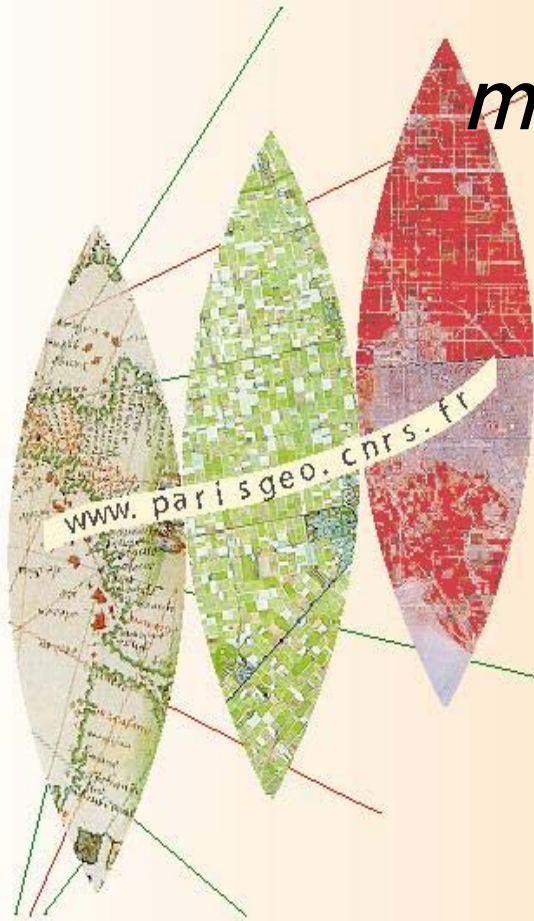


UMR GEOGRAPHIE-CITES

*Des catégories pour la
modélisation multi-agents en
sciences sociales*



Denise Pumain

Université Paris I

Institut Universitaire de France

pumain@parisgeo.cnrs.fr

Theo Quant, Besançon, 2009

The complexity paradigm

1 Systems analysis, MIT, Jay Forrester

General systems theory Bertalanffy 1967

→ System's **autonomy** / its environment

Models: difference equations

2 **Self-organisation** theory: Prigogine, Haken (1970-80)

→ Open systems, dissipative structures, unpredictable effects of non linear micro-interactions on system's macro structure and dynamics, path dependence (irreversibility)

Models: differential equations

3 Santa Fe Institute, ISI, ECSS (1990-2000)

→ **Emerging properties**

Models: MAS

Theo Quant, Besançon, 2009



Modélisation multi-agents

3 grandes étapes:

1- Théorie SHS + question à résoudre

2- Négociation des ontologies

→ Modèle conceptuel en SHS

→ Modèle conceptuel informatique

3- Implémentation (plateforme, langage de programmation)



Ontologie et catégories : convergences entre SHS et intelligence artificielle

Catégories génériques de la modélisation

Entités

Attributs

Relations (règles)

Définies relativement au système étudié et à la question posée (des entités ou des relations peuvent devenir attributs, et inversement)

Theo Quant, Besançon, 2009

Ontologies SHS d'après des informaticiens

Interne-individuel Subjectivité (états mentaux, croyances, cognition...) Intériorité	Externe-individuel Objectivité (comportement, matérialité...) Extériorité
Interne-collectif Intersubjectivité (Connaissance partagée, normes implicites ou explicites, conventions) Noosphère	Externe-collectif Inter-objectivité (faits et structures sociaux, organisations, institutions) Socio-sphère

Source: Ferber, 2007, Ferber, Phan, 2007

Theo Quant, Besançon, 2009

Catégorisation pour la modélisation en SHS

Trois autres types (catégories?) de catégorisation (qui déploie le « collectif » interne ou externe, la « socio-sphère ») :

- **Institutionnelle** (organisation intentionnelle socialement codifiée): description fonctionnelle



Catégorisation institutionnelle

Exemple niveau individuel (un acteur): le rôle, le métier, et les représentations individuelles et collectives associées

Exemple niveau collectif (pour une ville): la municipalité, la chambre de commerce, le syndicat d'initiatives, le maire (acteur collectif)



Catégorisations pour la modélisation SHS

Trois catégories de catégorisation:

- Institutionnelle (organisation intentionnelle socialement codifiée): description fonctionnelle
- **Statistique: descripteur articulé sur un système de relations mathématiques**



Catégorisation statistique

Exemple niveau individuel (un acteur): la catégorie socio-professionnelle (attribut issu d'un collectif établi d'après des corrélations avec revenu, niveau de vie, pratiques, statut, degré d'instruction...Desrozières, 2000)

Exemple niveau collectif (une ville): l'agglomération, l'aire urbaine (obtenu par dénombrement sur des considérations de continuité, densité, flux)

Theo Quant, Besançon, 2009



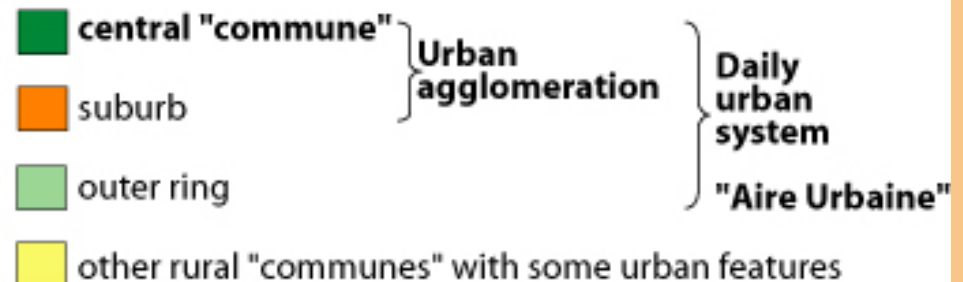
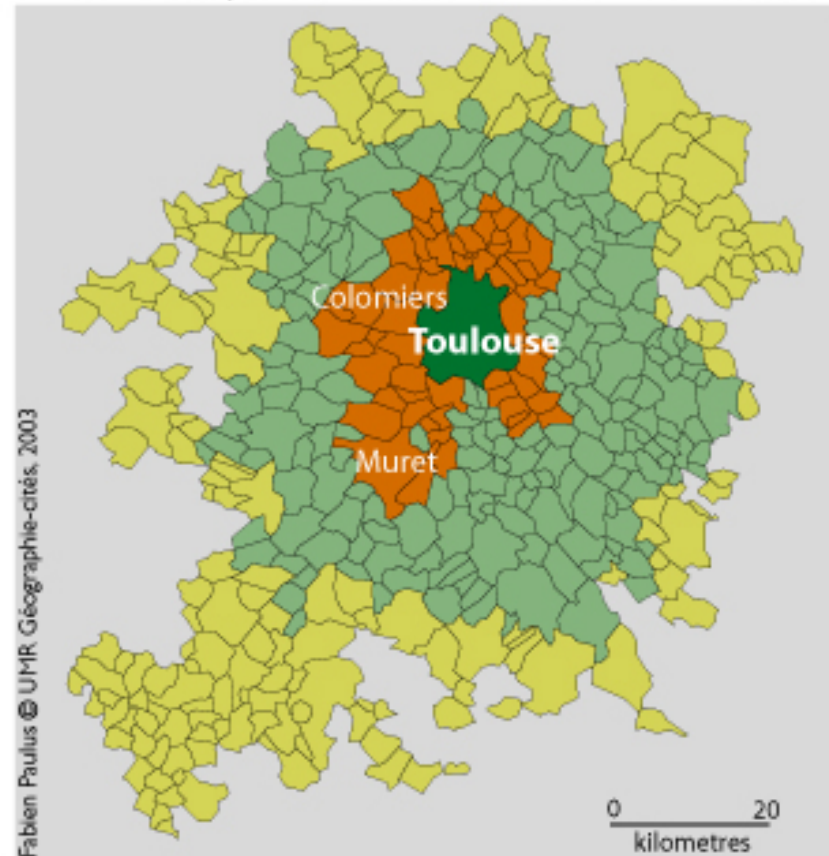
Délimitation des entités urbaines

Commune = la plus petite subdivision administrative

Agglomération = zone bâtie en continuité

Aire urbaine = zone des déplacements quotidiens (domicile-travail)

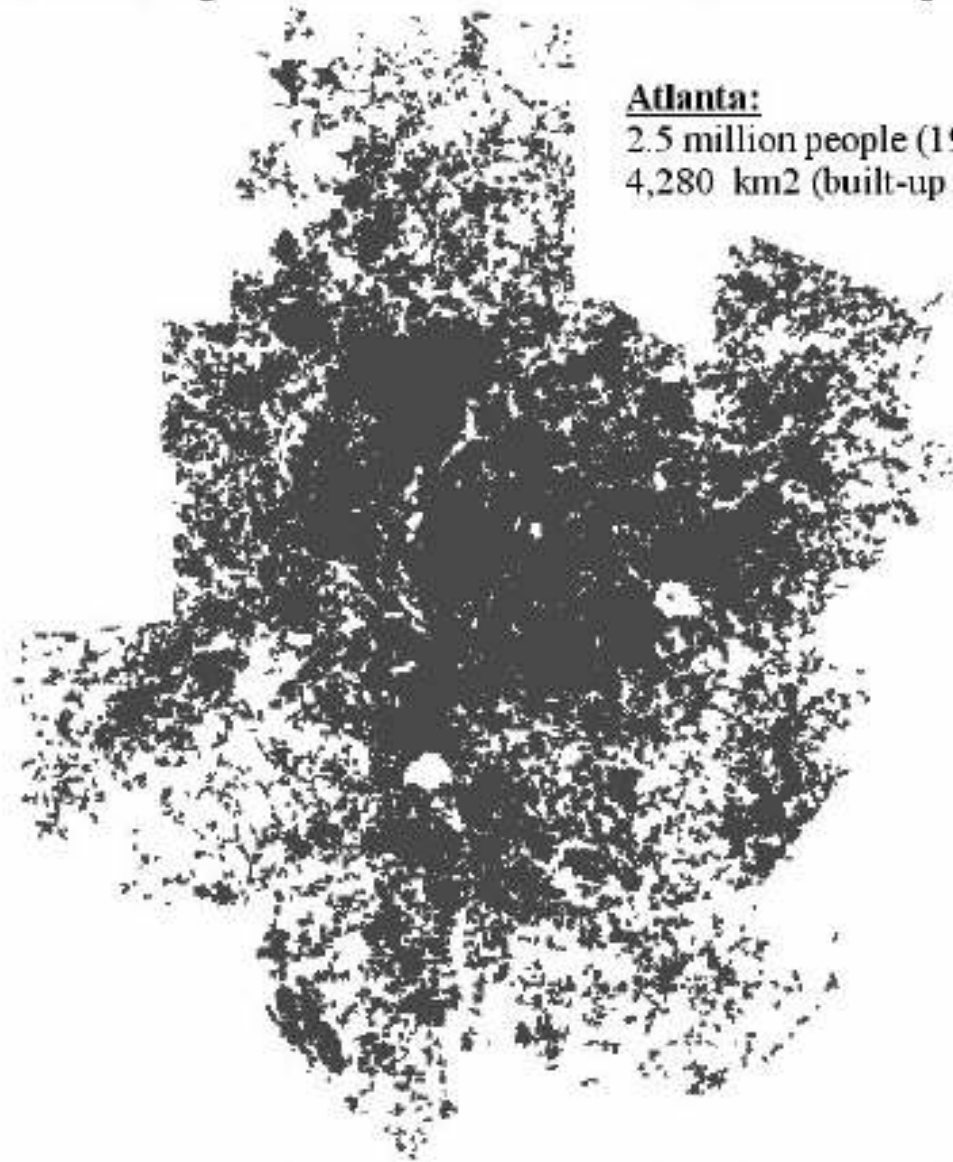
Toulouse city : Four statistical definitions (1990)



Theo G



The Built-up Area of Atlanta and Barcelona Represented at the Same Scale



Atlanta:
2.5 million people (1990)
4,280 km² (built-up area)



Barcelona:
2.8 million people (1990)
162 km² (built-up area)

