qui la relie aux autres villes

Hypothèse

Plus les villes échangent plus elles croissent

L'intensité de l'échange dépend de la population de la ville et de sa capacité à interagir avec les autres

Capacité qui dépend de la localisation de la ville et des réseaux de transport qui la relie aux autres villes

Notre travail : quelles règles régissent les échanges pour quels effets sur la configuration du système de villes

Quels niveaux géographiques doit-on étudier ?

« Quand on s'intéresse à l'émergence et à l'évolution de structures observables au niveau des systèmes de villes, deux choix sont possibles :

- 1- On considère que les configurations urbaines sont le résultat de millions de décisions individuelles interdépendantes [...] **les individus représentent alors les unités élémentaires du modèle.**
- 2- On considère que les propriétés du système de villes résultent de la forme des interactions entre les villes et que ces interactions opèrent suivant des logiques de niveau méso-géographiques peu sensible à la diversité des décisions individuelles. **Les villes sont alors les entités élémentaires du modèle.** »

(Sanders 2006).

Approche

L'échange se fait à travers des flux d'individus

Une approche individu centré : c'est le comportement des individus qui définit le système

Approche

L'échange se fait à travers des flux d'individus

Une approche individu centré : c'est le comportement des individus qui définit le système

Modélisation avec une approche Système Multi-agent pour simuler :

- les individus et leurs stratégies
- intégrer l'espace
- les réseaux et modes de transports

Méthodologie

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.

Méthodologie

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.

1- Situation de référence pour voir l'impact de l'échange seulement :
L'approche statistique : le coût de l'échange est considéré comme nul. Des individus déménagent 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.

Méthodologie

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.

1- Situation de référence pour voir l'impact de l'échange seulement : **L'approche statistique** : le coût de l'échange est considéré comme nul. Des individus déménagent 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.

2- **L'approche par les SMA (Netlogo)** : l'échange dépend de leur accessibilité qui est fonction de leur localisation et leur position dans le réseau de transport = étudier le rôle des réseaux sur la croissance allométrique des villes

Approche non spatiale

Le rôle de l'intensité des échanges sur la hiérarchie urbaine

Simulation d'échanges :

- Échanges aléatoires
- L'intensité de l'échange au temps $t+1$ dépend de sa contribution précédente

Plateforme utilisé : R

Fonctionnement du modèle 1

Simuler l'interaction entre 1000 villes fictives de même taille sur 600 ans.

Fonctionnement du modèle 1

Simuler l'interaction entre 1000 villes fictives de même taille sur 600 ans.

Les paramètres à faire varier :

- la population initiale
- le taux de croissance naturelle
- le taux de migration

Fonctionnement du modèle 1

Simuler l'interaction entre 1000 villes fictives de même taille sur 600 ans.

Les paramètres à faire varier :

- la population initiale
- le taux de croissance naturelle
- le taux de migration

Le choix de la destination :

- aléatoire
- au temps $t + 1$ la probabilité pour une ville d'être choisie comme destination dépend de l'intensité de sa contribution aux échanges depuis le début de la simulation

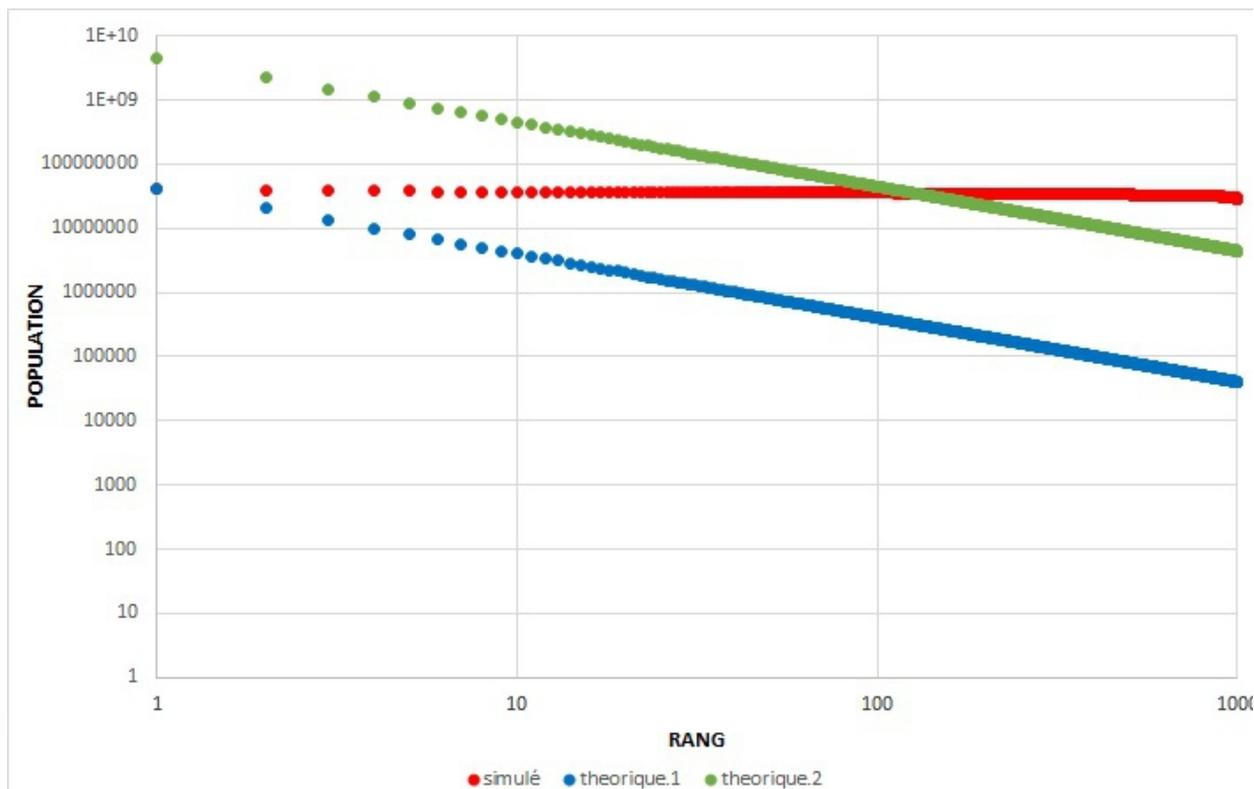
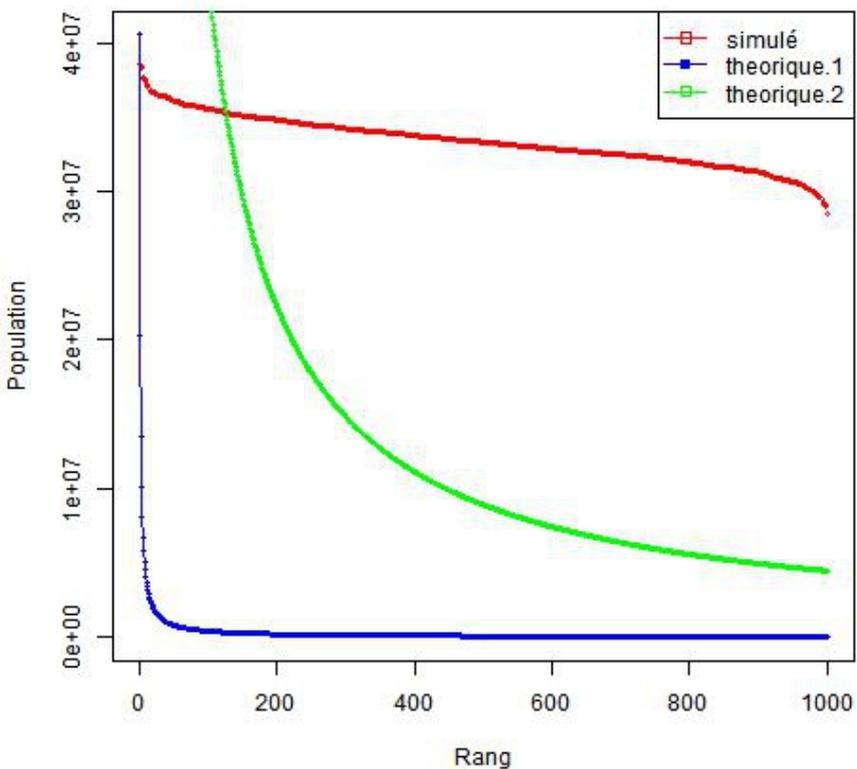
$$\text{Probabilité} = \frac{\text{contribution aux échanges}}{\text{échange total}} * 100$$

