



# Emergence de « Mega-Cités Polycentriques »

Vers une intégration d'un modèle « LUTI » et  
d'un modèle de croissance endogène de  
réseau de transport.

Florent Le Néchet, LVMT  
florent.lenechet@u-pem.fr

La présentation qui est faite ici s'inscrit dans le cadre de la transition 12 « émergence de Méga-Cités polycentriques » du programme de recherche TransMonDyn.

# Problématique

- Identification par la littérature scientifique d'une transition dans les dynamiques urbaines
  - Emergence de « mega-cités polycentriques » (Hall & Pain, 2006).
- Questionnement de recherche : quels facteurs explicatifs pour cette transition?
  - Démographie
  - Coûts de transports
  - Hiérarchie sociale
- Parti pris de modélisation : apport conjoint d'un modèle « Transport, Usage du Sol » (LUTI) et de la théorie des Jeux »

La transition étudiée est identifiée dans la littérature en ce sens que plusieurs termes comme « mega-city regions » ou « polycentric urban regions » dénomment des objets géographiques nouveaux. La démarche présentée ici mêle observation empirique et cadre de modélisation (issu des sciences de la complexité) sur des situations théoriques, en vue d'étudier plusieurs facteurs explicatifs candidats de la transition.

# Plan de la présentation

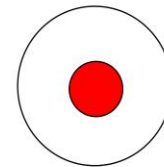
- Contexte : métropolisation (Lacour & Puissant)
- Identification et caractérisation de la transition
- Facteurs déclencheurs de cette transition : l'apport d'un modèle intégré
- Présentation du modèle « Métropolsim »
- Pistes d'évolution du modèle : apports de la théorie des jeux.

La présentation est décomposée en cinq parties, les deux premières étant consacrées à l'observation empirique de la transition et les trois dernières à la proposition d'un cadre de modélisation permettant d'explorer les conditions de réalisation de la transition.

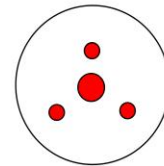
# Contexte

- Métropolisation : croissance de la population, croissance de la mobilité
- Transformation des modes de vie

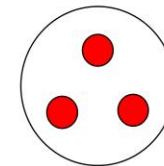
Typologie de Champion (2001)



**Concentric growth  
(Edge Cities)**



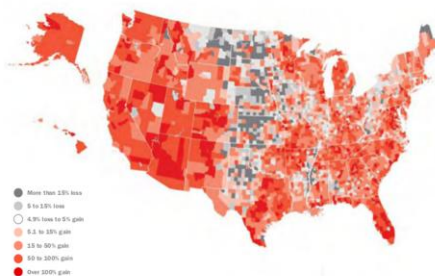
**Local diffusion  
(ex. Paris)**



**Fusion  
(ex. Aix-Marseille)**

La métropolisation est un processus étudié par Lacour & Puissant, notamment, qui s'appuie à la fois sur la croissance démographique, l'augmentation des portées de déplacement et la stabilisation du taux d'urbanisation et conduit à la mise en réseau d'espaces urbains sur des superficies conséquentes. Les travaux de Sassen sur les villes globales montre comment ces espaces urbains se mettent en réseau les uns avec les autres à toutes les échelles spatiales, du quartier au monde. La typologie de Champion illustre la diversité des trajectoires conduisant à des métropoles polycentriques. Ce bouleversement morphologique et fonctionnel s'accompagne aussi d'un bouleversement des modes de vie. « La classique distinction entre la mobilité quotidienne renvoyant aux déplacements réalisés au sein d'une aire urbaine dans le cadre de la vie quotidienne et la mobilité résidentielle comme un parcours se construisant au fil du cycle de vie est chahutée par le développement de formes de déplacement hybrides, comme la pendularité de longue distance » (Kaufmann, 2010).