The footprint of 2 cities with equivalent population but different densities

Bertaud, 2007





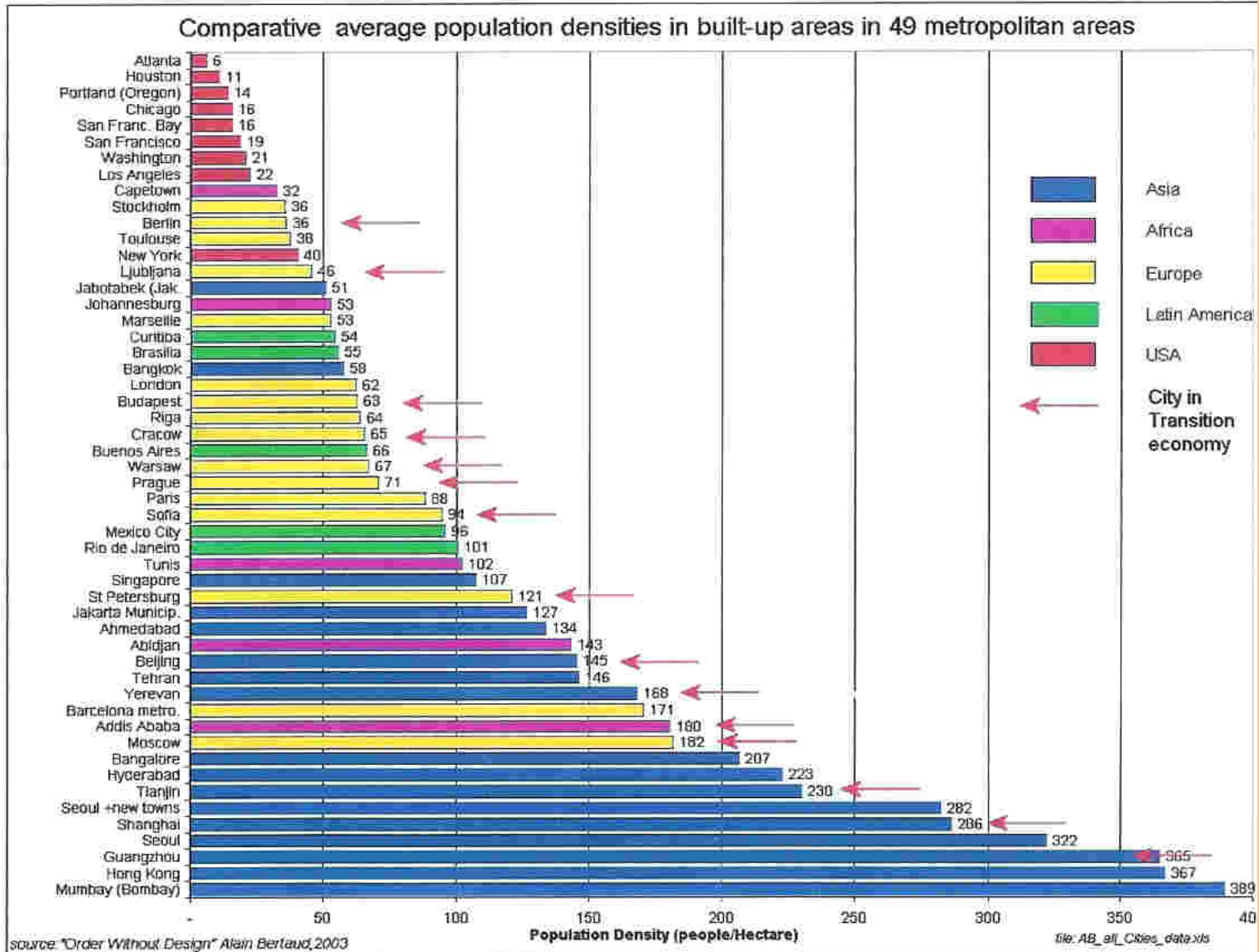
上海浦东发展银行
SHANGHAI PUDONG DEVELOPMENT BANK

La troisième dimension



Inégalités continentales des densités urbaines

Indicator 1: Average density



Bertaud
2005

Figure 1: Average population density in the built-up area of 49 cities

Catégorisation pour la modélisation SHS

Trois catégories de catégorisation:

- Institutionnelle (organisation intentionnelle socialement codifiée): description fonctionnelle
- Statistique: articulé sur un système de relations mathématiques
- **Fait stylisé: auto-organisé ou émergent (système de relations conceptuelles)**



Catégorisation par fait stylisé

Exemple niveau individuel (un acteur):
habitus, capital économique, social,
culturel...(Bourdieu)

Exemple niveau collectif (une ville): le champ
urbain



Les zones urbanisées vue du ciel

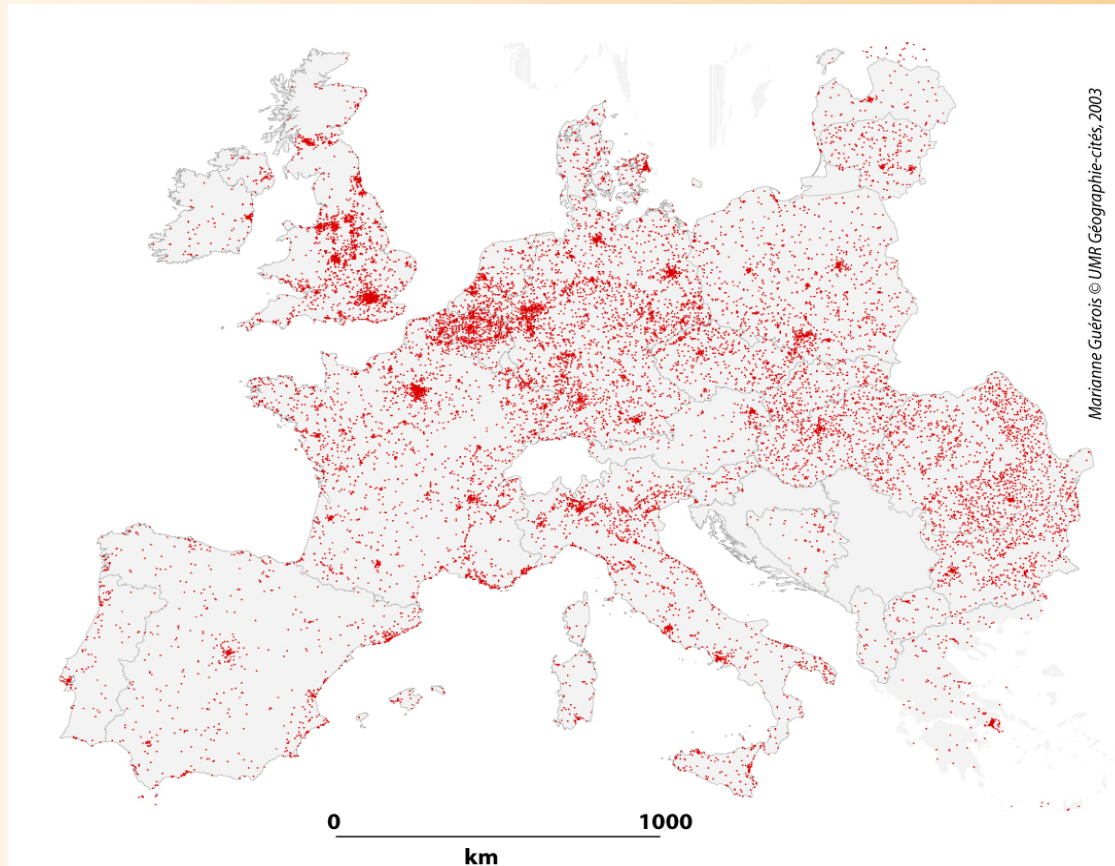
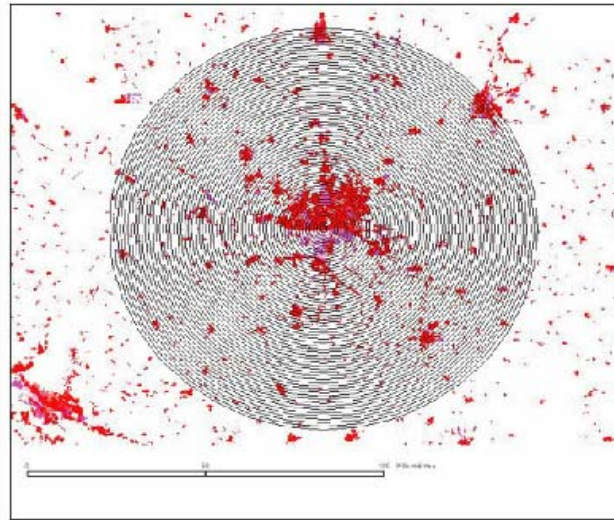


Image CORINE Land Cover, AEE, *Guérois, 2003*

Theo Quant, Besançon, 2009

Une méthode d'analyse du champ urbain

a. Image CORINE du bâti et superposition d'anneaux concentriques

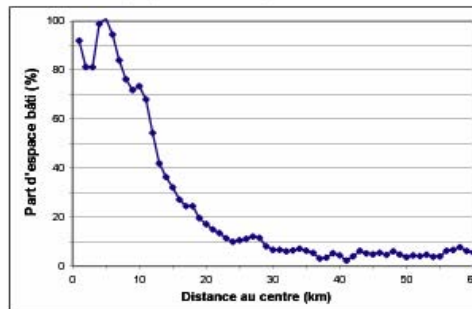


b. Calcul de la part d'espace bâti par anneau

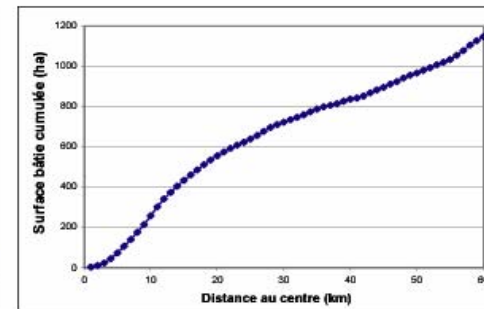
Distance au centre (km)	Superficie bâtie (ha)	Superficie totale (ha)	Part de superficie bâtie (%)	Superficie bâtie cumulée (km ²)
1	288	313	92	288
2	763	938	81,3	1051
...
60	2000	37195	5,4	114 700

