



Introduction aux réseaux

Marc Barthelemy

CEA, Institut de Physique Théorique, Saclay, France

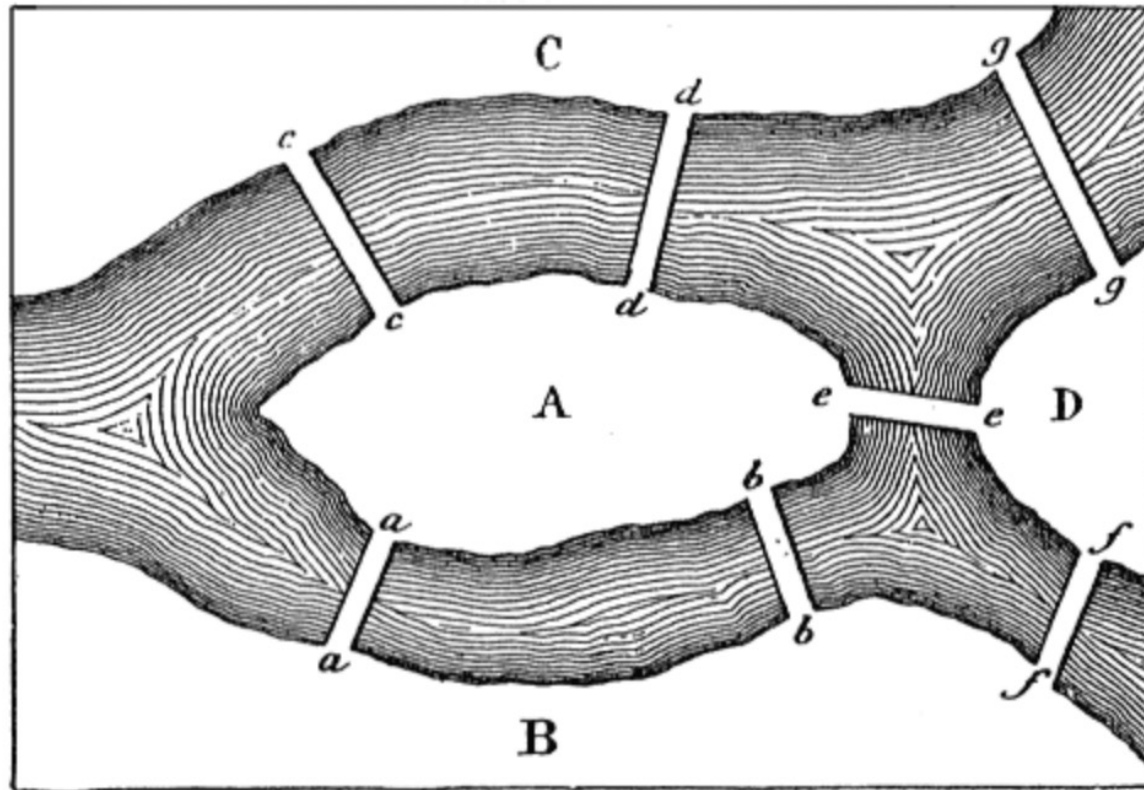
EHESS, Centre d'Analyse et de Mathématiques sociales, Paris, France

`marc.barthelemy@ipht.fr`

`www.quanturb.com`

Qu'est-ce qu'un réseau (graphe)

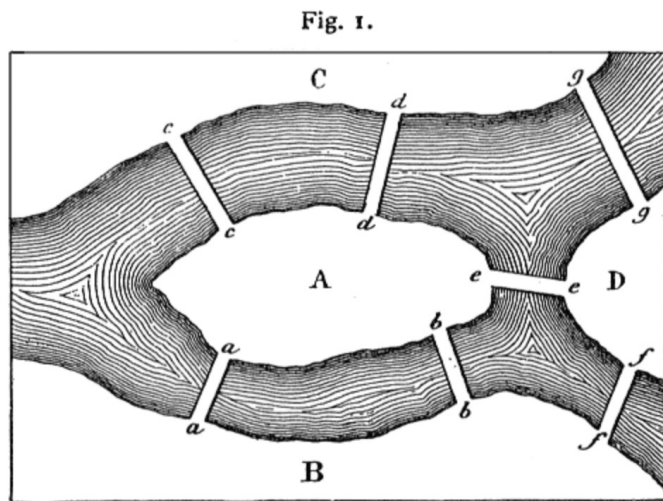
Fig. 1.



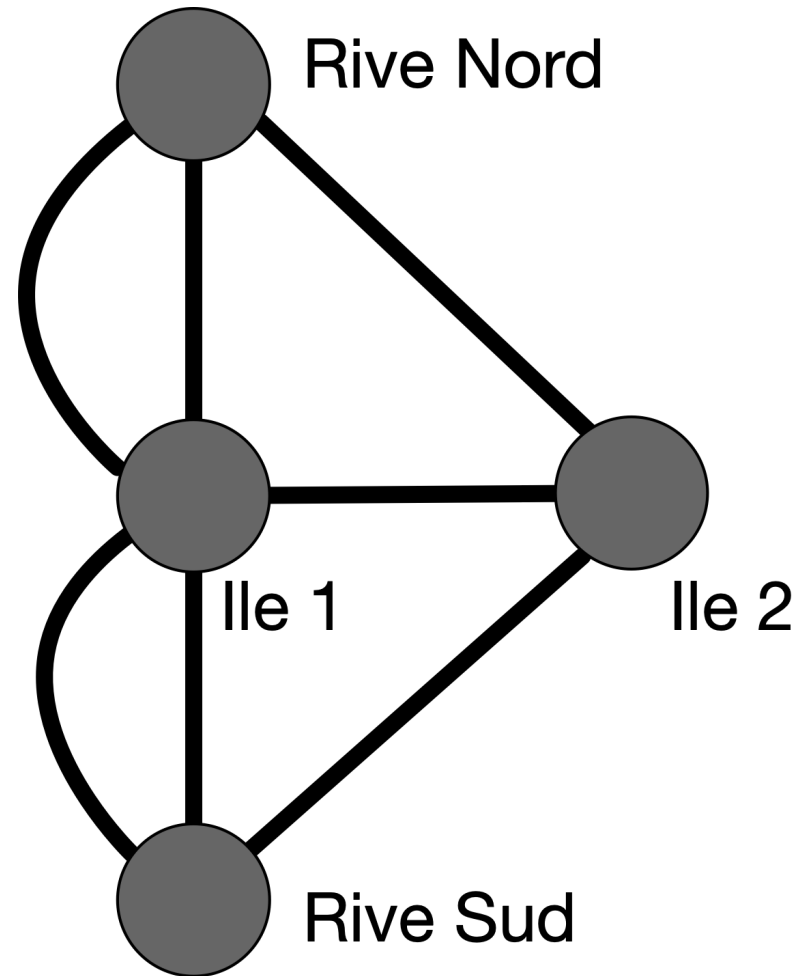
Les ponts de Kœnigsberg en 1759.

Euler - problème des 7 ponts de Königsberg (1736):
Existe t'il un chemin permettant de revenir à son point de départ en empruntant une seule fois chaque pont de la ville ?

Qu'est-ce qu'un réseau (graphe)



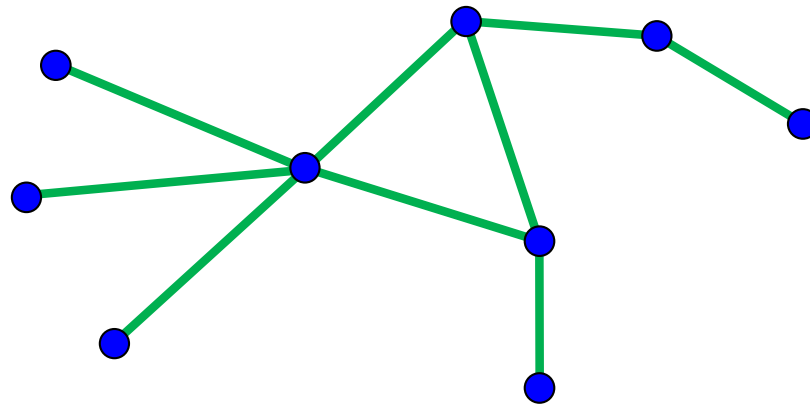
Les ponts de Königsberg en 1759.