Comparer les résultats aux modèles théoriques :

- 1) La distribution hiérarchique résultant de la simulation,
- 2) La distribution hiérarchique $P_r = P_1/r$
où P_1 est égal à la population de la ville de Rang1
- 3) La distribution hiérarchique $P_r = P_1/r$
où P_1 est égal à la population théorique de la ville de Rang1
calculé selon $P_1 = P / \sum (1/r) = \text{étude de la répartition de la population}$

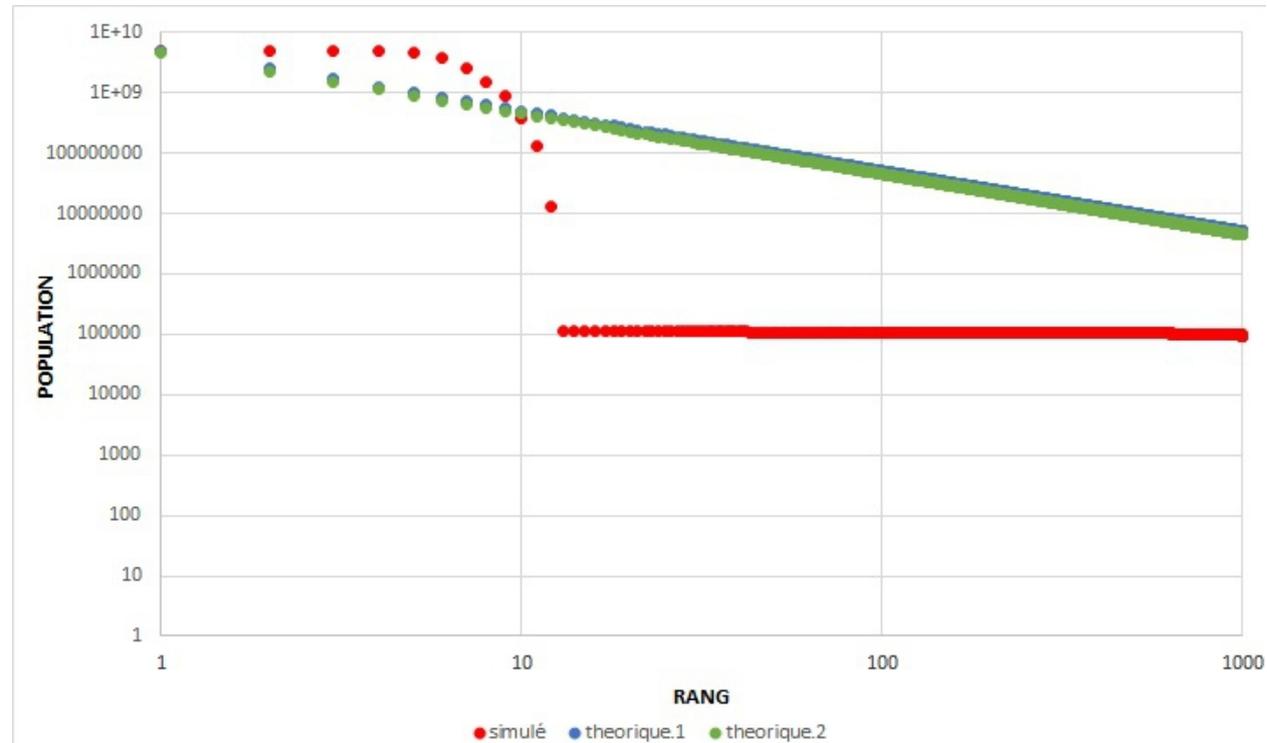
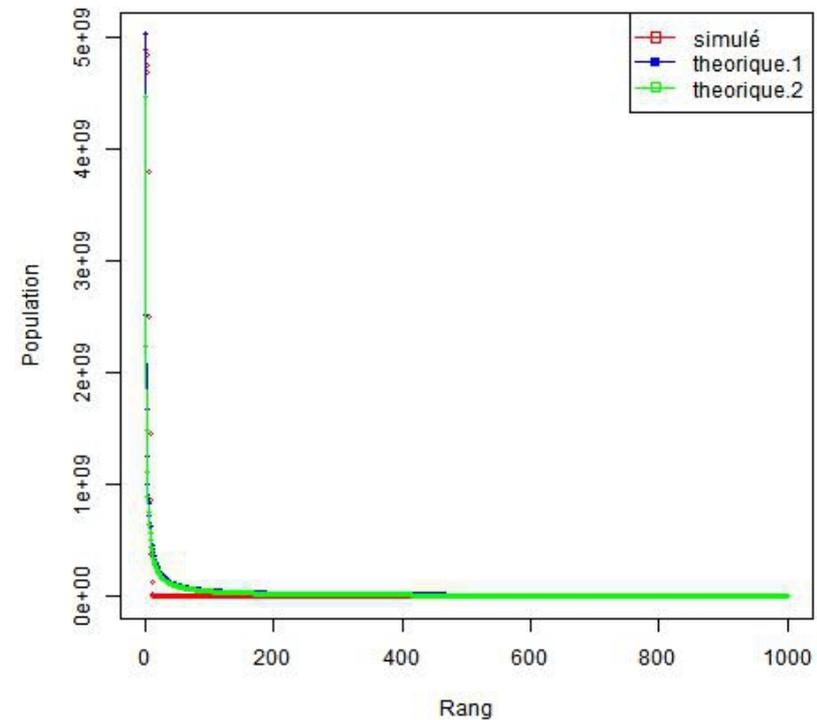
Résultats

Distribution hiérarchique : échange aléatoire



Résultats

Distribution hiérarchique : échange soumis à l'attraction



Résultats

La simple interaction crée une structure hiérarchique, peu importe la variation des paramètres de la croissance urbaine.