c. Gradient d'emprise du bâti en fonction de la distance au centre

Evolution de la proportion des espaces bâtis



Evolution de la surface bâtie cumulée



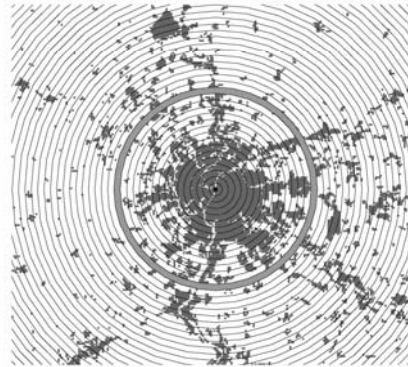
Guérois,
2003

Theo Quant, Besançon, 2009

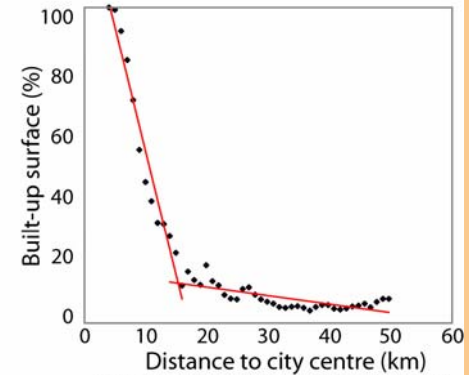
Exemple du champ urbain de Lyon

M. Guérois,
2003

*The urban field :
an example around Lyon (France)*

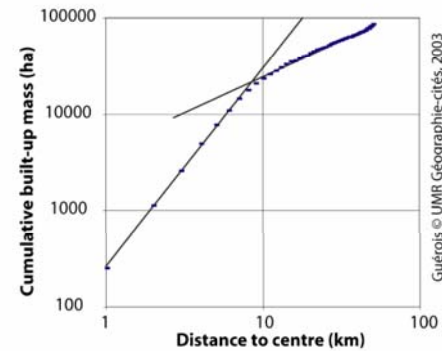


a) grid for analysis



Source : Corine Land Cover, Guérois 2003

b) a double linear gradient



Guérois © UMR Géographie-cités, 2003

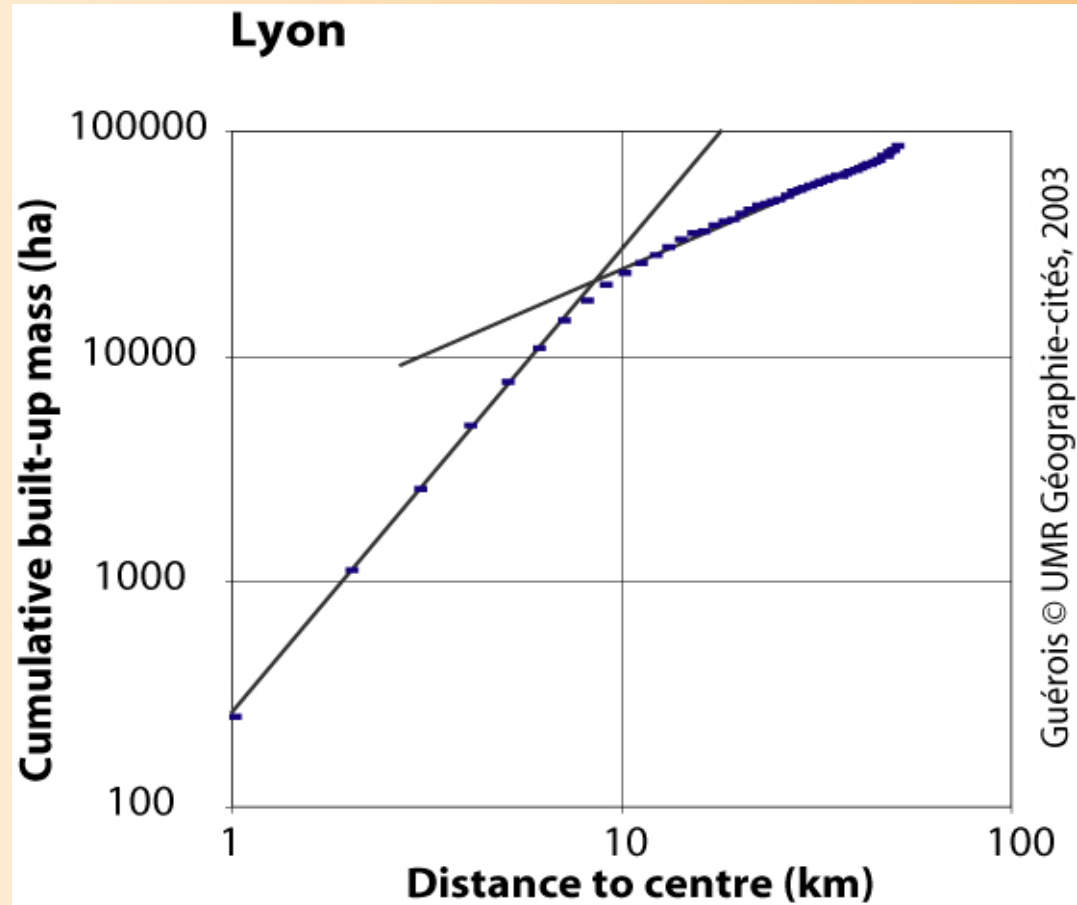
c) two fractal dimensions

Theo Quant, Besançon, 2009

Un champ urbain en double gradient

Deux dimensions fractales du bâti en fonction de la distance au centre urbain

Guérois, 2003



Theo Quant, Besançon, 2009

Double gradient dans les villes européennes

Cities	Spatial range (in km)	Shape	
		Core	Periphery
Amsterdam	50	1,91	1,02
Barcelona	60	1,70	0,88
Frankfurt	50	1,90	1,22
Hamburg	60	1,96	0,65
Hannover	40	1,90	0,87
London	100	2,04	0,76
Lyon	50	2,06	0,76
Madrid	60	1,91	0,72
Milano	60	1,93	1,14
München	50	1,97	0,68
Napoli	60	1,75	0,86
Paris	100	1,97	0,55
Roma	50	1,88	0,60
Rotterdam	50	1,96	1,10
Sevilla	40	1,59	0,61
Stuttgart	50	1,68	1,20
Toulouse	40	1,85	0,38
Torino	50	1,77	0,67
Valencia	50	1,48	0,80

Theo Quant, Besançon, 2009



Interdépendances entre les catégorisations

- les organisations sociales fonctionnelles expriment des rapports de force plus ou moins auto-organisés et incluent des enchaînements historiques (*path dependence*)
- les catégories statistiques sont établies pour et par un pouvoir (par étymologie!)
- les faits stylisés sont interprétés par des chercheurs qui sont aussi acteurs dans des organisations sociales

Theo Quant, Besançon, 2009



Rôle des catégories dans la modélisation

Les « institutions » = agents collectifs ou macrostructure

Les catégories statistiques (bases de données, SIG...) = pour le calibrage et la validation

Les faits stylisés (concepts, théories) = entités, agents, relations (règles) → le modèle conceptuel SHS

Theo Quant, Besançon, 2009



Une modélisation urbaine multi-échelle

Les **villes** sont les entités (agents immobiliers)

Elles interagissent (échanges de population, de richesse, d'information) dans des réseaux qui construisent un **système de villes**, niveau d'émergence de propriétés nouvelles

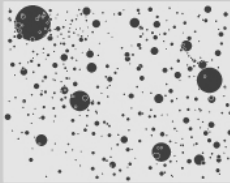
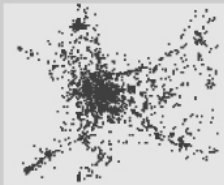

Theo Quant, Besançon, 2009



Deux niveaux d'entités urbaines: la ville, le système des villes

Niveaux d'échelle et systèmes urbains

1) Propriétés structurelles émergentes

Echelles spatio-temporelles	Propriétés émergentes	Niveaux d'organisation
 1 jour	Hiérarchie Diversité des fonctions Trame spatiale	Macro : Système de villes (réseaux urbains)
 1 heure	Centralité Fonction Morphologie Ambiance urbaine	Méso : Ville (Agglomérations et aires urbaines)
	Descripteurs Cycle de vie Profession Pouvoirs	Micro : Acteur (ménages, firmes, institutions)

*D. Pumain
Hierarchy
in natural
and social
Sciences,
Springer
2006*

T

Villes et systèmes de villes sont adaptatifs

Les villes comme adaptateurs dans l'espace-temps des sociétés

→ la ville et les interactions quotidiennes

temps critique (durée du trajet) 1 heure

réseaux à vitesse faible (x 5 depuis 1800)

interactions fortes (3/personne/jour)

gradient de densité centre-périphérie

→ le système des villes pour le contrôle à longue portée des territoires et des réseaux

temps critique 1 jour

réseaux à grande vitesse (x 40 depuis 1800)

interactions faibles (moins fréquentes)

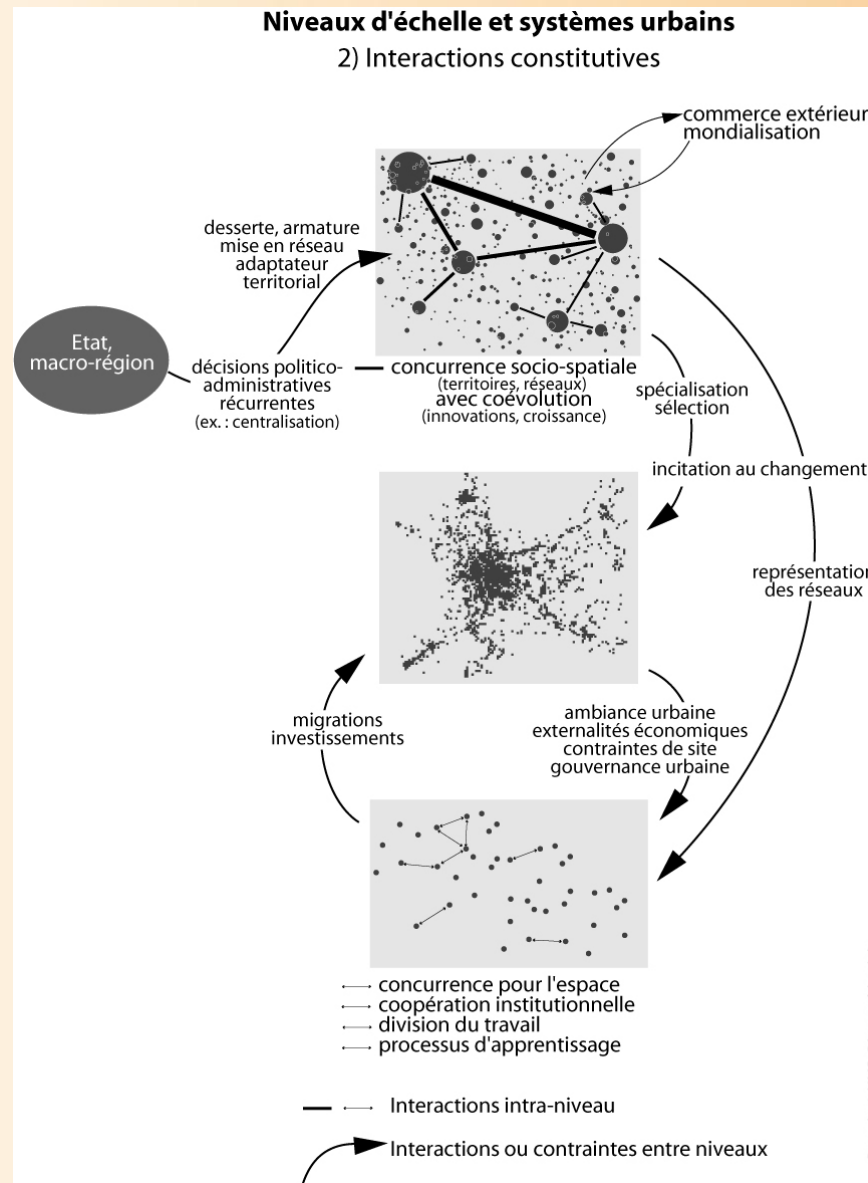
hiérarchie des tailles

D. Pumain, 1997, 2004 (SFI)

Theo Quant, Besançon, 2009



Les interactions construisent les villes et les systèmes de villes



*D. Pumain
Hierarchy
in natural
and social
Sciences,
Springer
2006*



Emergence of geographical organisation from spatial interactions

- Hägerstrand: spatial diffusion theory 1952
- Morrill: migration simulation models 1965 and 1972
- Systematic changes in social interaction space (transportation speed and space-time contraction, E. Reclus 1895, D. Janelle 1969, E. Juillard 1973)
- Empirical analysis of innovation diffusion in urban systems (A. Pred, B. Robson, B. Lepeit....)