Euler: problème des 7 ponts de Königsberg (1736)

Qu'est-ce qu'un réseau ?

Graphe = réseau = nœuds et des liens

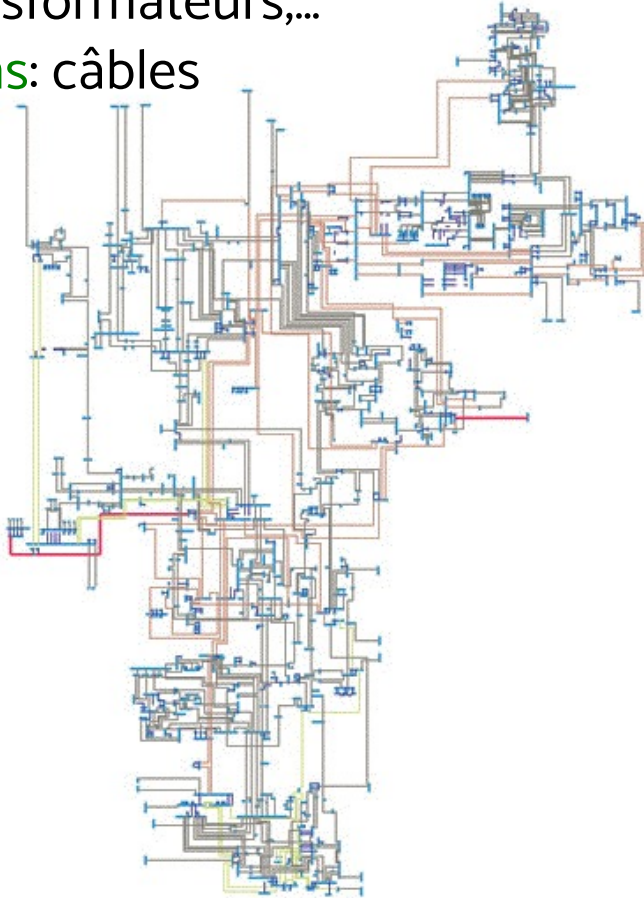


- Représentation abstraite, très générale
- Les liens peuvent être dirigés, valués, etc...
- Peut décrire de nombreux systèmes: biologie, infrastructures, réseaux sociaux, Internet & Web, etc...
- Nombreuses d'applications: transport, réseaux sociaux, épidémies,...

Electricité et gaz

Nœuds: centrales,
transformateurs,...

Liens: câbles



New York state power grid



European pipelines

Que faire avec ces réseaux ?

On peut mesurer et étudier de nombreuses choses sur ces réseaux:

- Hubs ? (nœuds très connectés)
- Centralité des nœuds (goulots d'étranglements)
- Existence de communautés ?
- Evolution dans le temps ?
- Multimodalité
- Effet de petit-monde ?

Et étudier de nombreux processus:

- Propagation de pannes, d'épidémies, etc.
- Résilience de ces réseaux face à des pannes ou attaques
- Importance du couplage entre les réseaux...

Distribution des angles des rues

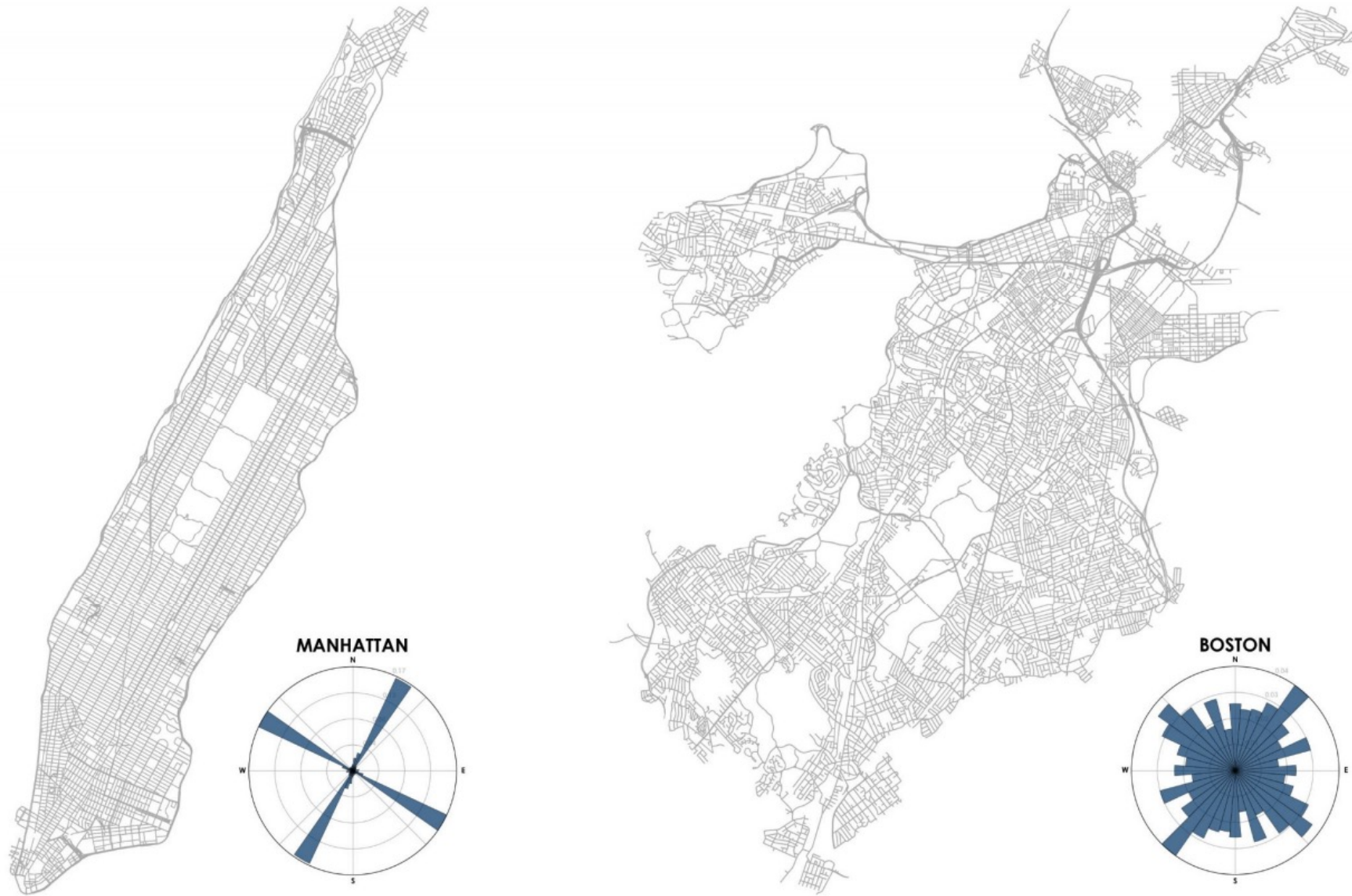


Figure 3. Street networks and corresponding polar histograms for Manhattan and Boston.