On obtient toujours l'émergence d'une hiérarchie bien qu'au départ nous ayons des villes de taille identique.

1- l'interaction seule crée une hiérarchie (faible)

2- l'attraction crée une hiérarchie forte (quelques villes captent la croissance)

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

Questions :

- quelles hiérarchies urbaines pour quels types de réseaux?

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

Questions :

- quelles hiérarchies urbaines pour quels type de réseaux?

Test de différentes configurations de réseaux de transport :

- différentes topologies
- valués ou pas

Règles de l'échange : modèle gravitaire

Fonctionnement du modèle

modèle de type **gravitaire** :

L'attractivité d'une ville j pour une ville i :

Attractivité de j = contribution aux échanges de j / distance $_{ij}$
(réseau)

Nb : l'attractivité se recalcule à chaque migration

Fonctionnement du modèle

Simulation de la migration des individus entre 441 villes avec plusieurs réseaux de transports

Plateforme utilisée : Netlogo

Le systèmes de transport correspond à **des graphes non-orientés**.

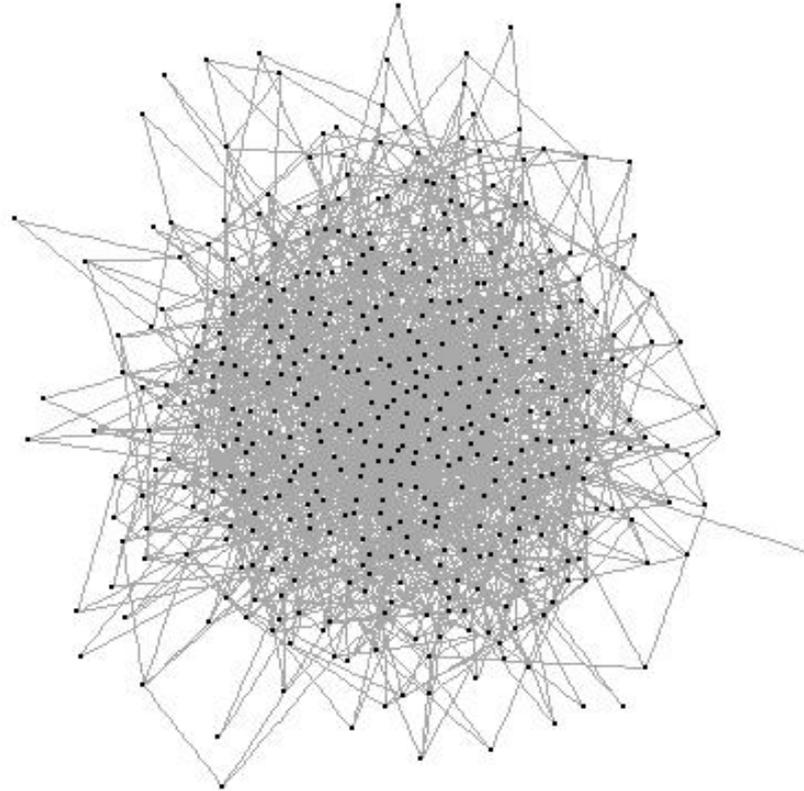
Construction du modèle

Afin de savoir si le réseau influence ou non la forme de la distribution hiérarchique, nous modélisons différents types de réseaux :

Construction du modèle

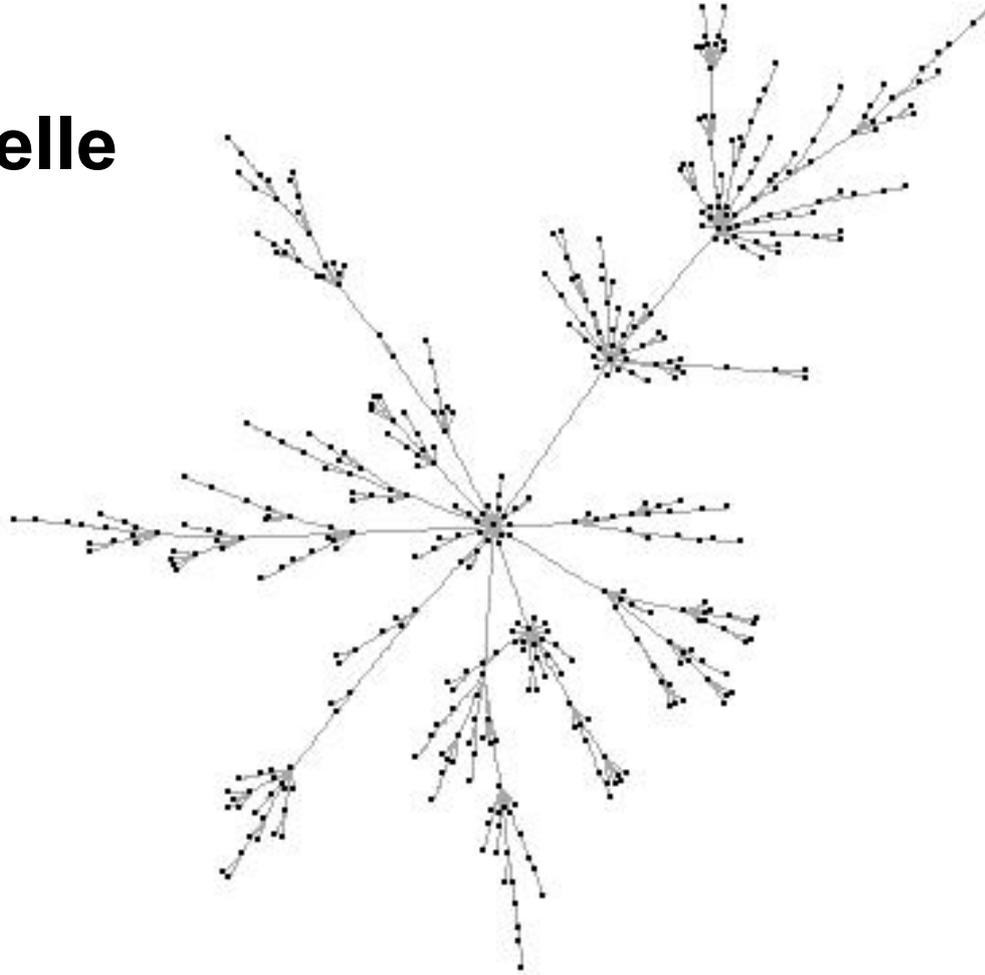
Afin de savoir si le réseau influence ou non la forme de la distribution hiérarchique, nous modélisons différents types de réseaux :