Theo Quant, Besançon, 2009



Simulating differentiated geographical evolution

- Dynamic models (differential equations)

P. Allen, A. Wilson, M. Clark, W. Weidlich, G. Haag, L. Diappi, R. Camagni, D. Dendrinos...

- Cellular automata and dynamic models

R. White, G. Engelen, M. Batty, S. Lombardo, G. Rabino, J. Portugali...

- Multi-agents models (for a better representation of spatial interaction)

Theo Quant, Besançon, 2009



MAS modelling for testing urban theories

Starting point: Comparative observations on urban changes (growth in urbanised area, population size and economic product, evolution of the portfolio of urban activities, qualitative changes...) → systematic similarities and differences in urban evolutions

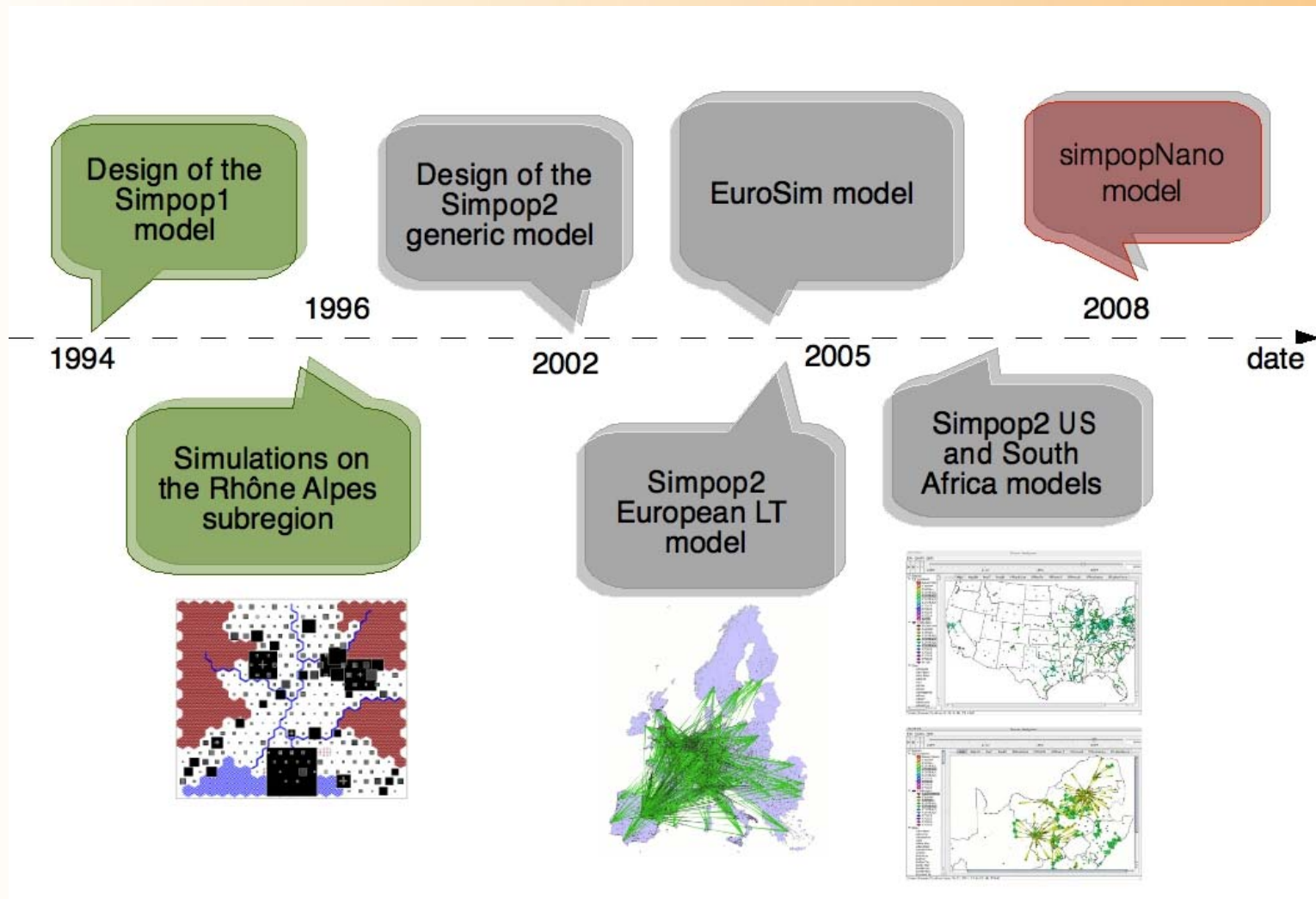
Hypothesis: changes are produced through interactions at system level (interurban networks) and at local level (urban governance)

There is very little information about urban interactions (trade flows and exchanges, goods, people, information...)
→ **Reconstruction of urban exchange networks through simulation** in order to reproduce observed urban changes

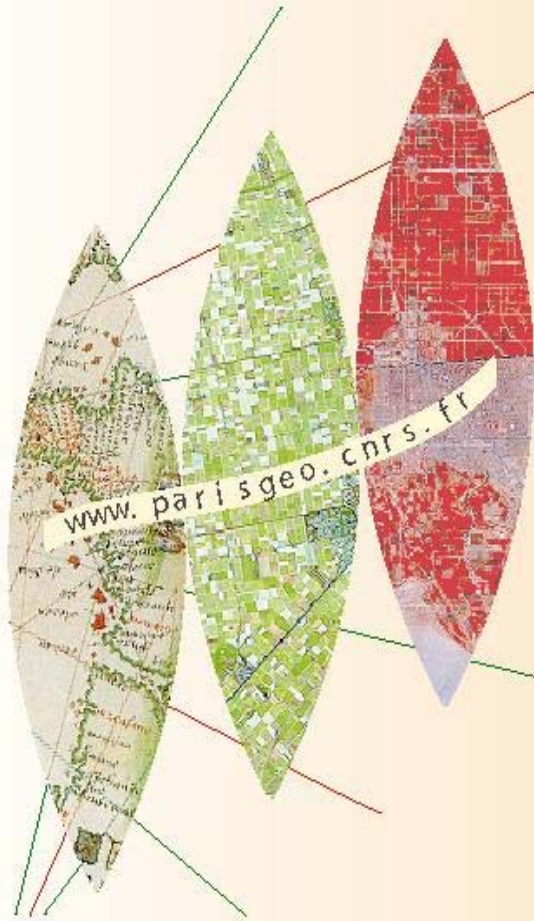
Theo Quant, Besançon, 2009



Histoire du modèle Simpop



Louail,
2009



A model for simulating the geographical differentiation of urban systems

**Anne Bretagnolle
Benoît Glisse, Lena Sanders, Hélène
Mathian, Céline Vacchiani-Marcuzzo,
Thomas Louail, Denise Pumain**

1

<http://www.simpop.parisgeo.cnrs.fr>

SIMPOP: a multi-agents system

first application of MAS in geography !

Bura, Guérin-Pace, Mathian, Pumain, Sanders

Multi-agent systems and the dynamics of a settlement system. *Geographical Analysis*, 1996, 2, 161-178

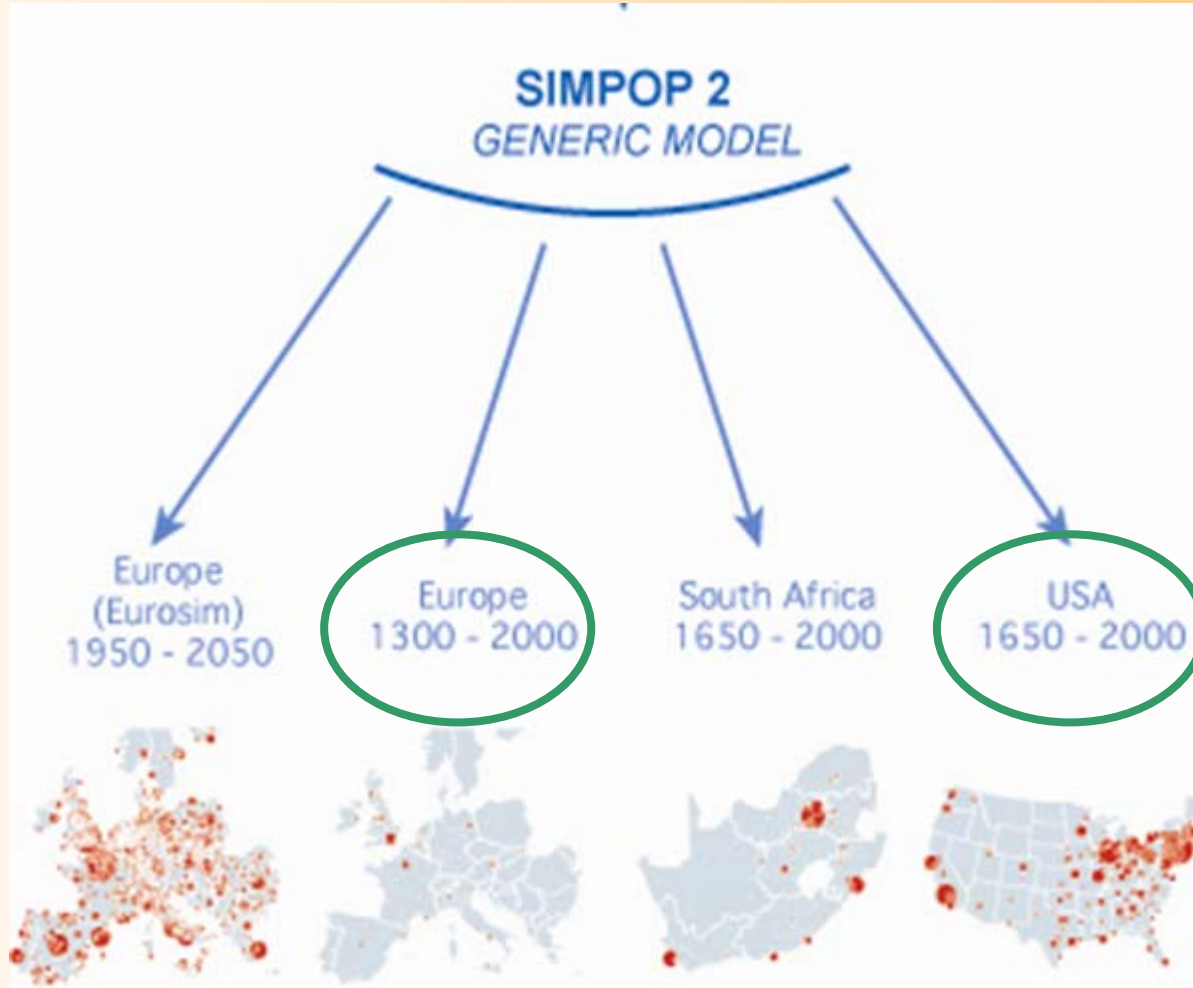
Main results:

- No emergence if no spatial interactions
 - Emergence of a polycentric hierarchised system of cities even if homogeneous initial conditions
 - A renewed innovation flow is necessary for maintaining structural properties of the system of cities
- But: 400 settlements only
two levels only (meso-macro)

Theo Quant, Besançon, 2009



Simpop2 (2002-2007)



**Helène
Mathian
Thomas
Louail
Lena
Sanders
Anne
Bretagnolle**

<http://www.simpop.parisgeo.cnrs.fr>
Theo Quant, Besançon, 2009

The SIMPOP2 Model (conceptual geo-AI)

Scale: national or continental integrated urban systems, long term

Cities are agents : collective, immobile, heterogenous, evolving entities

Main attributes: location, resources (labour force, capital), functions (10 types)

Three levels: individual (firm or mayor, for scenarios), cities (local governance), national or multinational (global governance)

Rules : stylised facts from comparative study of the observed evolution of integrated urban systems

Theo Quant, Besançon, 2009



Aim of the model

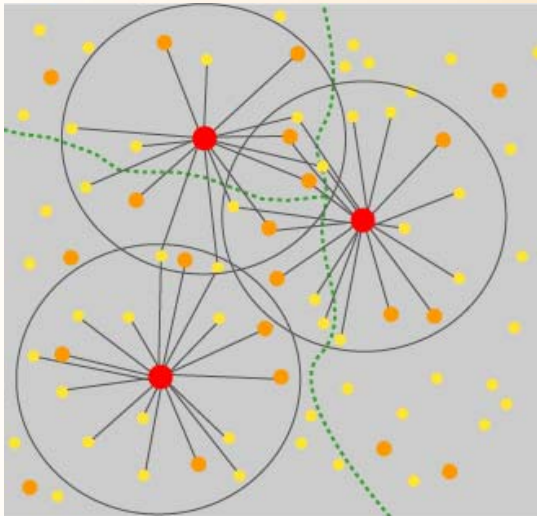
- To improve our evolutionary theory of urban systems
 - by designing a spatio-temporal reconstruction of the **second order exchange networks** (asymmetrical evolutionary interdependencies) that generate urban dynamics (i.e. differential growth and functional speciation)
- To analyse the **role of geographical features and processes** (location, access to resources, situation in information networks, mobility speed, range and intensity, innovation adoption, selection) in shaping urban dynamics
 - through comparisons (between different types of urban systems, or between simulations starting from a theoretical or an observed initial configuration of the same system)