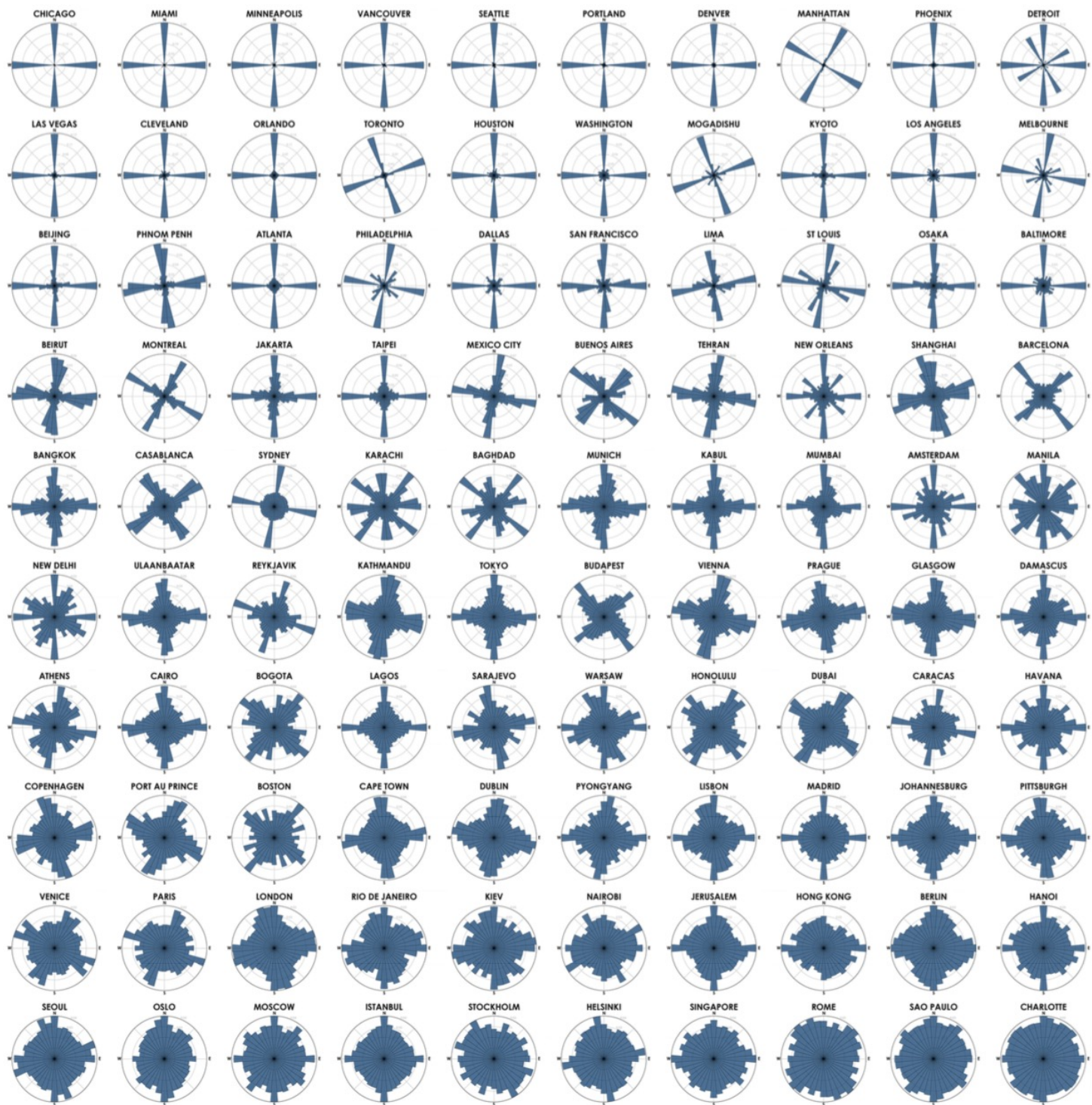
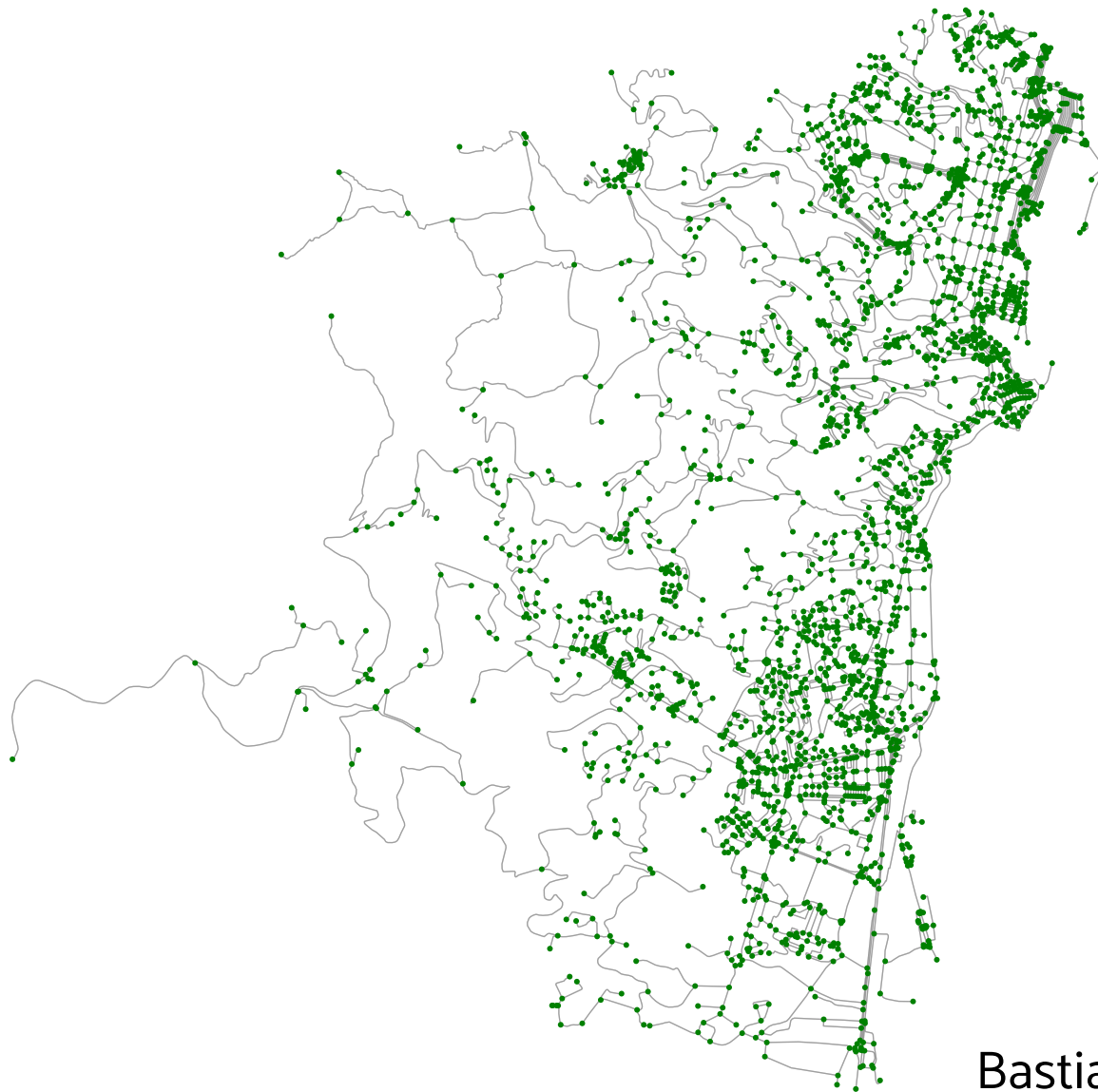


Figure 5. Polar histograms of 100 world cities' street orientations, sorted by descending ρ from most to least grid-like