U.S. Population Change, 2000-2050, by county



Source : America 2050

A. Schaffer, D.G. Victor / Transportation Research Part A 34 (2000) 171-203

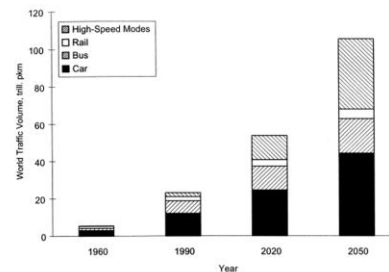
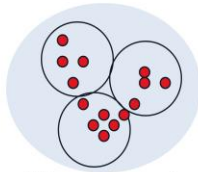
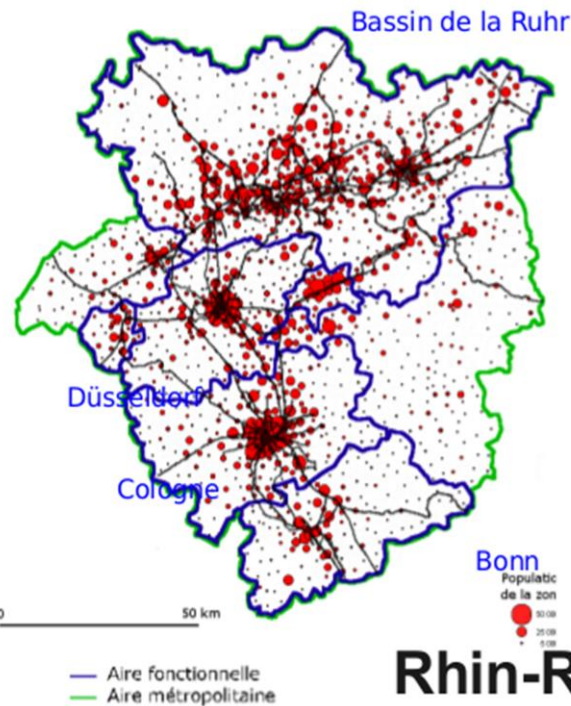


Fig. 9. Historical and estimated future total global mobility by mode in 1960, 1990, 2020 and 2050.



(Agglomération)  
(Aire fonctionnelle)  
(Métropole)

## Mega-région



**Rhin-Ruhr**

# Modes de gouvernance

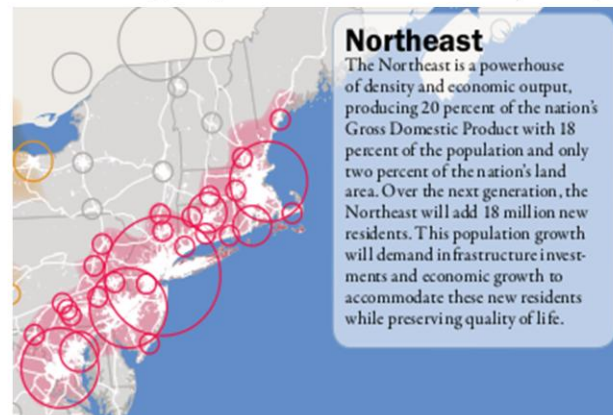
- Emergence d'un territoire symbolique?
  - Forte identité culturelle au niveau de chaque ville
  - Valorisation du patrimoine industriel au niveau du bassin de la Ruhr
  - RuhrTV sur le RER...

A l'émergence de Mega City regions (au sens de Sir Peter Hall : ensemble intégré d'aires urbaines) correspond aussi une transformation des modes de gouvernance. Le cas de la Ruhr illustre, l'amorce de l'émergence de régions sociales, théorisée par Paasi (1986) : i) Développement d'un territoire (frontière) ; ii) Formation d'un territoire symbolique (nom) ; iii) Emergence d'institutions (politiques, associatives, etc.) ; iv) Entretien, perpétuation de la région comme construction sociale. D'après les exemples présentés ci-dessus, la région Rhin-Ruhr (Allemagne) en serait au stade (ii). D'autres métropoles présentent des formes plus avancées (stade iii) de gouvernance intégrée comme Stuttgart (Allemagne) ou Montréal (Canada).