Theo Quant, Besançon, 2009



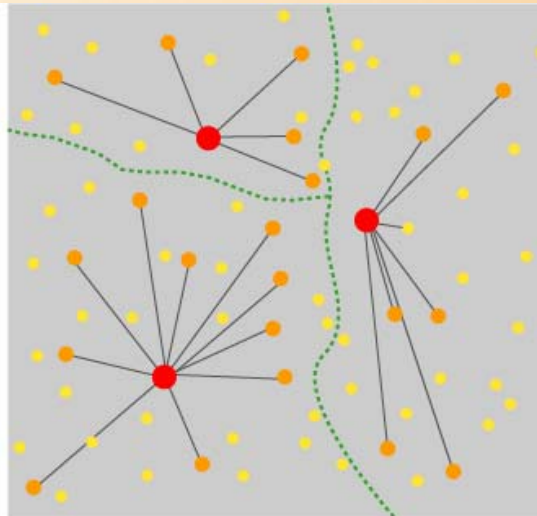
Types of spatial interaction according to urban functions

Market



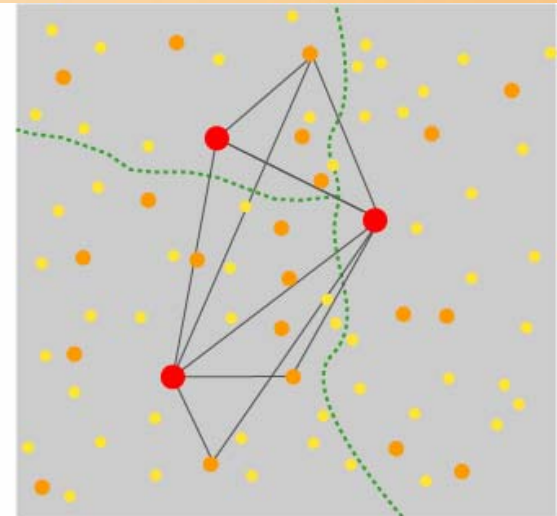
- central 1
- central 2

Territorial



- capital

Specialised network



- industry
- tourism
- technopole
- international finance...

Theo Quant, Besançon, 2009

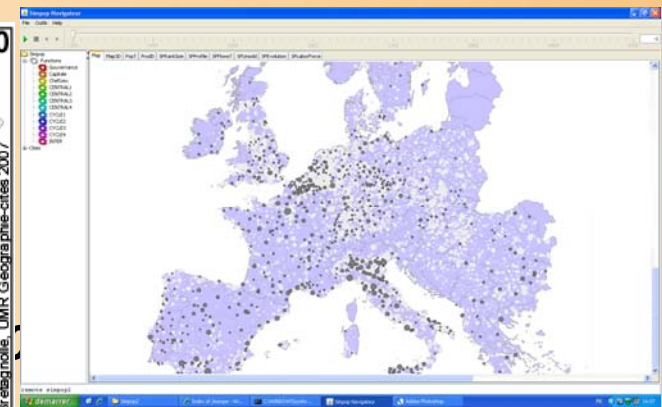
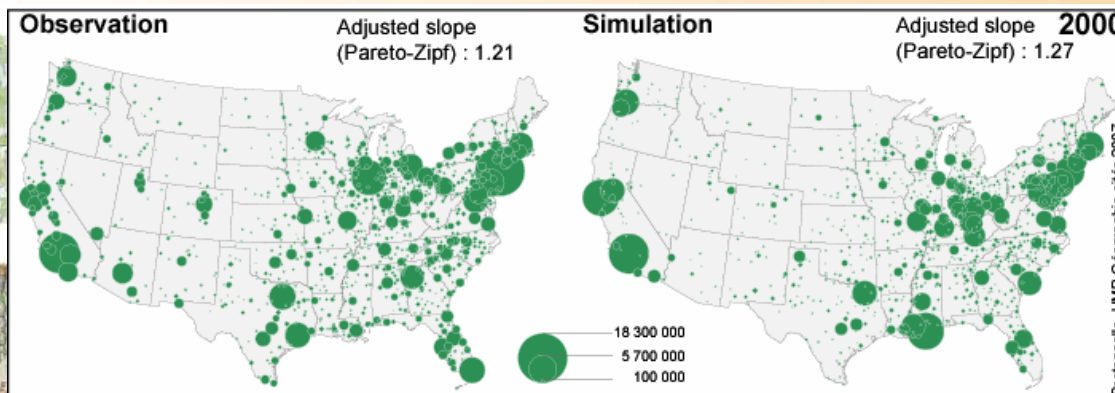


The Simpop2 Project (since 2002)



Modeling hypothesis :

- **Same mechanisms can explain the dynamics of European and U.S systems of cities**
- At the territory scale, cities are agents engaged in multiple interaction networks
- Simpop2 was designed as a *generic* multi agent model
- Instantiated in *2 different versions Simpop 2 Europe & Simpop2 US*



Observations at network scale

Fundamental morphologic differences between US and European urban systems

➤ Territory (system of cities) scale :

Rank size coefficients for 4 different systems of cities

	1800	1850	1900	1950	2000
Europe	0.69	0.77		0.91	0.94
Inde			0.76	0.86	0.99
Etats-Unis			0.91	1.09 (1940)	1.20
Afrique du sud				1.16 (1960)	1.20



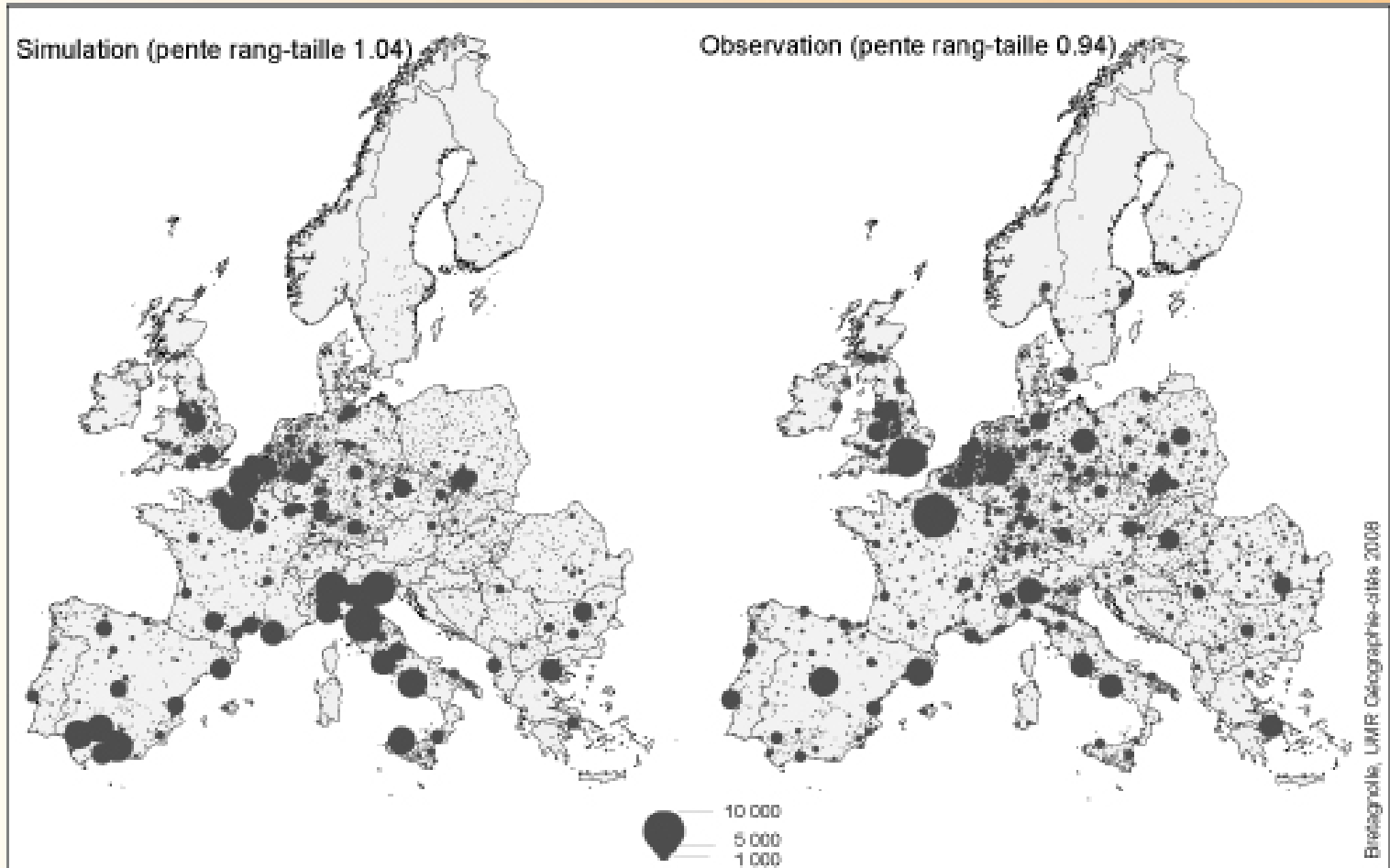
Bretagnolle et al., 2009

(ACI systèmes complexes en SHS)

Theo Quant, Besançon, 2009

Application to Europe 1300-2000

Bretagnolle, 2008



Bretagnolle, Pumilio, Theobald, Besançon, 2009

RESULTS: Europe, theoretical

→ Rank-size slopes

	Observed		Simulated	
	Slope	R ²	Slope	R ²
1500	0.72	0.97	0.66	0.98
1600	0.74	0.99	0.70	0.98
1700	0.80	0.99	0.75	0.98
1800	0.69	0.99	0.75	0.98
1850	0.77	0.99	0.78	0.98
1950	0.91	0.99	0.89	0.98
2000	0.94	0.99	0.94	0.98

*Bretagnolle,
2008*

Theo Qua



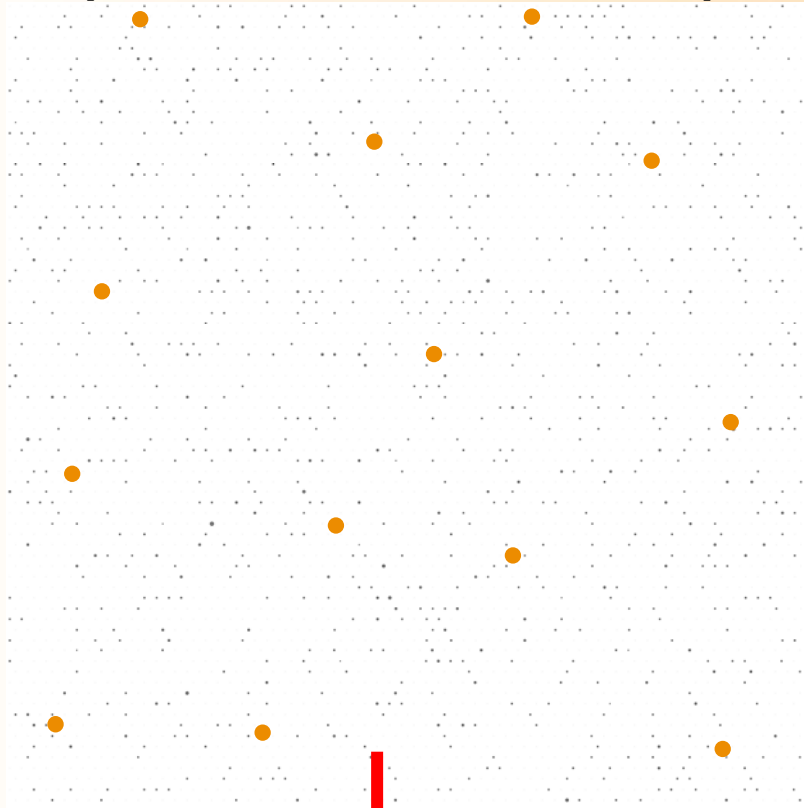
Retour sur la théorie: des villes "globales" depuis le Moyen-Age