Réseaux des rues et chemins

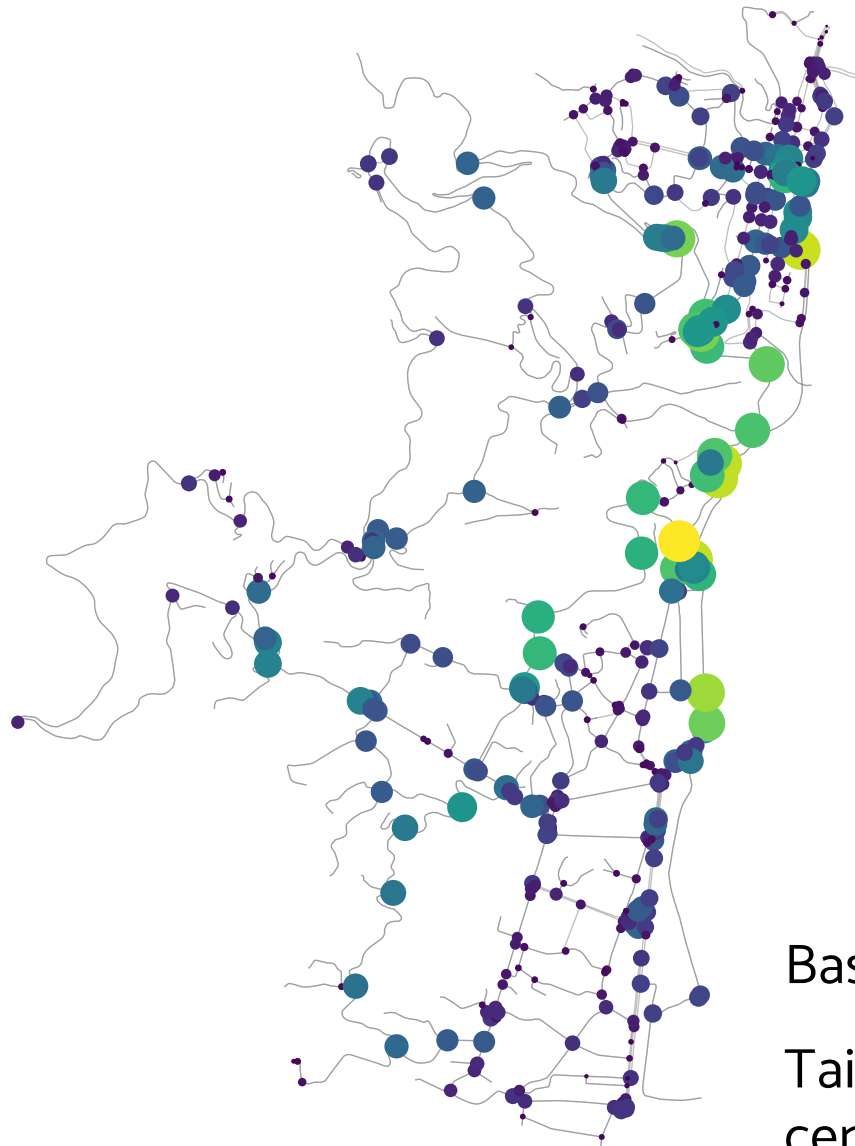


Nœuds: intersections

Liens: segments de routes

Bastia (rues et chemins, OpenStreetMap)

Réseaux des routes



Nœuds: intersections

Liens: segments de routes

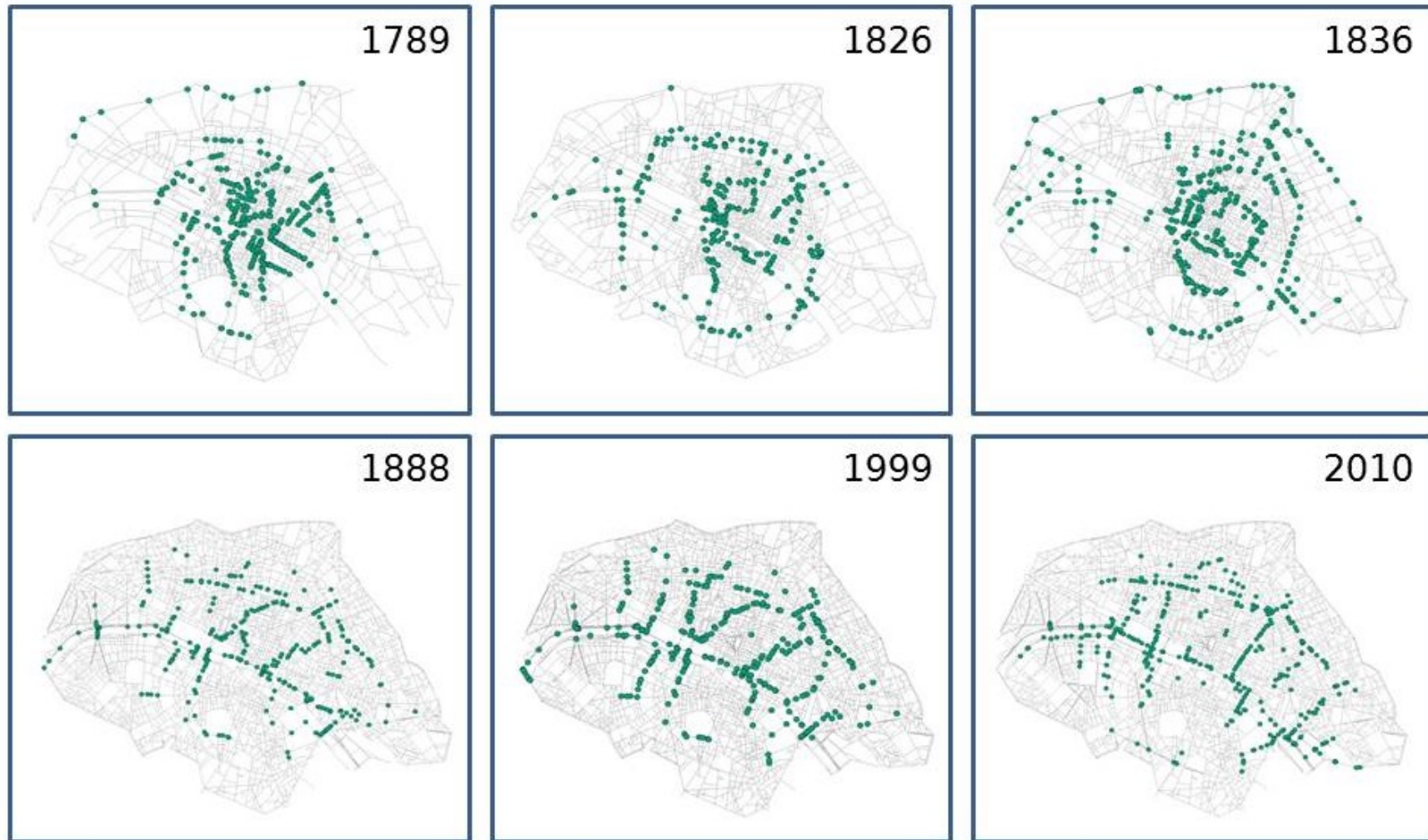
Bastia (routes, OpenStreetMap)

Taille et couleur des nœuds:
centralité (goulots d'étranglement)

Réseaux viaires (données historiques)

Nœuds: intersections

Liens: segments de routes



Réseau de navetteurs (“commuters”)