# Caractérisation de la transition

La transition concerne l'émergence de métropoles polycentriques « Mega-Cites ». Elle correspond à un changement d'échelle dans le fonctionnement des aires métropolitaines. Des réseaux que l'on peut qualifier d'interurbains dans le premier régime se transforment en termes de fonctionnement et d'échanges entre les lieux, en entités nouvelles, des « Mega-Cities ». L'interurbain devient ainsi intraurbain dans le deuxième régime.

Cf. « Mégalopolis » de Gottmann (1951)



Source : America 2050 report

La transition est étudiée à travers le paradigme des systèmes complexes ; elle concerne un changement d'échelle dans le mode de fonctionnement des métropoles. Une transition entre le dyptique ville / système de villes (transitions 4 et 9) et l'ajout d'une échelle géographique intermédiaire « région urbaine ».

Edward Soja cite évoque facteurs explicatifs pour cette transition :

“Not only is regional urbanization definable at multiple scales, from the local to the global, a persuasive argument can also be made that a peculiar scalar convergence has been occurring in the growth of city regions or regional cities. The urban, the metropolitan, and the subnational-regional scales seem to be blending together in many parts of the world, resulting in the emergence of huge regional networks of agglomerations that are variously called megacity regions, megaregions, megalopolitan regions, regional galaxies, or even regional states. In some cases, such as in Catalonia (around Barcelona), the newly defined Gauteng region around Johannesburg, and in “Greater” Paris, London, New York, and Los Angeles, the redefined megaregions range from 6 to 20 million inhabitants; but in the Pearl River and Yangzi deltas in China, Tokyo-Yokohama and Osaka-Kobe-Kyoto in Japan, and in what Richard Florida (2009) named the Euro-Lowlands (from the Dutch Randstad to the newly formed Grande Region around Luxembourg), the megaregional population now surpasses 50 million.” (Edward Soja « Beyond postmetropolis », 2011)

## 5. Modèle : un modèle « MetropolSim » de coévolution forme urbaine / transport

- Base : modèle LUTI « Land Use and Transportation Models »
- Formalisation agents : intégration d'un modèle de croissance endogène des réseaux de transport par des agents « gouverneurs » opérant à plusieurs échelles.
- Entrée par le fonctionnement des sous-systèmes de transport et de localisation (Bonnafous, 1996)
- Apport de la théorie des jeux (en cours) : formaliser l'émergence d'une organisation polycentrique décentralisée à une organisation centralisée. Quels facteurs rendent cette émergence « nécessaire »?

Facteurs explicatifs de cette transition  
Facteurs exogènes : démographie et exode rural ; baisse coûts de transport ; tissu urbain historique  
Facteurs endogènes : interactions sociales  
-> objet de cette recherche.

Nous allons tâcher de saisir certains de ces facteurs d'évolution par le biais d'un travail de modélisation. Nous présentons ici le modèle MetropolSim qui est un modèle à base d'agents, s'inspirant du cadre systémique de Bonnafous (besoin de prise en compte d'acteurs et d'échelles variées) et qui peut être enrichi par la théorie des jeux. La dimension politique de la transition (changement du mode de gouvernance) pourra ainsi être étudiée avec ce modèle.



# Modélisation des dynamiques urbaines

## Modèle monocentrique (Alonso, Muth)

$$\rho(R) = Ae^{-bR}$$

## Land-Use Transport Interaction models (LUTI)

- Paradigme dominant (utilité individuelle)
- Modèles pseudo-dynamiques (TRANUS, UrbanSIM)
- Modèles statiques (Pirandello)

**La croissance des  
réseaux de transport  
est exogène au modèle**

Modèles de Géosimulation  
- **Automate cellulaire**  
(unité spatiales)  
- **Multi-agents**  
(agents = individus)

- Dynamiques de l'usage du sol : projet MOLAND (White & Engelen)
- Modélisation polycentrique (Lemoy & Raux, 2011) : mécanismes d'enchère
- Famille de modèles SIMPOP : les villes comme agents.

Ce slide présente les différents types de modèles de dynamiques urbaines. Par rapport à ces modèles, le modèle MetropolisSim se situe à la fois dans les modèles multi-agents et les modèles LUTI pseudo-dynamiques.