Dates	Highest rank of well adjusted cities	Observed data (thousands)	Simulated pop. of largest cities
1500	2	Paris, 225	125
1700	3	Paris, 500 Napoli, 300	210 202
1800	3	London, 948 Paris, 550	534 533
1950	5	London, 8900 Paris, 6100 Ruhr, 4000 Berlin, 3500	2780 2650 2630 2510
2000	3	Paris, 10500 London, 9200	7000 6900



Le rôle de la géographie (enchaînement historique) trajectoires des capitales politiques

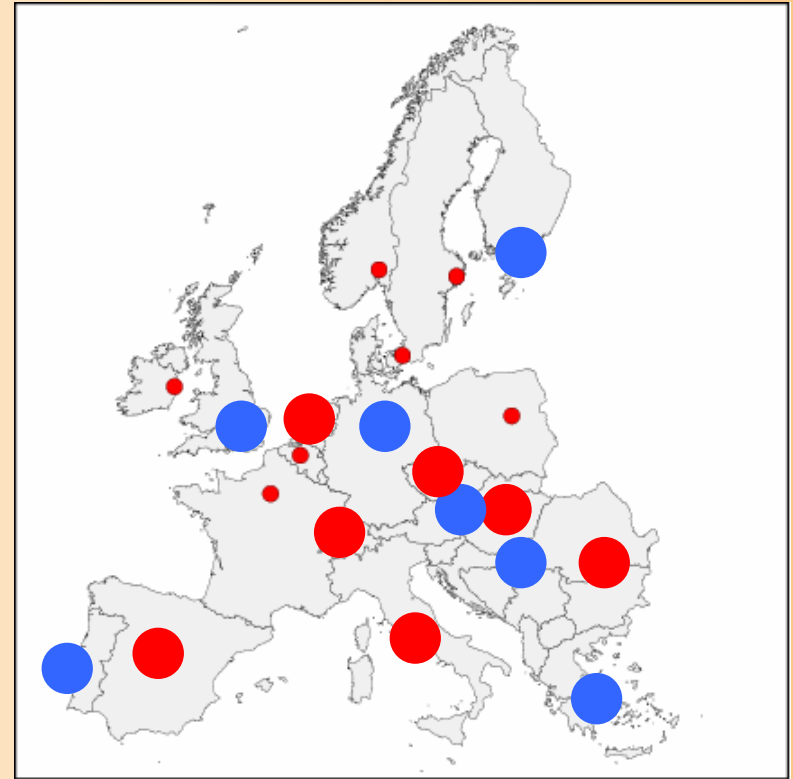
Capitales, semis initial théorique



In 2000, 13 capitals in top 20

Bretagnolle, 2008

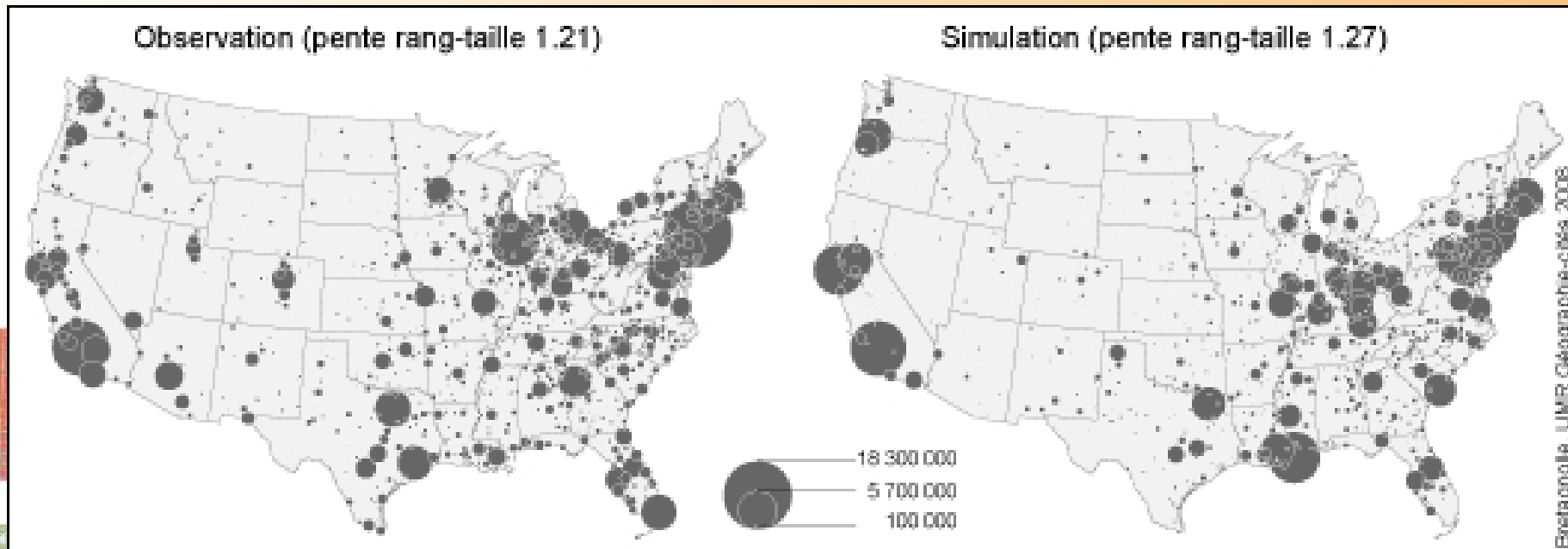
Capitales, semis initial réel



In 2000, 2 capitals only in top 20

Theo Quant, Besançon, 2009

Application to USA 1650-2000



Bretagnolle, 2008

Theo Quant, Besançon, 2009

Modèle US/modèle générique: les spécificités de la dynamique d'un système urbain de pays neuf

- Le développement initial des villes répond aussi à une demande extérieure (colonie) ajoutée au modèle
- ajout d'un effet « front pionnier »
- zones de développement associées à chaque cycle d'innovation
- Apparition des fonctions centrales après les fonctions spécialisées

(*Anne Bretagnolle, ACI systèmes complexes, 2007*)

Theo Quant, Besançon, 2009



Discussion: model validation

-Multiscale 'validation'

-Too many rules and parameters? (complex systems theoreticians)

-Reasonable validation through meaningful adaptations of the model required for different contexts of urban systems (feedback theory-model-observation)

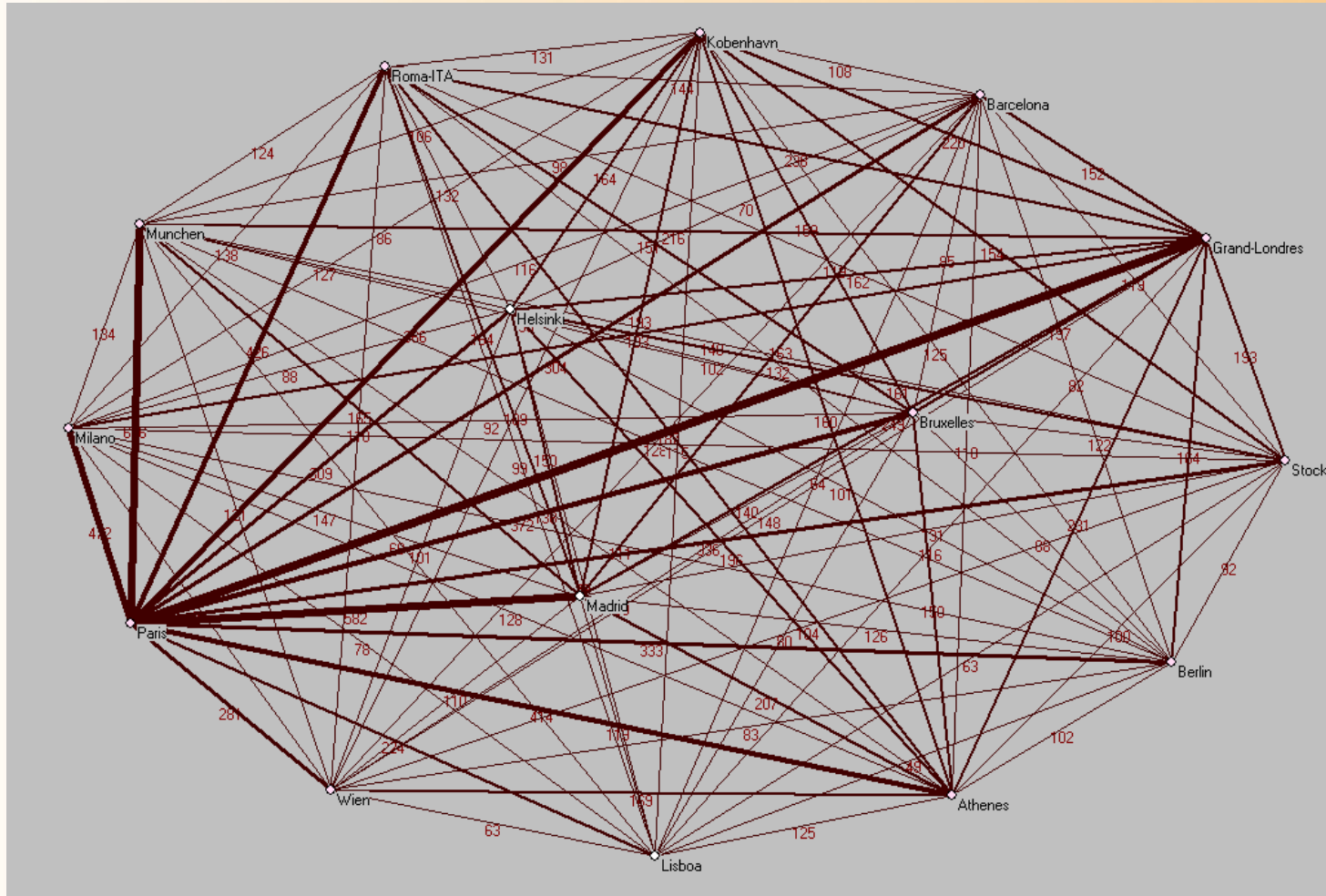
- « Second order » networks (abstract flows) because of computer's capacity, but possible validation by observation of specialised networks

Theo Quant, Besançon, 2009



Example of research links in Europe (FPs contracts)