- **Aléatoire**



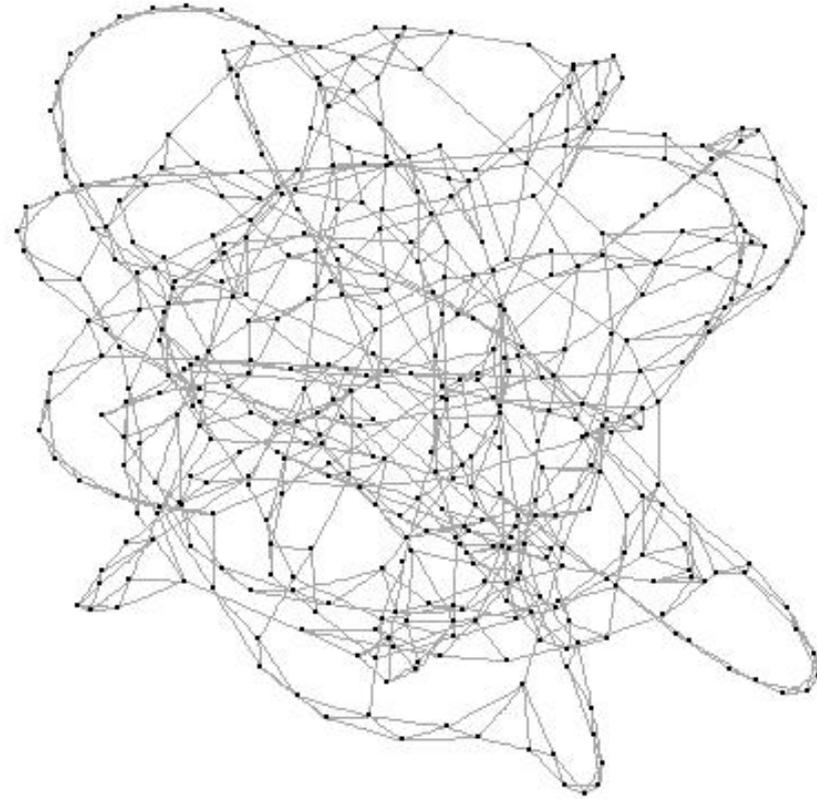
Construction du modèle

Invariant d'échelle



Construction du modèle

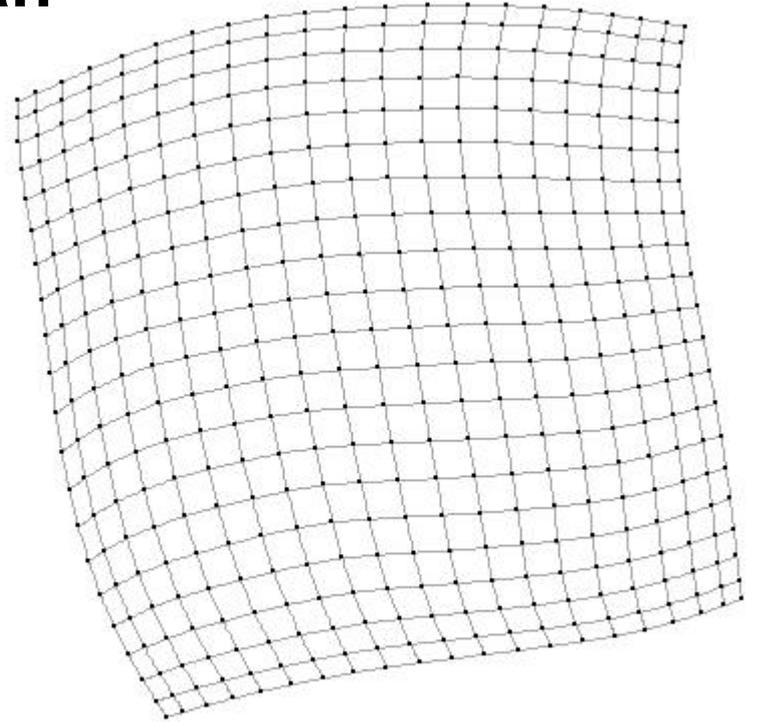
Small-world



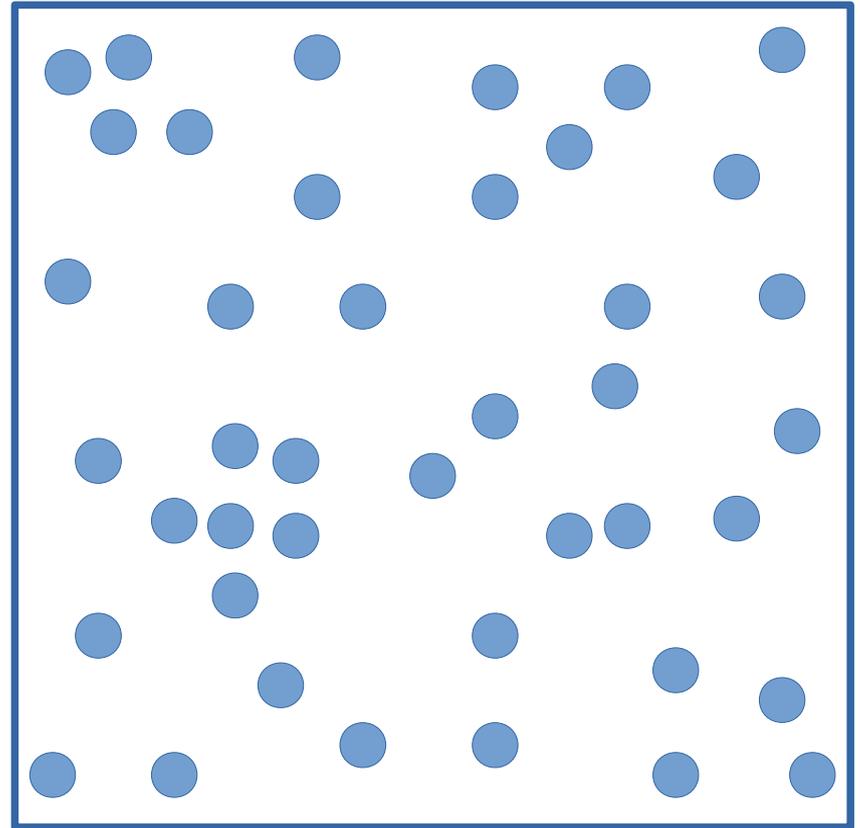