# Spécifications du modèle

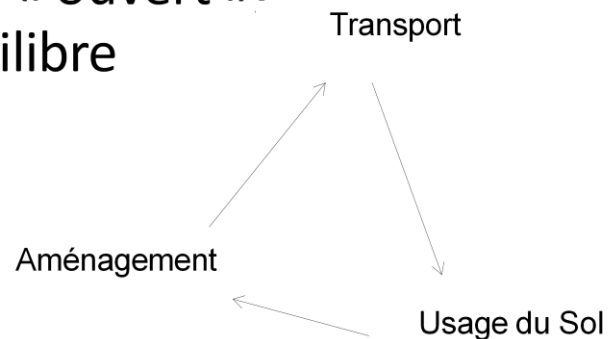
Deux types d' « agents » sont représentés

→ Individus (utilité microéconomique)

→ Aménageurs (règle de décision)

Temps discret : système « ouvert ».  
évoluant hors de l'équilibre

Investissement dans  
les infrastructures de  
transport endogène  
dans le modèle



En effet, deux types d'agents sont intégrés dans le modèle ; les agents « microéconomiques » font partie d'un modèle pseudo-dynamique multimodal, et les agents « aménageurs » sont des agents au sens des Systèmes Multi-Agents (SMA), en ce sens qu'ils constituent des objets autonomes et réactifs. Ces agents « aménageurs » constituent l'originalité de ce modèle, puisqu'ils permettent une endogénéisation de la construction d'infrastructures de transports (alors que la croissance des réseaux est habituellement exogène aux modèles LUTI).

# Objets et échelles

- Entrée thématique

- Villes : acteurs collectifs
- Diversité de niveaux (adapté pour des régions polycentriques au sens de Cowell)
- Territoires et réseaux en interrelation

- Implémentation informatique

- Cellules élémentaires : Actifs / Emplois
- Liens (routes ayant une vitesse fonction de la charge) / Nœuds
- Maires / Gouverneur : territoires sur lesquels sont agrégées des données avant prise de décision

Entrées	Sorties
Grilles de population / emploi initiales	Indicateurs territoriaux (ex. : accessibilité, temps de trajet)
Pas d'infrastructures de transport	Indicateurs réticulaires (forme du réseau, Kansky)
Zones de compétence ; <b>Seuil de décision prises localement</b>	Indicateurs de mobilité (parts modales, distances)
Types d'actions collectives possibles (ici. construction infrastructures)	

Ce slide présente l'ensemble des agents spécifiés et leur implémentation informatique, sur la plateforme SMA Netlogo. Les slides suivantes présentent dans le détail les trois principales règles du modèle :

- 1) Le sous-module transport
- 2) Le sous-module usage du sol
- 3) Le sous-module aménagement

# Transport

- Modèle à quatre étapes classique
  - Génération : déplacements domicile-travail par CSP
  - Distribution : qui travaille où ?
  - Choix modal : quel mode de transport utilisé ?
  - Affectation : chemin du domicile au lieu de travail ?
- Limites / apports du modèle
  - Fondements théoriques
  - Effets de bord
  - Usage assez classique ; prise en compte de la congestion

Le sous-module transport est géré de façon classique par un modèle à quatre étapes multimodal (sans intermodalité). La congestion est prise en compte (l'étape d'affectation est assurée par l'algorithme de Furness).

# Usage du sol

- Choix de localisation dépendent de l'accessibilité et de la forme urbaine locale

– Fonction d'utilité :

$$U(M, c) = \omega(M, c)^{\mu_c} \rho(M, c)^{(1-\mu_c)}$$

Accessibilité

Forme urbaine

$$N(M, c) = K_c \frac{e^{\gamma U(M, c)}}{\sum_P e^{\gamma U(P, c)}}$$

– Modèle de choix discret :

- Problème de calibration

Le sous-module usage du sol est basé sur un modèle de choix discret, en accord avec l'approche de Ben-Akiva. La fonction d'utilité est composite et intègre les caractéristiques locales du quartier (forme urbaine) et sa localisation dans la métropole (accessibilité).