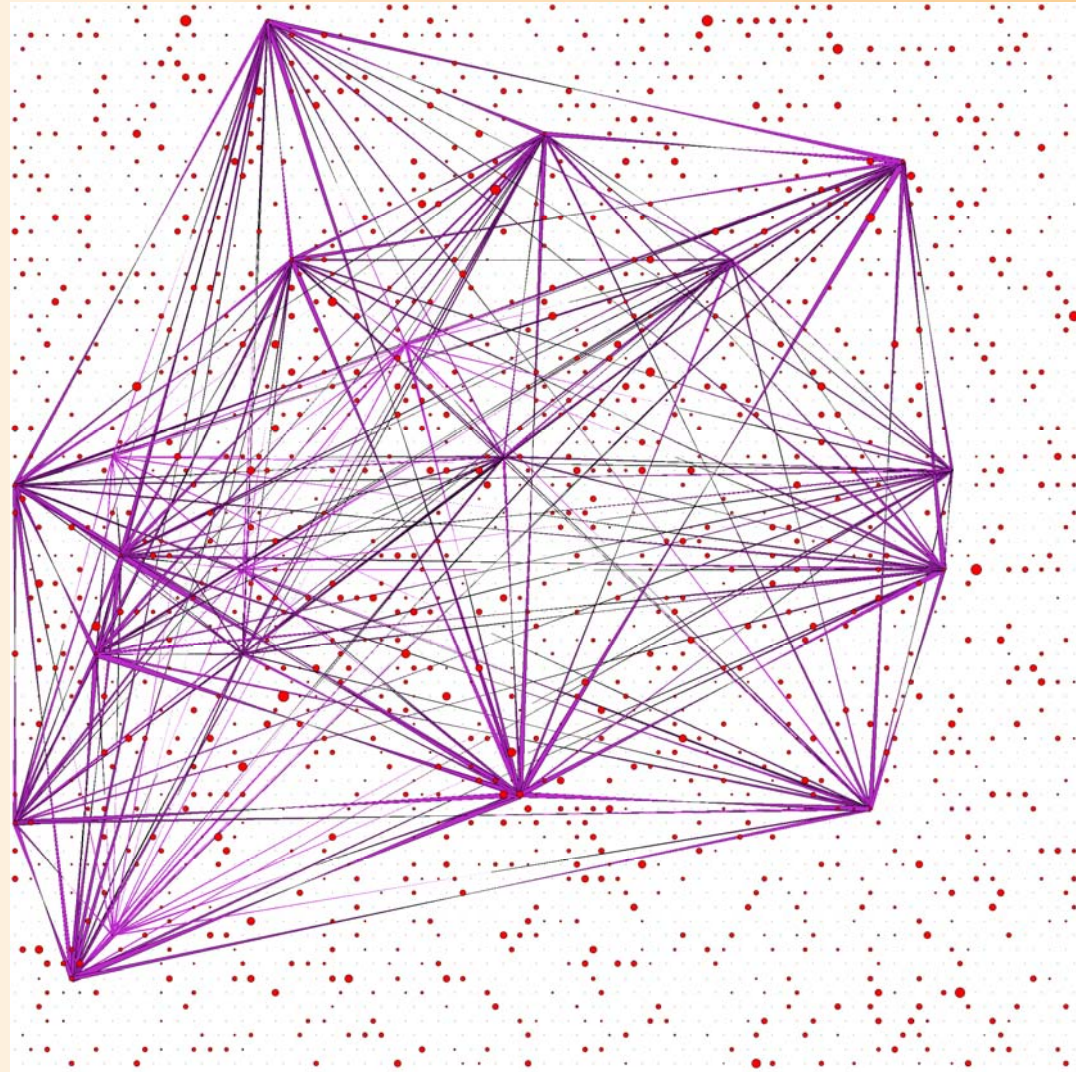
source: PhD Marie-Noelle Comin, 2008



Theo Quant, Besançon, 2009



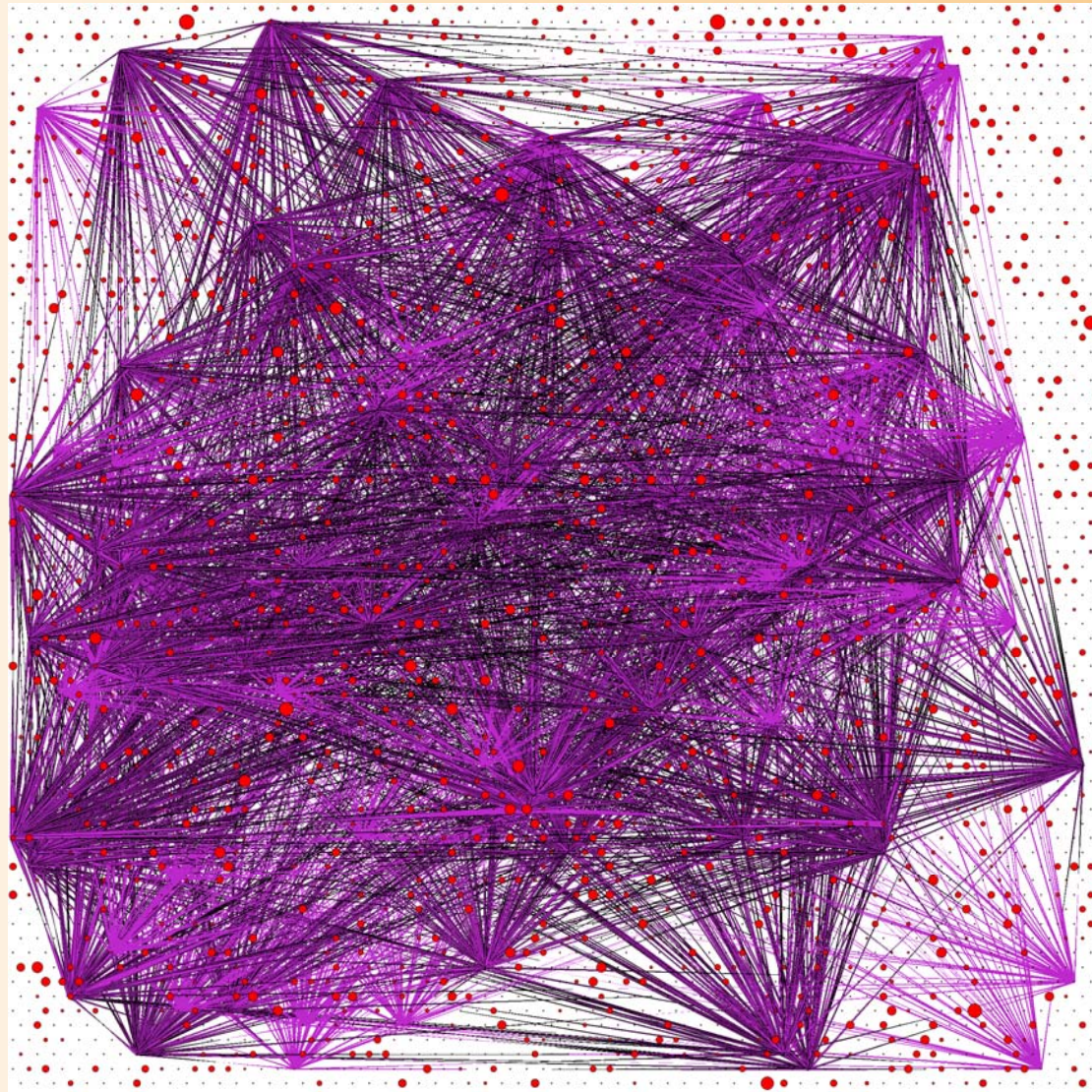
Specialised functional network (1936)



Theo Quant, Besançon, 2009



Specialised functional network (2000)



Vers un modèle urbain multi-niveaux

Simpop2...

- Reproduces the progressive emergence of a system of cities in a country or continent
- Focuses on interactions between cities
- What if we want to reproduce what's happening *inside the city* ?
- What are the driving forces ?
 - ➔ thèse de Thomas Louail

Theo Quant, Besançon, 2009

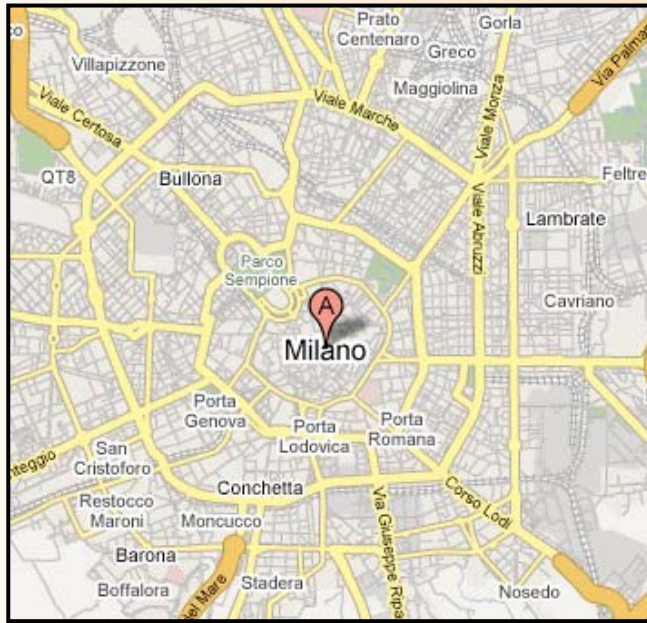


Observations 'G' : Networks Geometries

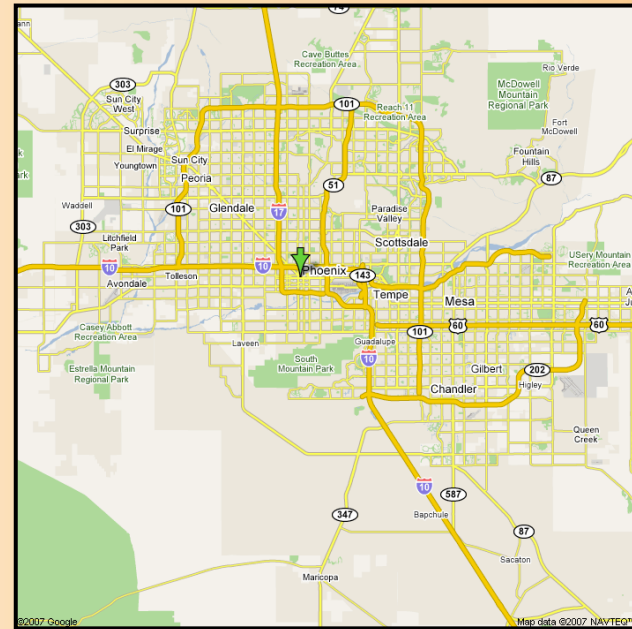
Fundamental **geometric differences** between US and European urban forms

- European city : radioconcentric form, monocentric
- US city : grid form, often polycentric

Historical, cultural and technological factors



Milan, IT



Phoenix, AZ

Theo Quant, Besançon, 2009

Causality link ?

Can we render :

G => D and P

with a simulation model ?

If not, what other features have to be added to the model to reproduce the observed differences ?

The **historical period** considered is **1800 -> now !**

Theo Quant, Besançon, 2009



Deux problèmes ontologiques

1 Quelle représentation pour l'espace?

Systeme de villes = relations de réseau
(concurrence entre les villes pour capter les profits des innovations selon leur situation géographique dans des réseaux d'échange)

Villes = relations de territoire (concurrence pour la localisation et l'utilisation du sol)

Theo Quant, Besançon, 2009



Deux problèmes ontologiques (suite)

2: Comment représenter l'interaction entre les niveaux?

Choix d'une entité commune aux deux niveaux: la **fonction** urbaine et le nombre d'emplois urbains qui lui sont affectés

→ Hypothèse d'un effet en retour de l'efficacité de la localisation intra-urbaine des fonctions sur la dynamique d'attraction de la ville dans le système des villes

→ Hypothèse de la pression sur l'organisation interne de la ville exercée par son dynamisme externe (capacité à capter le bénéfice des innovations associées à la fonction)


Theo Quant, Besançon, 2009



An attempt to model intra-urban dynamics : simpopNano

Idea : Model the repartition of the
Simpop2 urban functions employees
inside a city

Find the minimal set of hypothesis and
rules which permit to render two well
differentiated city forms



Main input
:
Geometry



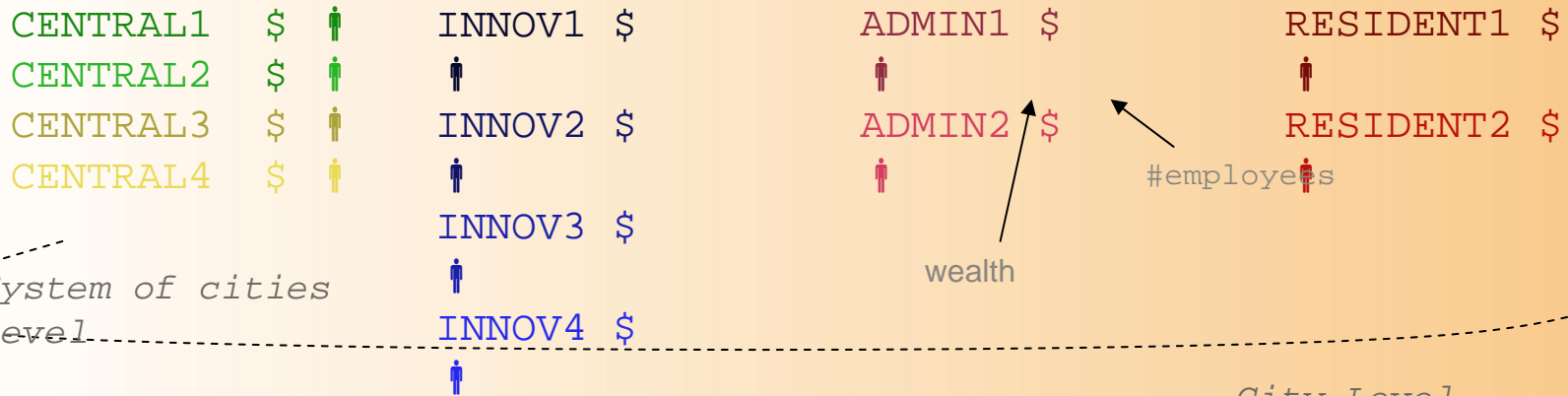
simpopNano

Main outputs :
Density gradient
Price gradients

Theo Quant, Besançon, 2009

simpopNano : a location model at the intra-city scale

How do the Simpop2 urban function-agents localize inside the city ?