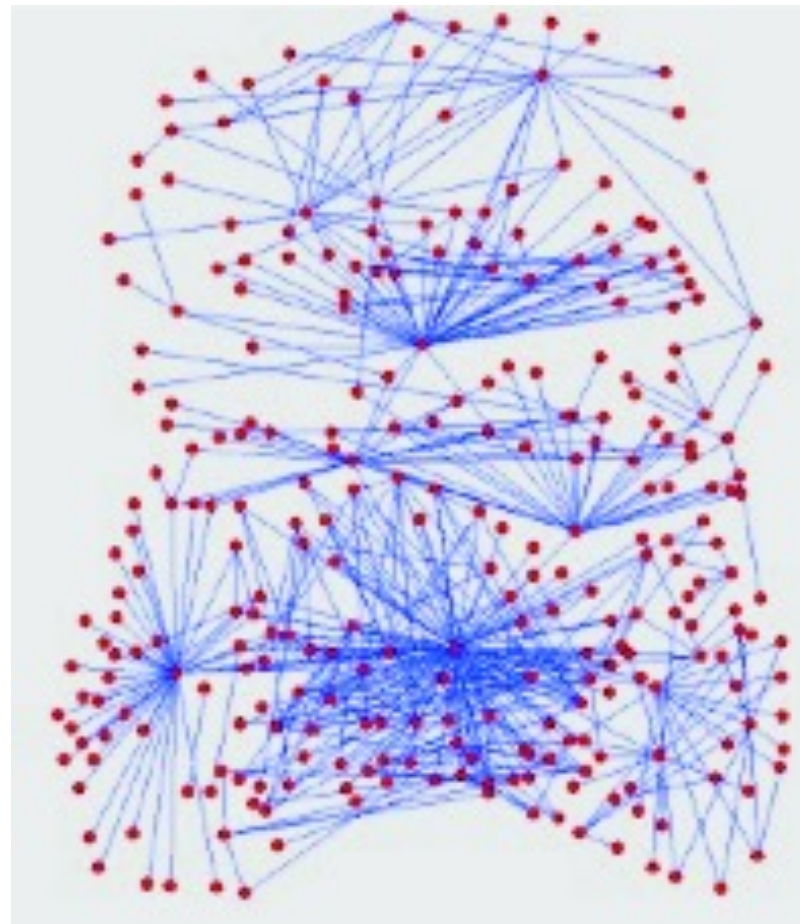
De Montis et al, Env. Plan. B (2007)

Nœuds: communes

Liens: flots de navetteurs



375 municipalités
(Sardaigne)



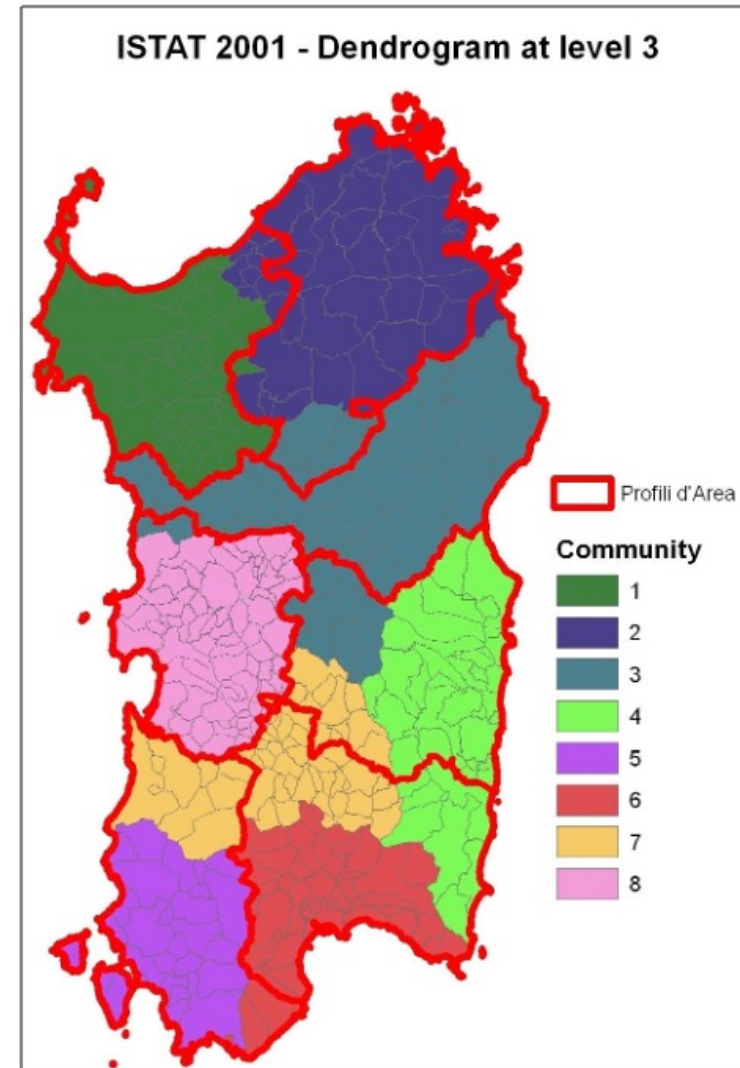
Réseau de navetteurs

Communautés

Réseaux des navetteurs en Sardaigne

A partir du réseau, on peut construire des communautés (groupes de nœuds plus reliés entre eux qu'avec le reste)

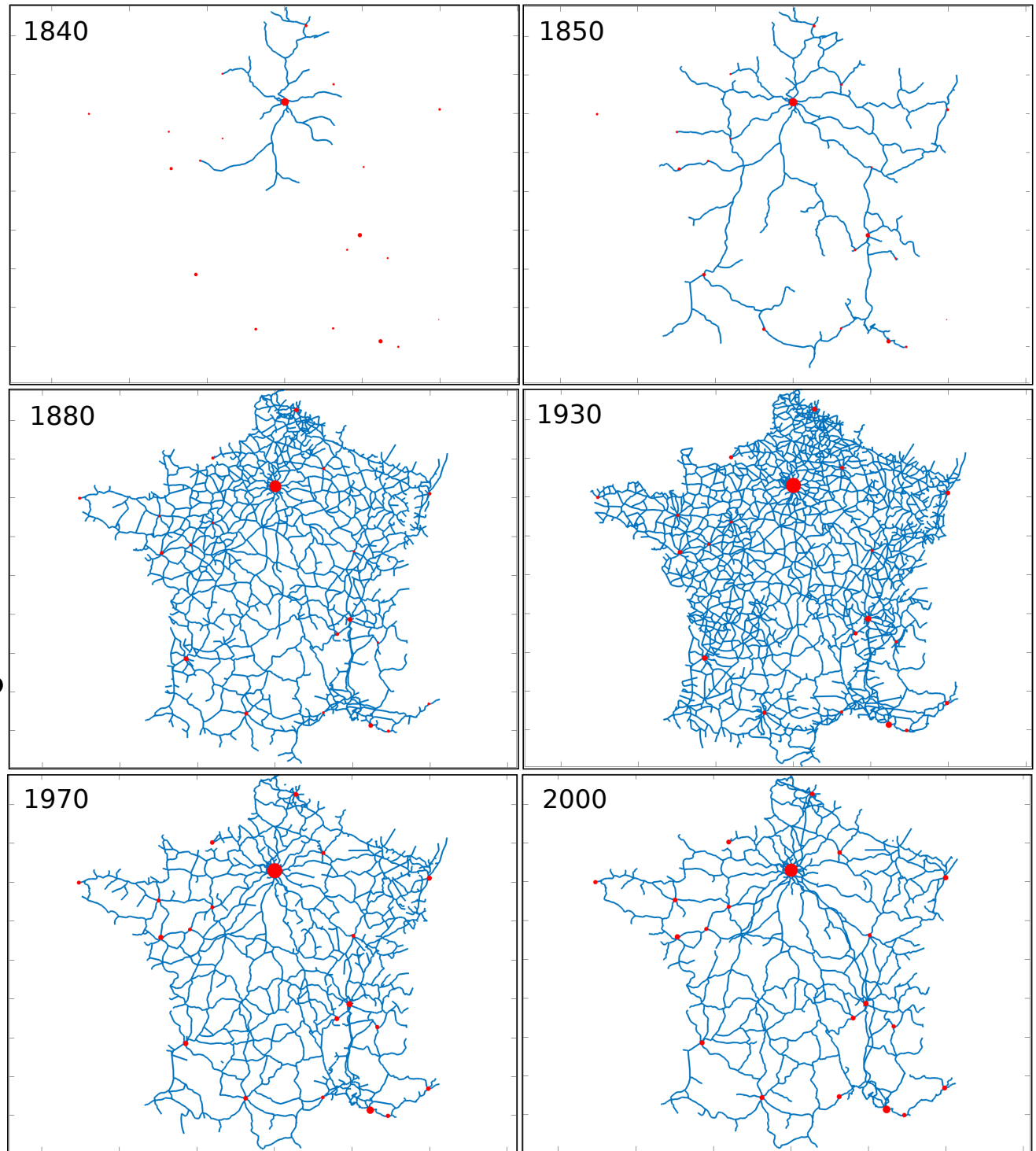
=> proposition scientifique de découpage de territoires