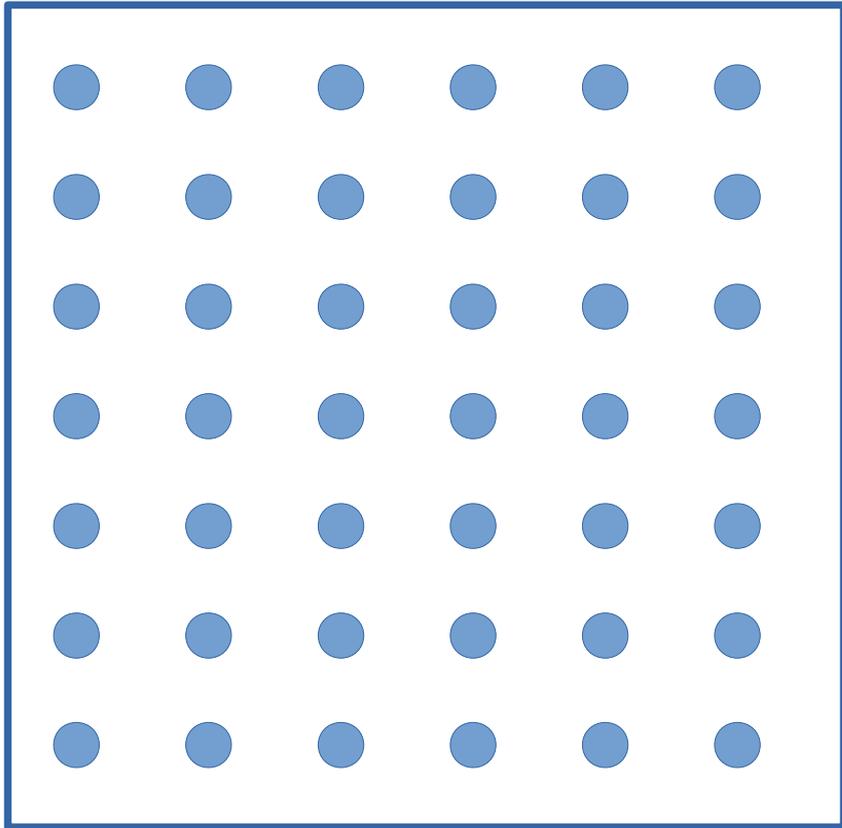
Construction du modèle

Réseau quadrillé ou Réseau Manhattan

**Réseau quadrillé tronqué ou Réseau
Manhattan Réseau tronqué**

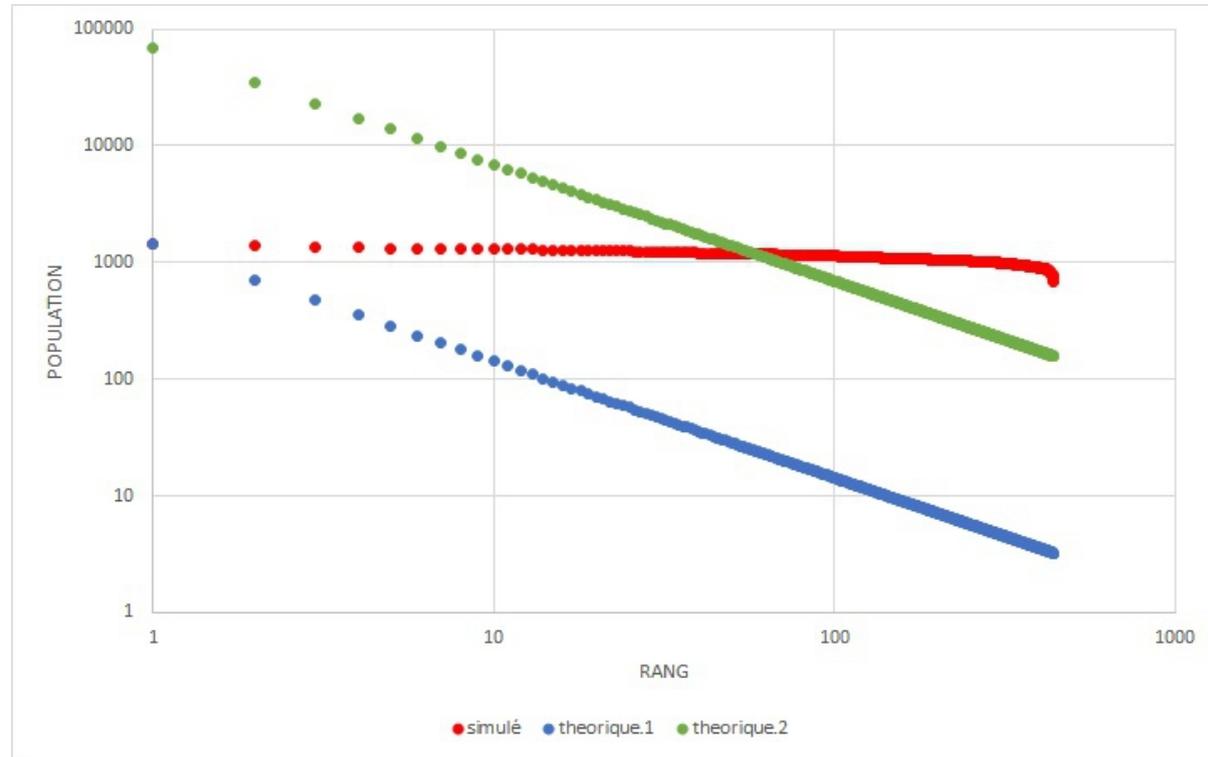
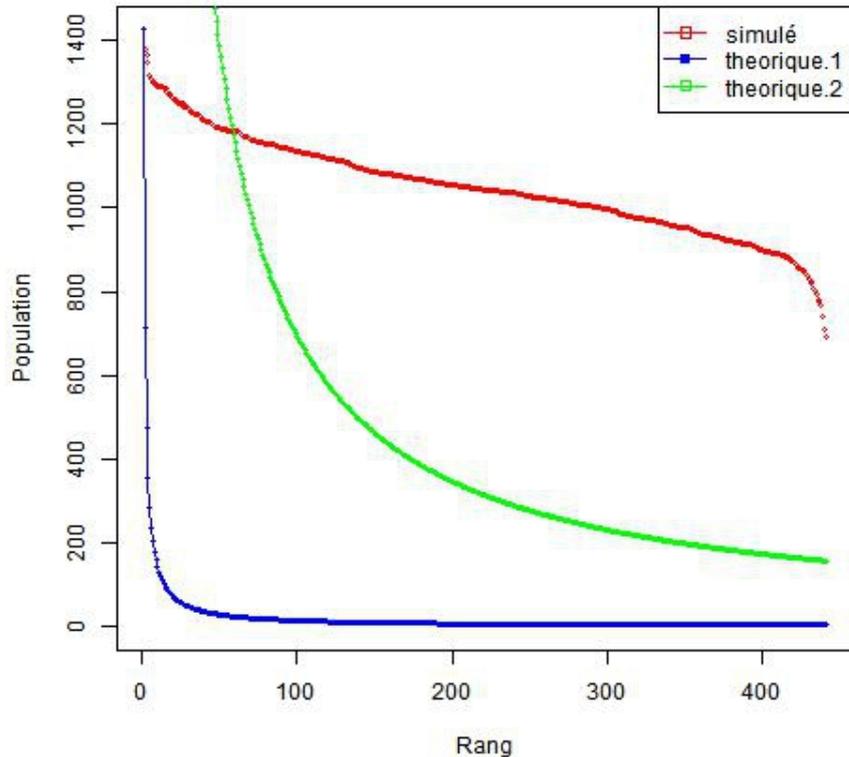