# Aménagement

Hypothèse simpliste :

L'aménageur vise  
l'augmentation la  
plus forte de  
l'accessibilité sur son  
territoire.

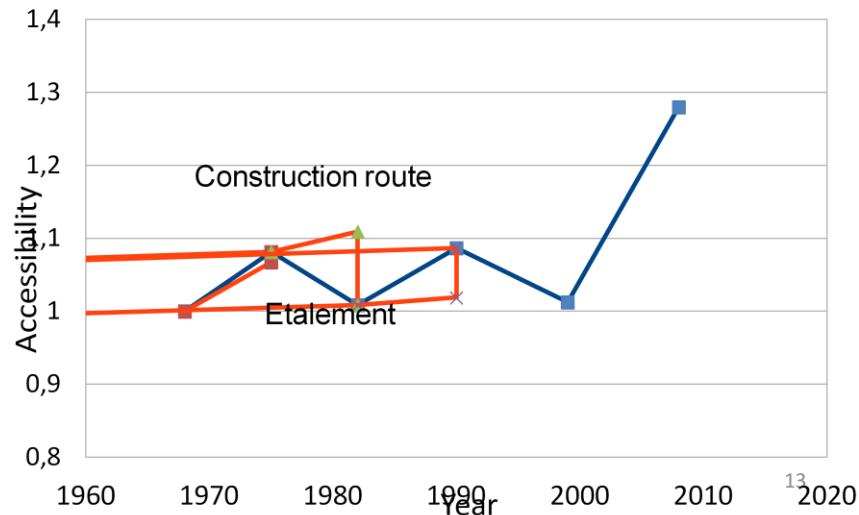
**Exemple  
empirique du  
Bassin  
Parisien**

Accessibilité  
en temps 0-30

Données INSEE +  
IGN

$$\Omega_T = \sum_{i \in T, j} A_i E_j e^{-\lambda g_{ij}}$$

- Forme urbaine ( $A_i$  et  $E_j$ )
- Temps de trajets (réseau routier)
- Coût de l'énergie ( $\lambda$ )



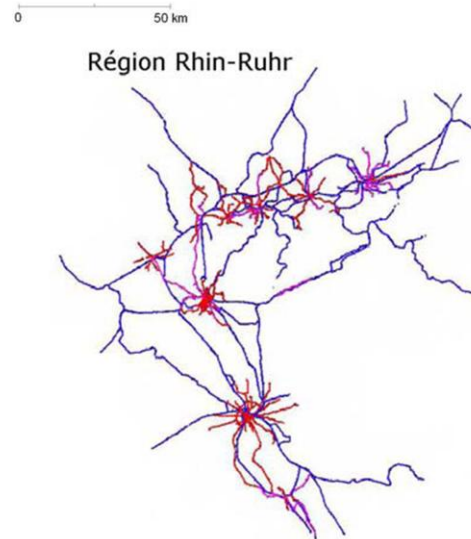
Le sous-module d'aménagement s'appuie sur l'hypothèse que chaque agent (auquel est attaché un territoire de gouvernance) vise à maximiser l'accessibilité des habitants situés dans leur territoire de référence. La figure du dessous illustre le phénomène d'effet « rebond » dans les dynamiques urbaines, qui peut être reproduit par le modèle : lorsque les conditions de transport s'améliorent, l'accessibilité augmente mécaniquement, mais diminue dès que les individus adaptent leur localisation aux nouvelles conditions de transport. On observe ainsi dans le contexte du bassin parisien entre 1968 et 2008 une évolution en « accordéon » de l'accessibilité globale, mesurée selon la formule de Hansen (cadre en haut à droite).

## Règles d'évolution

1) Choix aléatoire entre une décision d'aménagement locale ou métropolitaine (paramètre exogène  $\xi$ ).

2) Dans le cas d'une décision locale, un choix est fait entre les  $n$  territoires de façon aléatoire, au pro-rata du nombre d'emplois.

3) Une fois le territoire de décision fixé, la nouvelle infrastructure retenue est celle qui, pour une longueur donnée, maximise l'accessibilité future de la métropole.