Les réseaux dans le temps

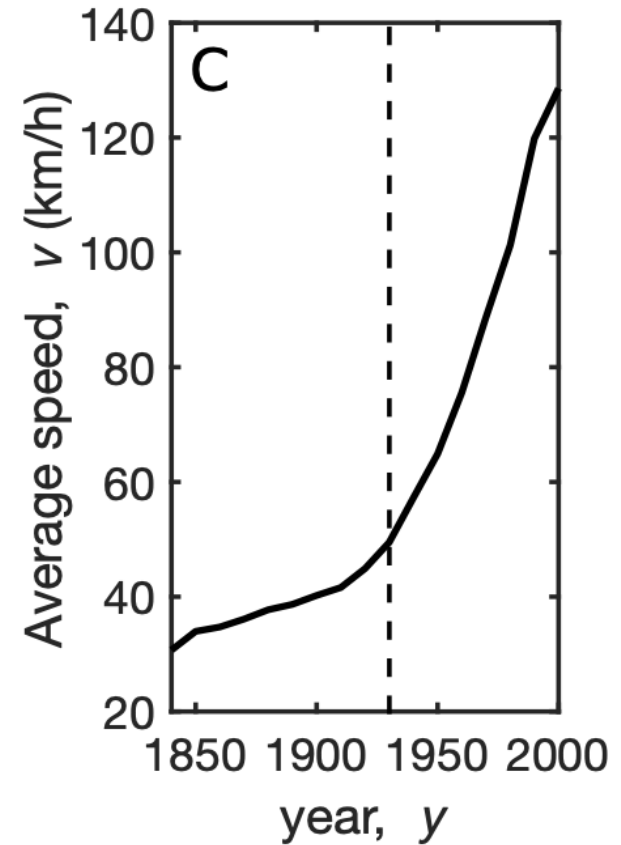
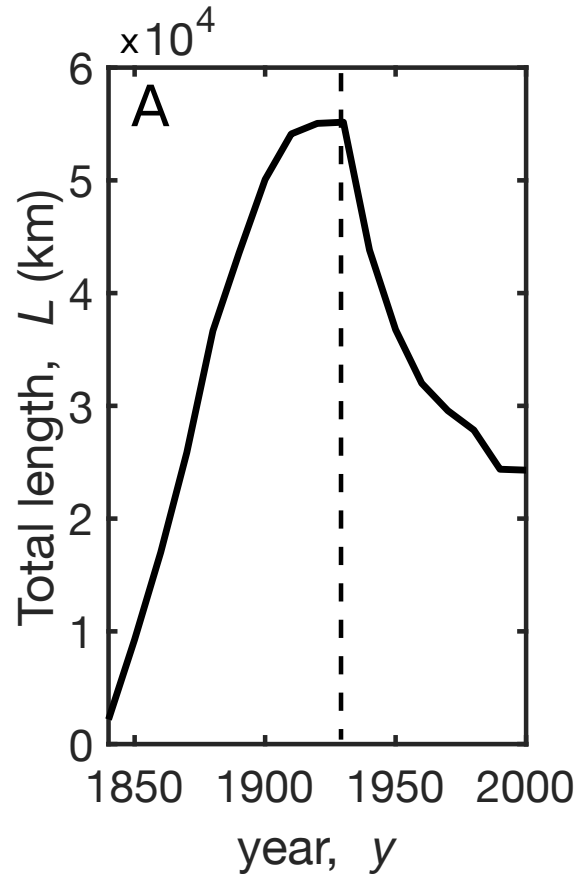
Evolution du réseau ferré français (1840-2000)

- Efficacité ?
- Couplage avec la densité de population ?



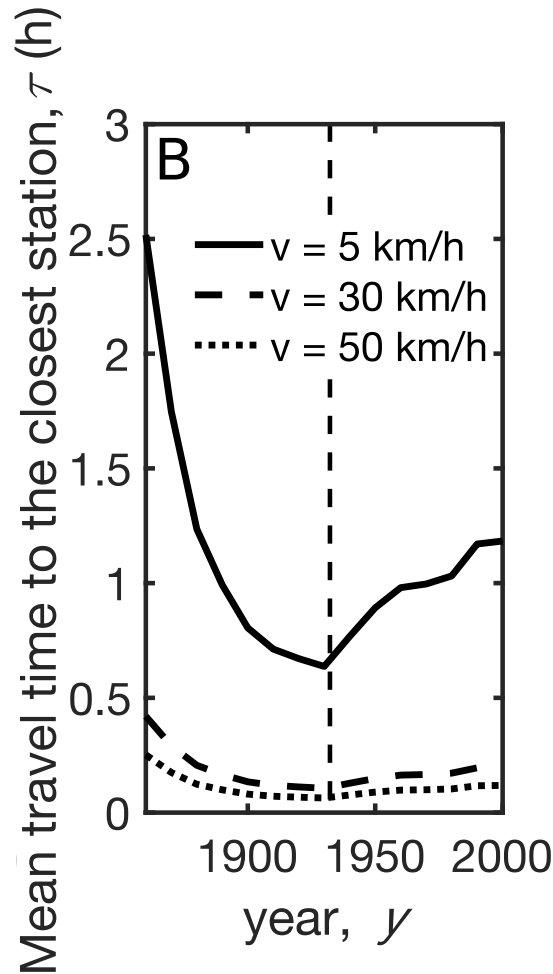
Réseau ferré en France (1840-2000)

Exemple d'un réseau qui rétrécit !
... mais qui va plus vite !

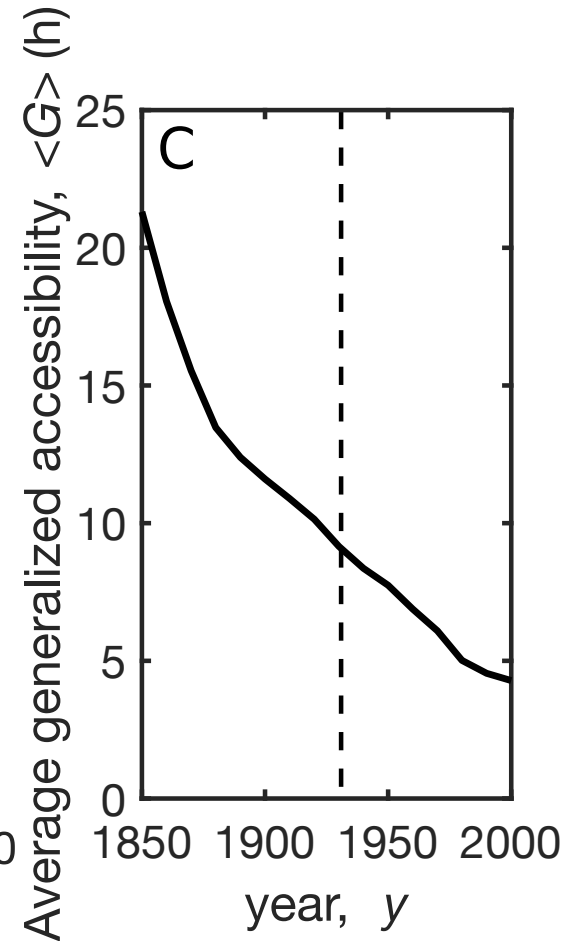


Réseau ferré en France (1840-2000): couplage avec la population

Et qui relie plus rapidement les communes entre elles !