Urban functions employees

Neighborhoods spatial agents

Neighborhoods and urban functions dynamics



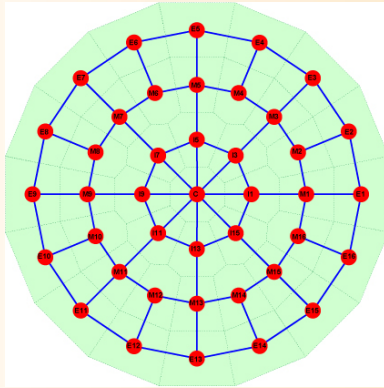
Theo Quant, Besançon, 2009

Louail, 2009

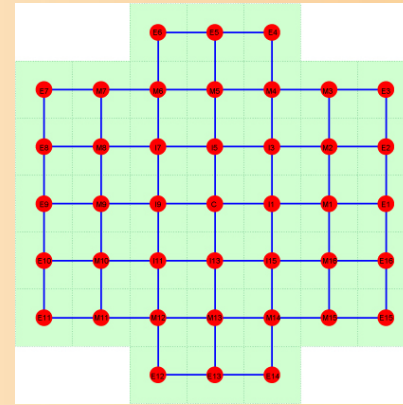
Different geometrical inputs

Topology : Different theoretical graphs,

radioconcentric vs. square



European Network



US Network

Ile-de-France [LVMT transports study, 2002]	20 km/h
28 US Metropolitan areas average [source : Center for neighborhood technology, 2006]	21.1 miles/h

Transports : Different commuting average speeds

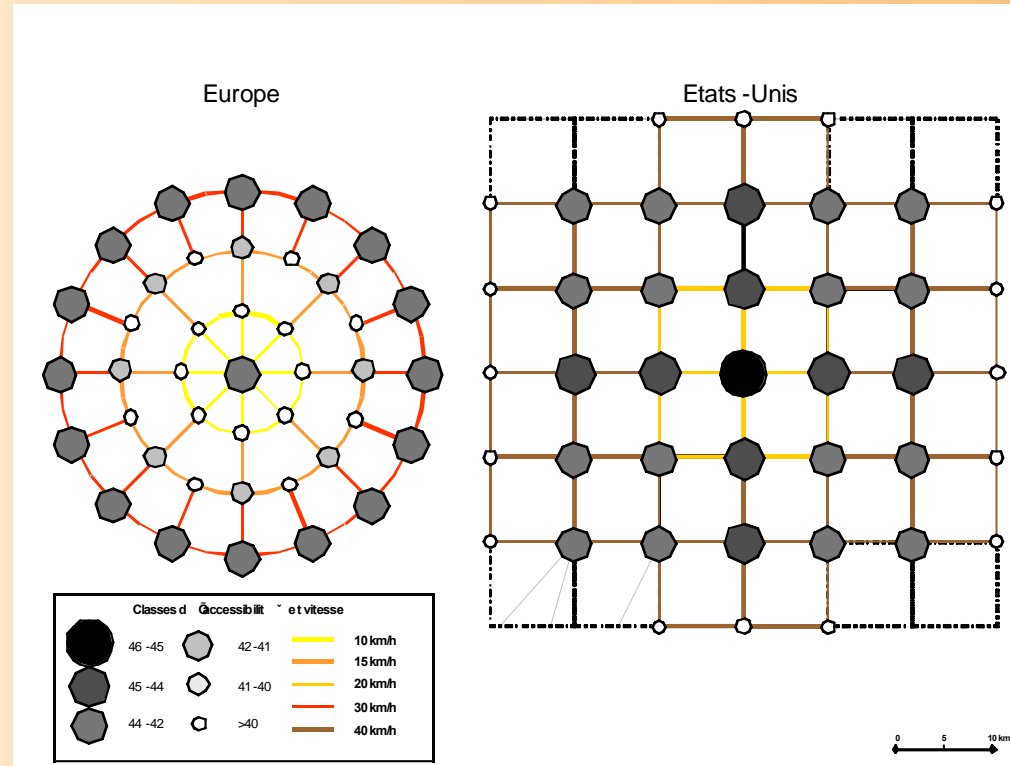
- Commuting speeds are 2 times faster in US cities

Theo Quant, Besançon, 2009

*Louail,
Bretagnolle,
Delisle
2009*

Solution : Graph-based representation

Integrating topology and speeds in an aggregate *Accessibility* indicator for each vertice



Theo Quant, Besançon, 2009

Louail,
Bretagnolle
Delisle, 2009

Problem 2 : Simplifications ontologiques

A « full » model of city's growth is out of reach
(demography and economy)

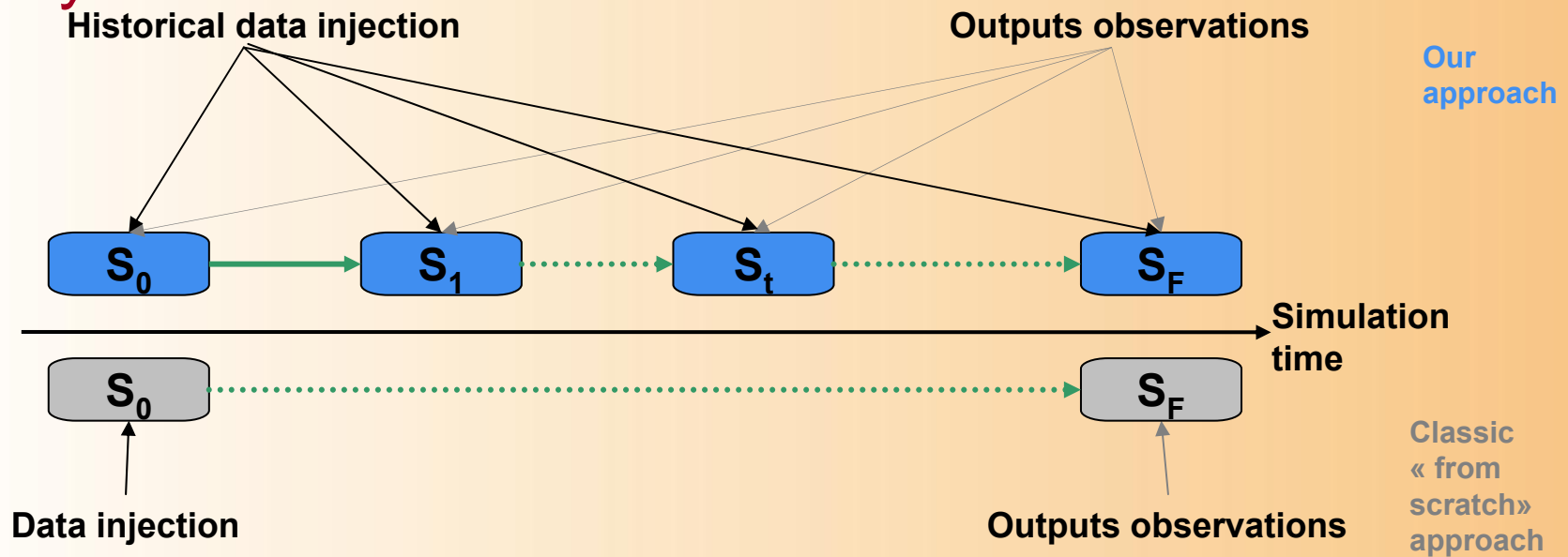
Sensible simplifications must be done in order to
obtain a workable model

Theo Quant, Besançon, 2009



Solution 2 : Historical data-driven simulation

Historical data trends serve as commands for the System



Louail, 2009

Theo Quant, Besançon, 2009

$$(E_1^{1950}, \dots, E_N^{1950}) \text{ with } \sum_{i=1}^N E_i^{1950} = 50.000$$

Modeling entities

Multi-agent approach, with 2 types of agents :

➤ Urban Function agents

- Each represents a class of socio-economical activities owned by the city
- 12 urban functions agents are defined
- Each has a set of employees to localize and money to do it, at each time step

➤ Neighborhood agents

- **A Neighborhood agent** is a spatial unit delimited by transport axes
 - A vertex in the city graph (a city is composed by up to 30 agents)

Theo Quant, Besançon, 2009



Toolbox

SimpopNano software built upon :

- *SWARM (objective-C)* multi-agent library
- *MapInfo SIG* for maps
- *Drone* for generation of parameters sets in batch mode

Theo Quant, Besançon, 2009



Concepts et entités émergentes

Deux représentations par les théories des systèmes complexes:

Trajectoires dynamiques, attracteurs et bifurcation (théories de l'auto-organisation, synergétique)

(Prigogine/Allen: des entités sont observables parce qu'il y a des bifurcations dans les trajectoires dynamiques des systèmes complexes)

Emergence par les interactions (Simon, Anderson, Holland...)

Theo Quant, Besançon, 2009



Emergence as signature of complexity

A measure of complexity for **societal systems**:

- not **computational**: combination of signs or length of programmes are too elementary definitions
- not **mathematical**: the unpredictability of evolution in non linear systems with many interactions are a necessary but not sufficient condition for a relevant description
- **social sciences** are « historical », « evolutionary » → contexts matters (in space, time...)
- the number of **disciplines** (i.e.relevant analyses) which is necessary for approaching intelligibility + the number of **levels** (emerging social organisations) is a good proxy for measuring complexity in social systems

Theo Quant, Besançon, 2009



Considering complexity in social systems

The observer is part of the system →

Even if models are never used, they contribute to build societal representations

Scientist ethics

Citizen responsibility

→ self-fulfilling prophecies...

Theo Quant, Besançon, 2009



Challenge for concepts in geography

An encyclopedia of geographical concepts:

<http://www.hypergeo.eu>

→ Spatiality of societies

→ Relationships societies / environnement

→ Regions and territories

Theo Quant, Besançon, 2009



Merci de votre attention!

www.simpop.parisgeo.fr

www.S4.parisgeo.cnrs.fr

Theo Quant, Besançon, 2009



S4 Working groups

coordinators

AtinSpan *Advanced training in spatial analysis*

Sophie de Ruffray

COMETS *Collaborative Methods in Territorial Studies*

Giovanni Rabino and Thierry Joliveau

ENVISA *Environmental Issues in Spatial Analysis*

Silvana Lombardo, Mikhail Kanevski and Christiane Weber

GAME *Geographical Analysis and Modeling for evolving Europe*

Céline Rozenblat

HyperGeo *Electronic encyclopedia of geographical concepts*

Bernard Elissalde

Geovisualization (Fusion of Libercarto and Cartomouv)

Alain L'Hostis and Gilles Palsky

MODUS *Modelling Urban Space*

P. Frankhauser, C. Tannier and I. Thomas

SIMBAAD *Multi-agents systems in Geography, economy, marketing and sociology*

Lidia Diappi, Arnaud Banos

SPANGEO *Spatial Networks in Geography*

Guy Mélançon and Céline Rozenblat

Social mobility in spatial context

Christophe Eaux

S4 Modelling Platform

Theo Quant, Besançon, 2009

Cécile Tannier