Les règles d'évolution, dans le cas d'une ville polycentrique, sont détaillées ici. A chaque pas de temps, une infrastructure d'une taille fixe peut-être construite (hypothèse d'une croissance continue et stable). Le degré de centralisation de l'aménagement se retrouve dans le paramètre  $\xi$  du nombre de décisions prises sur un territoire local : si 100% des décisions se prennent localement, on parlera de gouvernance décentralisée, alors que si 100% des décisions se prennent à l'échelle métropolitaine, on parlera de gouvernance centralisée.

# Concurrence ou coopération

- Plusieurs aménageurs urbains possèdent des objectifs propres :

- Accessibilité maximale de ses administrés
- Articulation multi-niveau

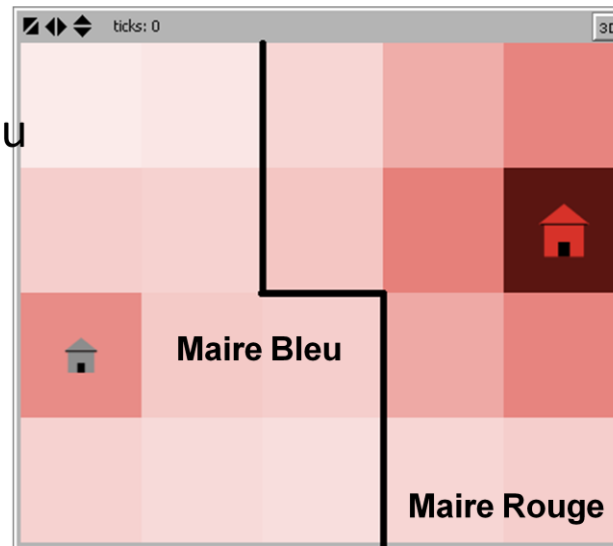
- Coopération :

- Construire une infrastructure peut bénéficier à tous

- Concurrence :

- Attractivité des entreprises
- Congestion

## Métropole

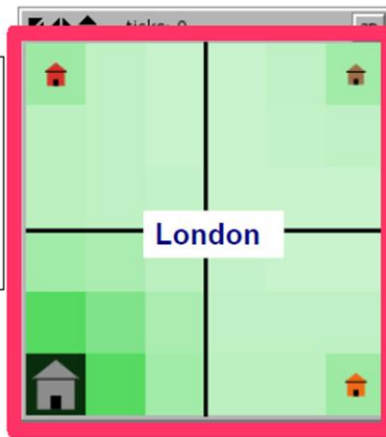


On a affaire un processus stochastique : tout est déterministe, sauf la désignation de l'aménageur : on peut s'interroger sur les régimes pouvant émerger à la suite de décisions successives d'aménagement à l'une ou l'autre des échelles (exemple : régime local, dont il serait difficile de sortir ?). De fait les différents agents aménageurs sont à la fois en situation de concurrence (pour la prise de décision, pour la ressource infrastructure) et en coopération, puisque la construction d'une infrastructure bénéficie potentiellement à l'ensemble des agents.