Construction du modèle



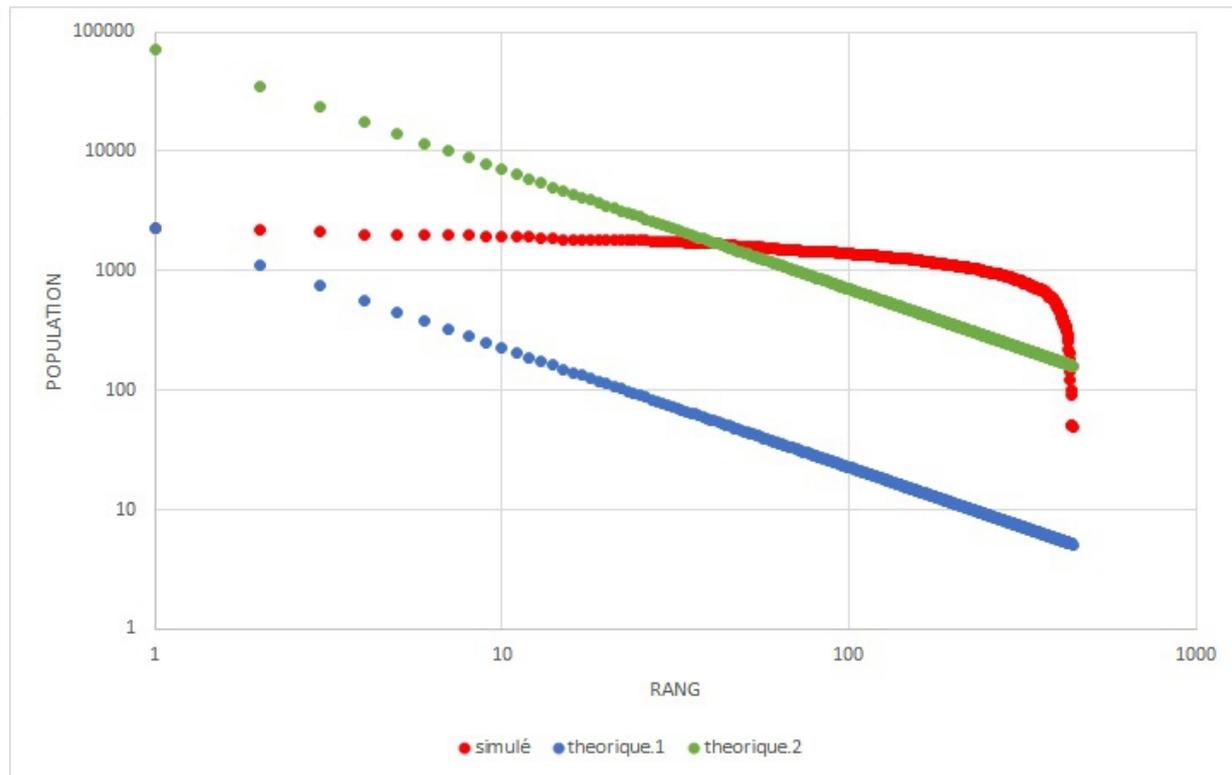
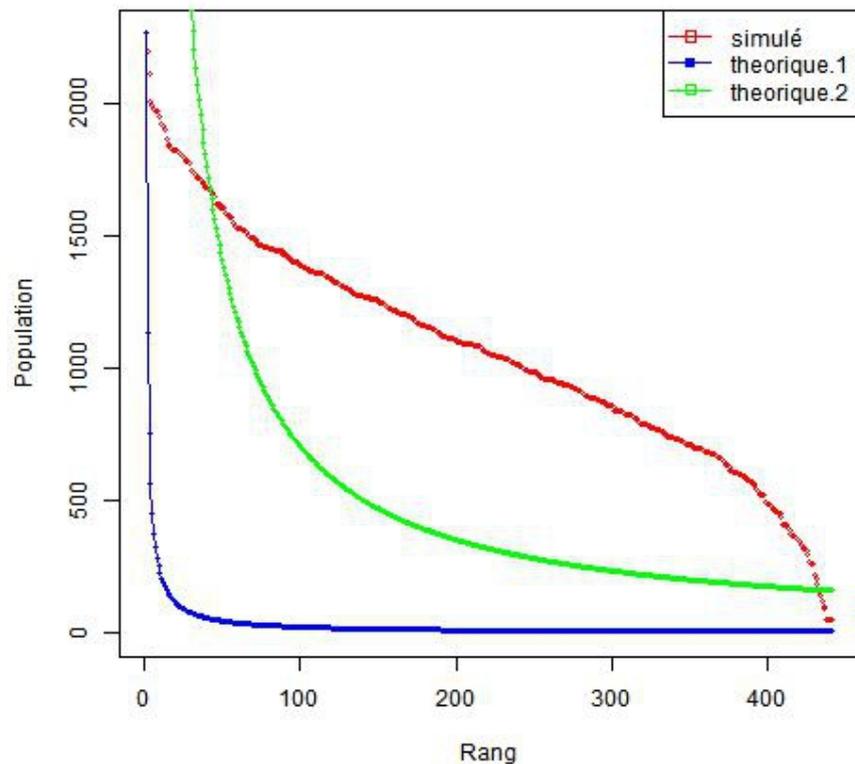
Résultats