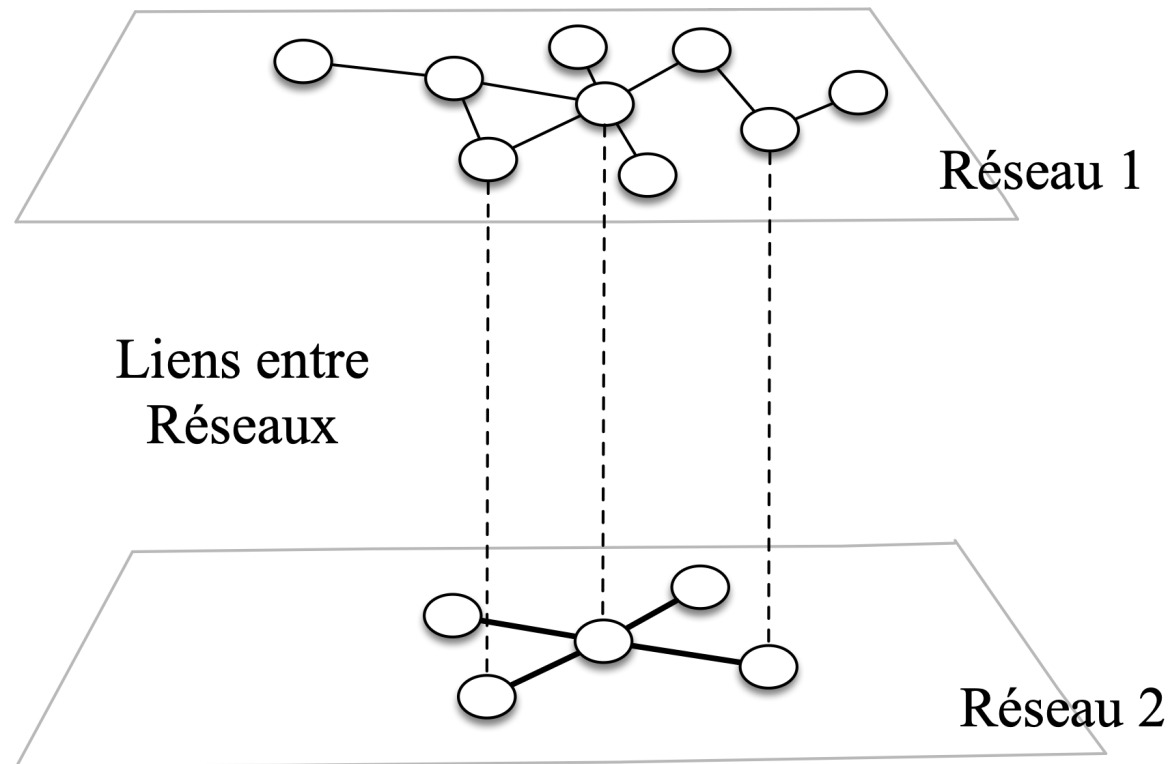
Temps moyen pour accéder à la station la plus proche



Temps moyen entre les paires de communes:
décroissance !

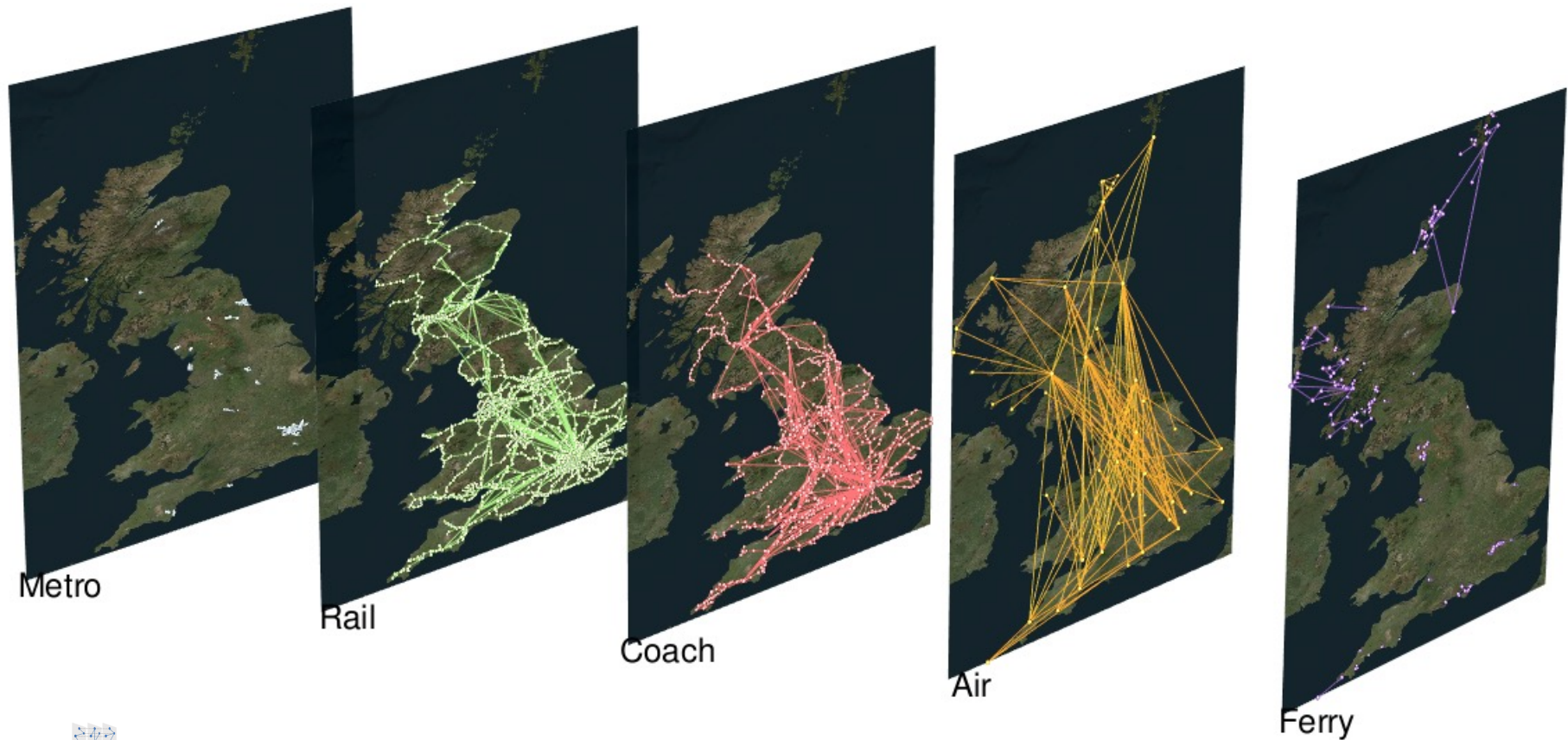
Réseaux multicouches

- Chaque mode de transport est représenté par une couche
- Les couplages représentent les connexions entre les modes (bus-metro-train, etc).



Réseaux multicouches

- Chaque mode de transport est représenté par une couche
- Les couplages représentent les connexions entre les modes (bus-metro-train, etc).