## Tests on polycentric cities

Centralized



Monocentric

Polycentric

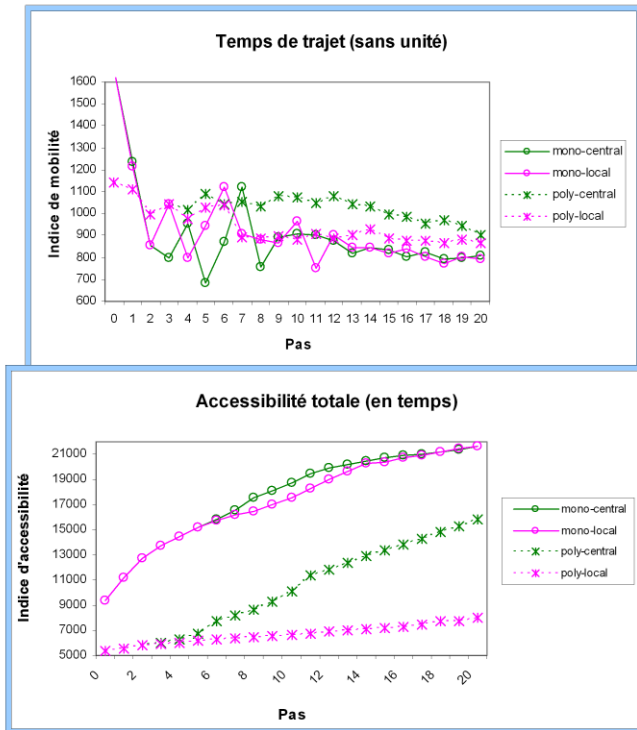
Decentralized



Even more  
complex  
reality : 3 or  
4 scales

Des tests ont été réalisés sur des configurations théoriques à l'organisation spatiale monocentrique ou polycentrique, au système de gouvernance centralisé ou décentralisé. Les quatre noms de métropoles réelles sur la figure ci-dessus correspondent à des proximités hypothétiques avec ces figures stylisées, mais aucune calibration de ce modèle n'a encore pu être réalisée.

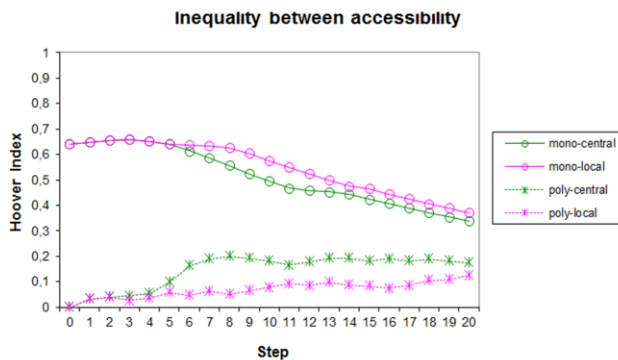
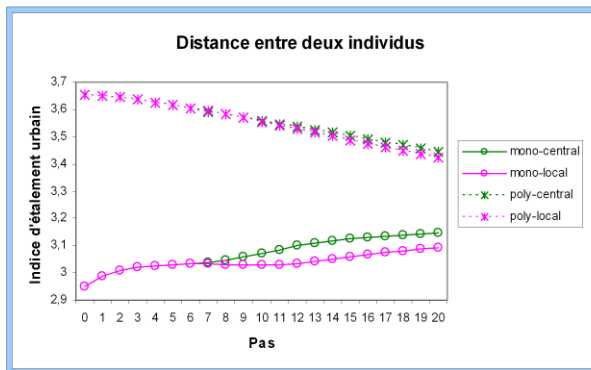
# Tests sur des métropoles polycentriques



- La loi de Zahavi (1976) est respectée ( $\lambda$  reste constant).
- Accessibilité accrue pour la métropole polycentrique en cas d'aménagement centralisé.
- Pas d'impact notable dans le cas de la métropole monocentrique.

Ces deux slides présentes quelques résultats de ce modèle.

# Tests sur des métropoles polycentriques



- Etalement accru pour les métropoles monocentriques dans le cas d'aménagement centralisé.

- Faible impact du mode de gouvernance sur la forme urbaine pour les métropoles polycentriques.

- Inégalités entre territoires plus fortes dans le cas d'un aménagement centralisé.

Ces deux slides présentes quelques résultats de ce modèle.

## Vers l'intégration LUTI / Théorie des jeux

- Modèle prêt pour l'intégration (il s'agit déjà d'un modèle agents)
- Besoin de spécifier la matrice de gains (que rapporte le fait de coopérer si les autres villes coopèrent, notamment)
- Stochasticité supplémentaire dans le modèle
- Influence des paramètres clés de chaque ville ? (population, emploi, etc.)

La prochaine étape de la modélisation consiste à intégrer un module de théorie des jeux afin d'étudier de façon systématique quelles configurations de départ vont amener à des modes de gouvernance plutôt centralisés ou décentralisés. Par rapport à la transition étudiée, il s'agit de comprendre les domaines d'émergence d'une métropole polycentrique à gouvernance centralisée.