Distribution hiérarchique : Réseau quadrillé non-valué



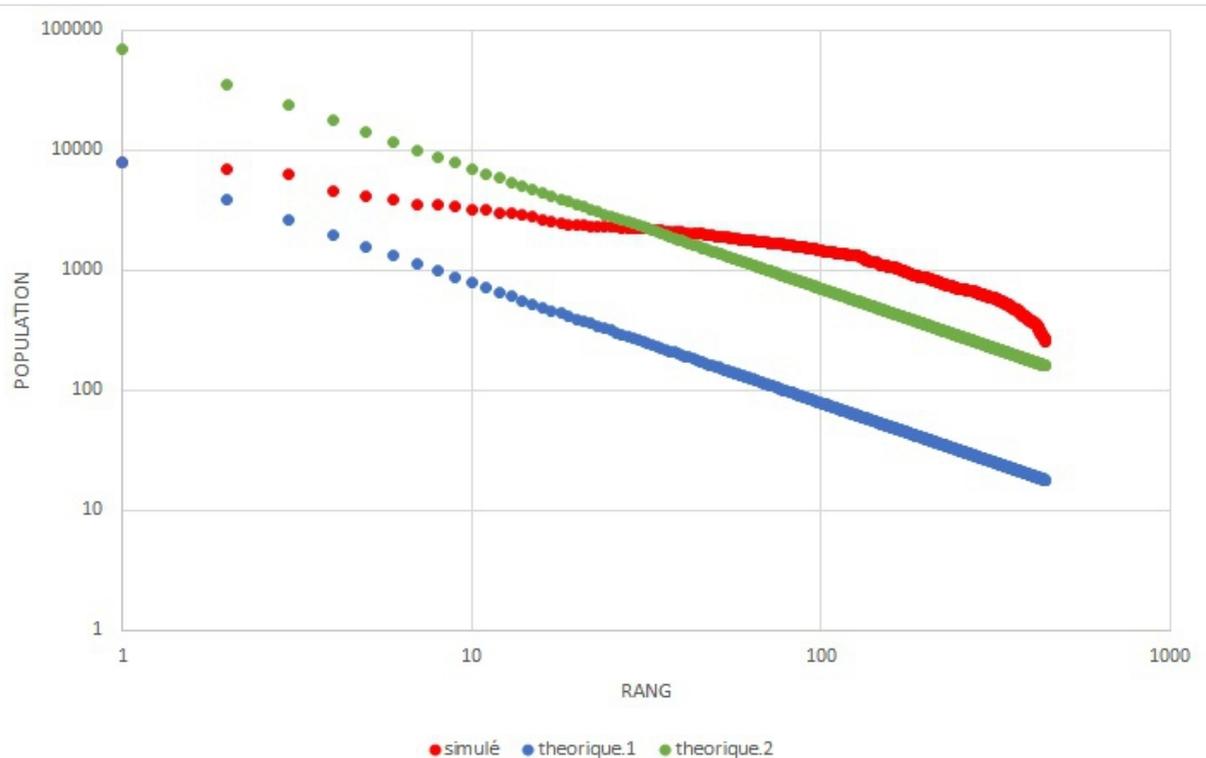
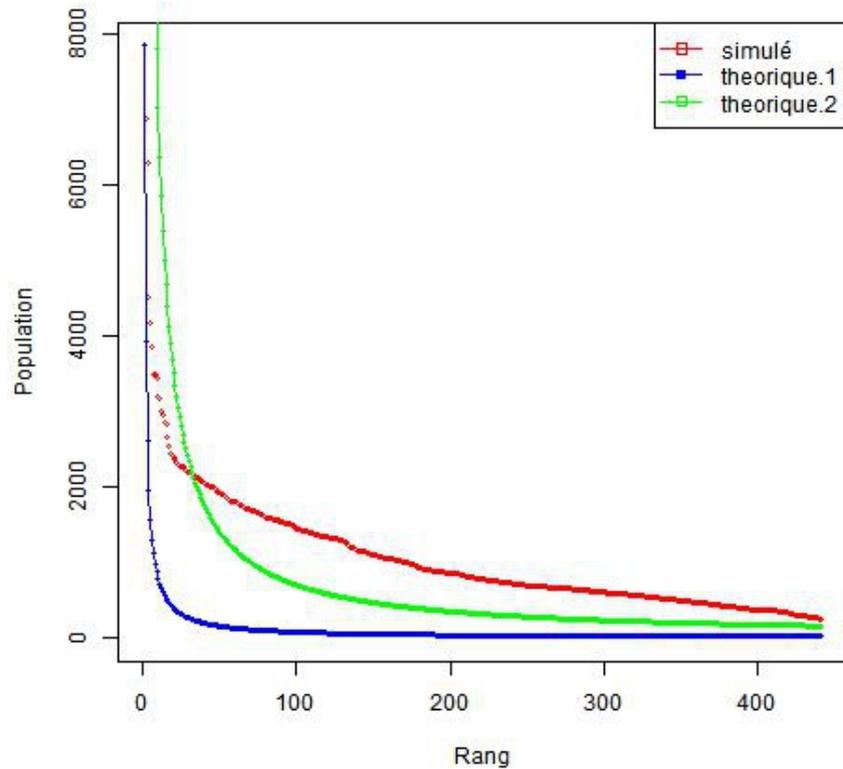
Résultats

Distribution hiérarchique : Réseau quadrillé valué



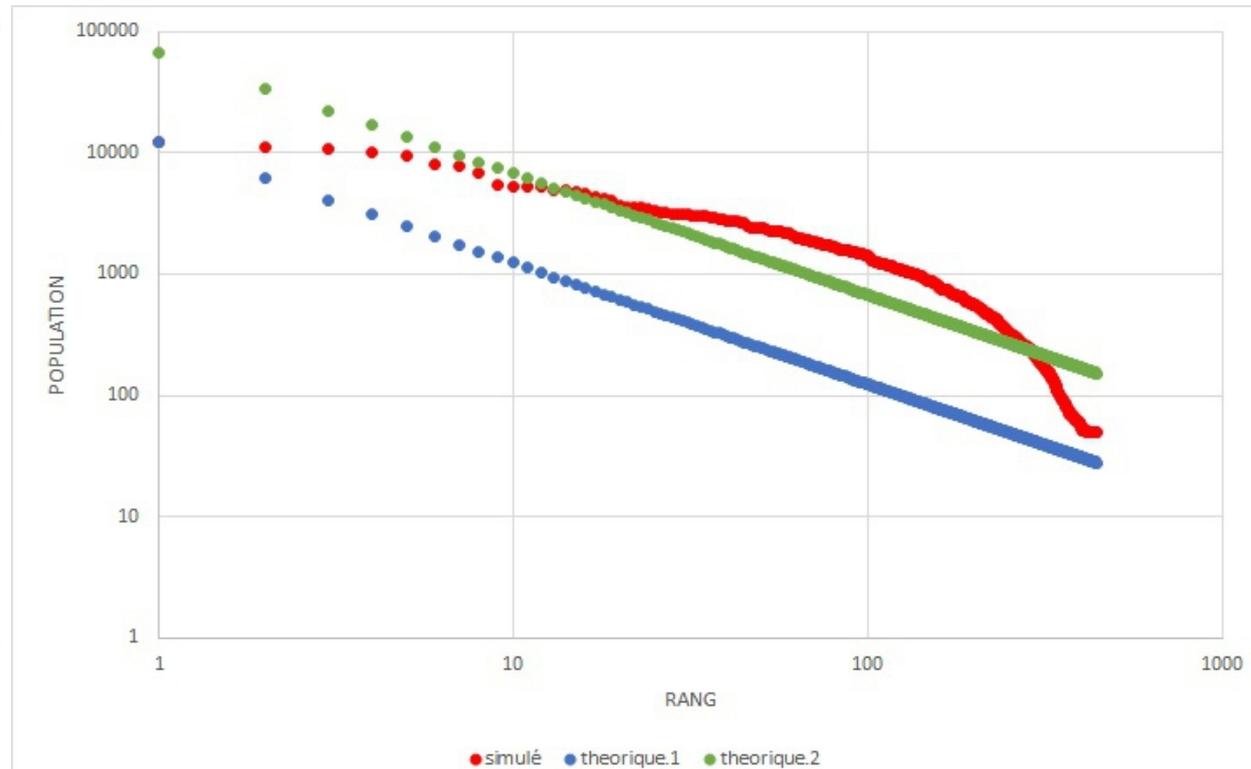
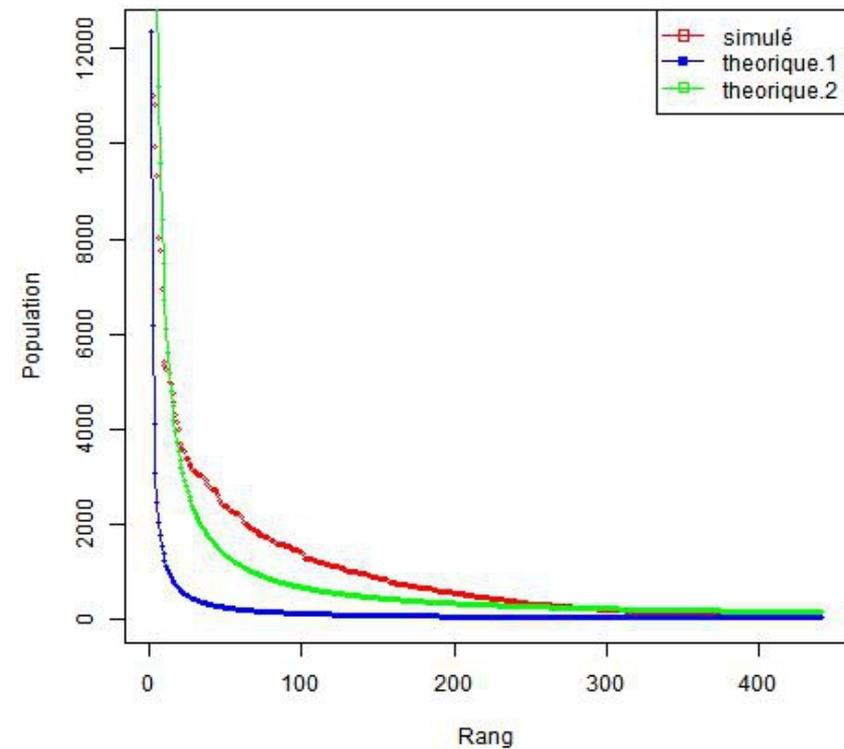
Résultats

Distribution hiérarchique : Réseau invariant d'échelle non-valué



Résultats

Distribution hiérarchique : Réseau invariant d'échelle valué



Résultats

La structure du réseau influence la hiérarchie urbaine

Les réseaux très hiérarchisés donnent une hiérarchie prononcée de type primatial

À l'inverse un réseau homogène, avec une accessibilité générale bonne, donne une hiérarchie moins prononcée

Aucun réseau ne donne réellement une rang-taille théorique.

Analyse

L'analyse de corrélation entre des indices de centralité et d'accessibilité des villes modélisées, avec leur position dans la hiérarchie finale.

Les indices

Eigenvector centrality : mesure de quelle manière un nœud est connecté aux autres sommets fortement connectés du graphe

Betweenness (centralité intermédiaire) : les sommets qui limitent la distance à parcourir dans le réseau.

Closeness centrality (centralité de proximité) : valeur normalisé de 0 à 1 qui permet de montrer les nœuds ayant la plus forte accessibilité.

Une corrélation marquée pour les réseaux **invariant d'échelle** :

Réseaux	barabasi HOMOGENE	barabasi HOMOGENE	barabasi HOMOGENE	barabasi HOMOGENE
Échange , betweenness	0,59991	0,59505	0,59003	0,59402
Recoit , betweenness	0,60458	0,59444	0,59813	0,59271
Population , betweenness	0,59132	0,58461	0,57346	0,59038

Réseaux	barabasi HETEROGENE	barabasi HETEROGENE	barabasi HETEROGENE	barabasi HETEROGENE
Échange , betweenness	0,53511	0,53442	0,53888	0,53663
Recoit , betweenness	0,54855	0,53521	0,55181	0,53747
Population , betweenness	0,52845	0,53221	0,54891	0,52022

Études supplémentaires

- Simuler avec une relation rang-taille existante : le réseau peut-il modifier une hiérarchie déjà existante ?
- Modifier le réseau en cours de simulation : peut-on modifier la tendance en cours ?

ville	rang avant modification réseau	rang final	Tx évolution	gain place
25	5	1	80	4
97	6	2	66,66666667	4
271	2	3	-50	-1
1	1	4	-300	-3
258	3	5	-66,66666667	-2
311	10	6	40	4
170	7	7	0	0
139	13	8	38,46153846	5
439	20	9	55	11
299	9	10	-11,11111111	-1
250	11	11	0	0
314	8	12	-50	-4
410	61	13	78,68852459	48
398	4	14	-250	-10
224	14	15	-7,14	-1

Ouverture

- Politique d'équité territoriale outils de prospective territoriale
- Modéliser un réseau évolutif : naissance, morts et évolution de villes et des réseaux