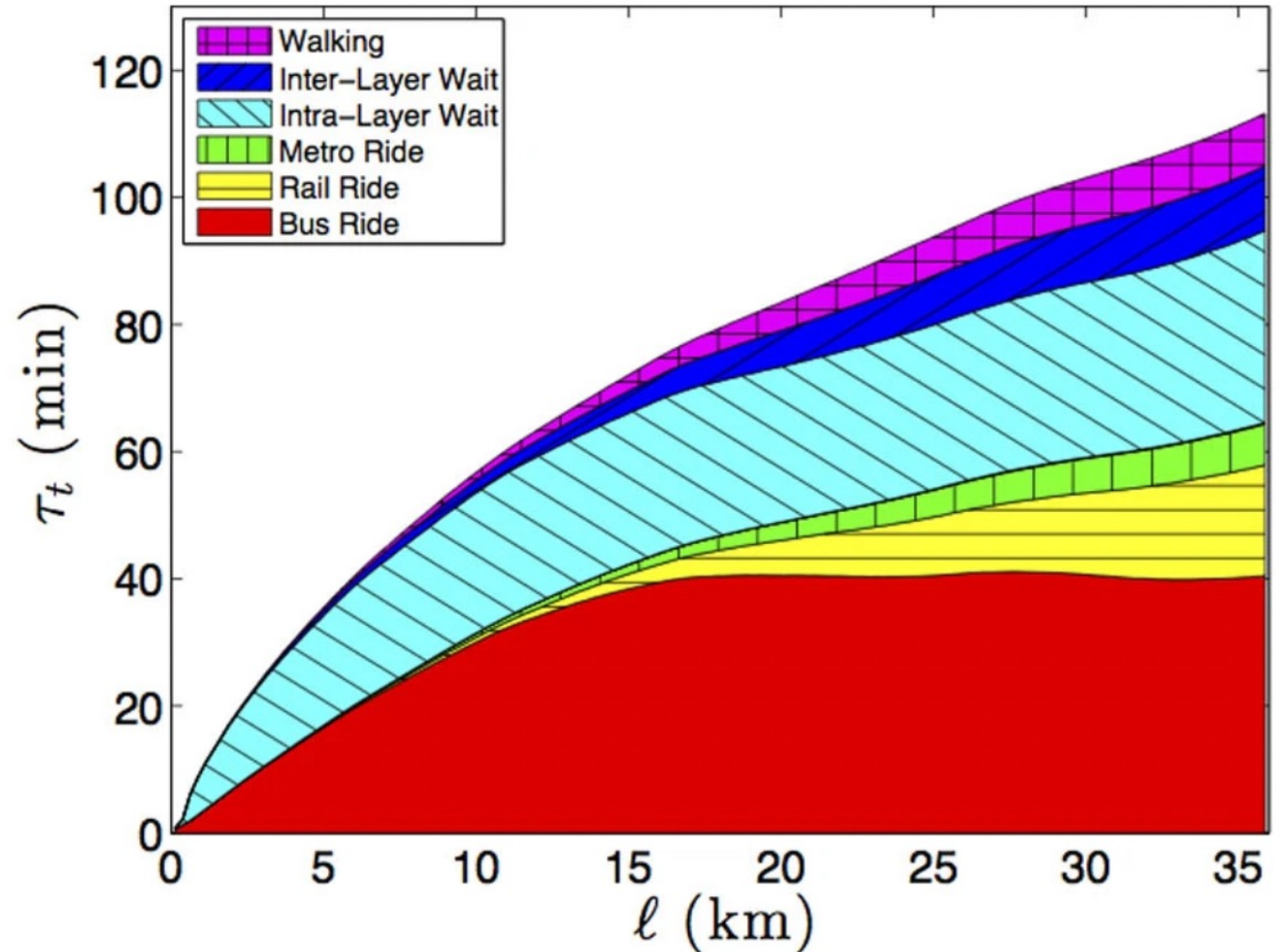


MUX  VIZ

<http://www.muxviz.net>

Réseaux multicouches: « Anatomie » des déplacements (Manchester)

- Bus dominant
- Temps d'attente~ temps de voyage (connexions bus-bus)
- metro pour des distances plus grandes

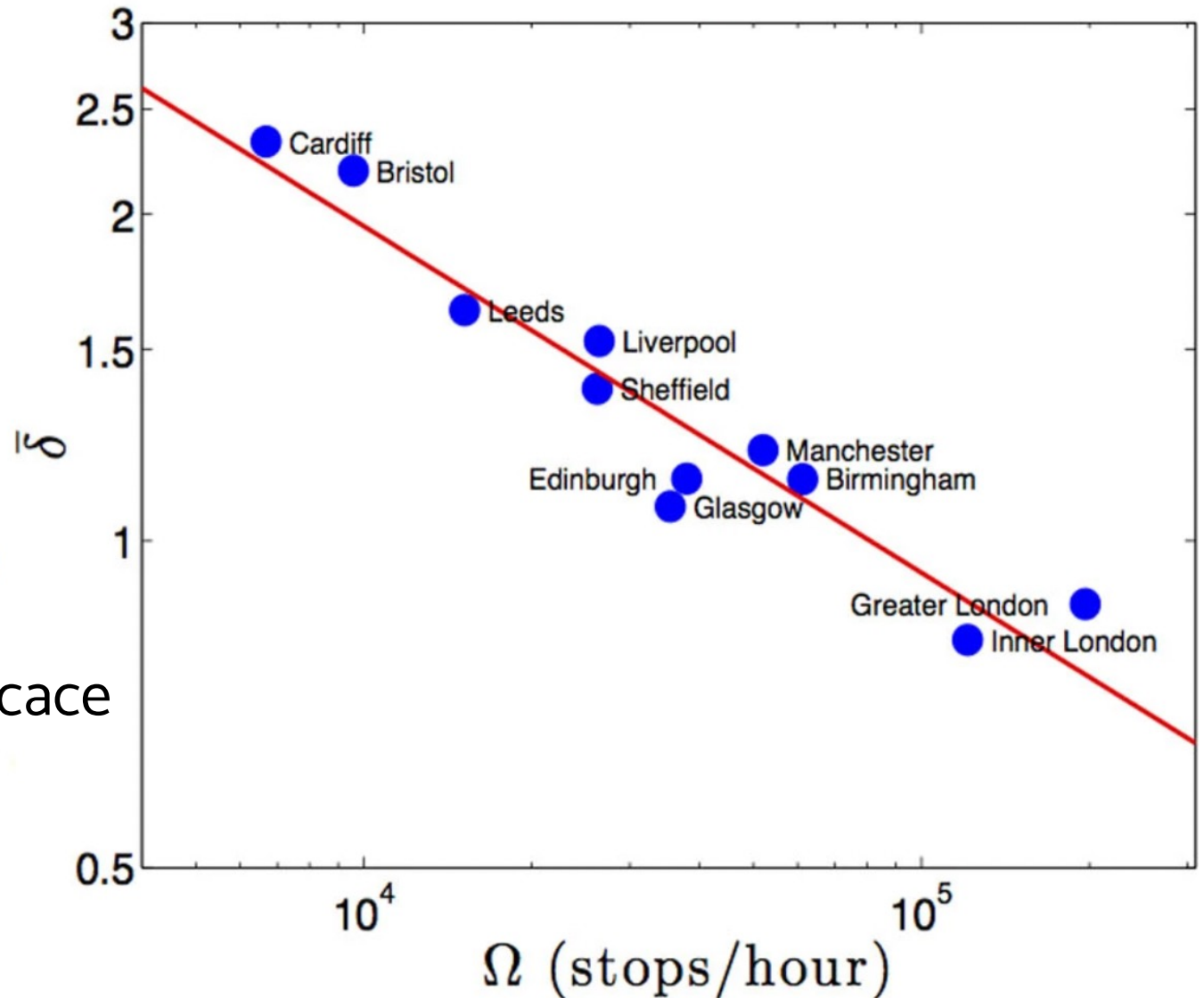


Réseaux multicouches: Synchronisation des modes versus la fréquence

- δ ~ temps d'attente entre modes

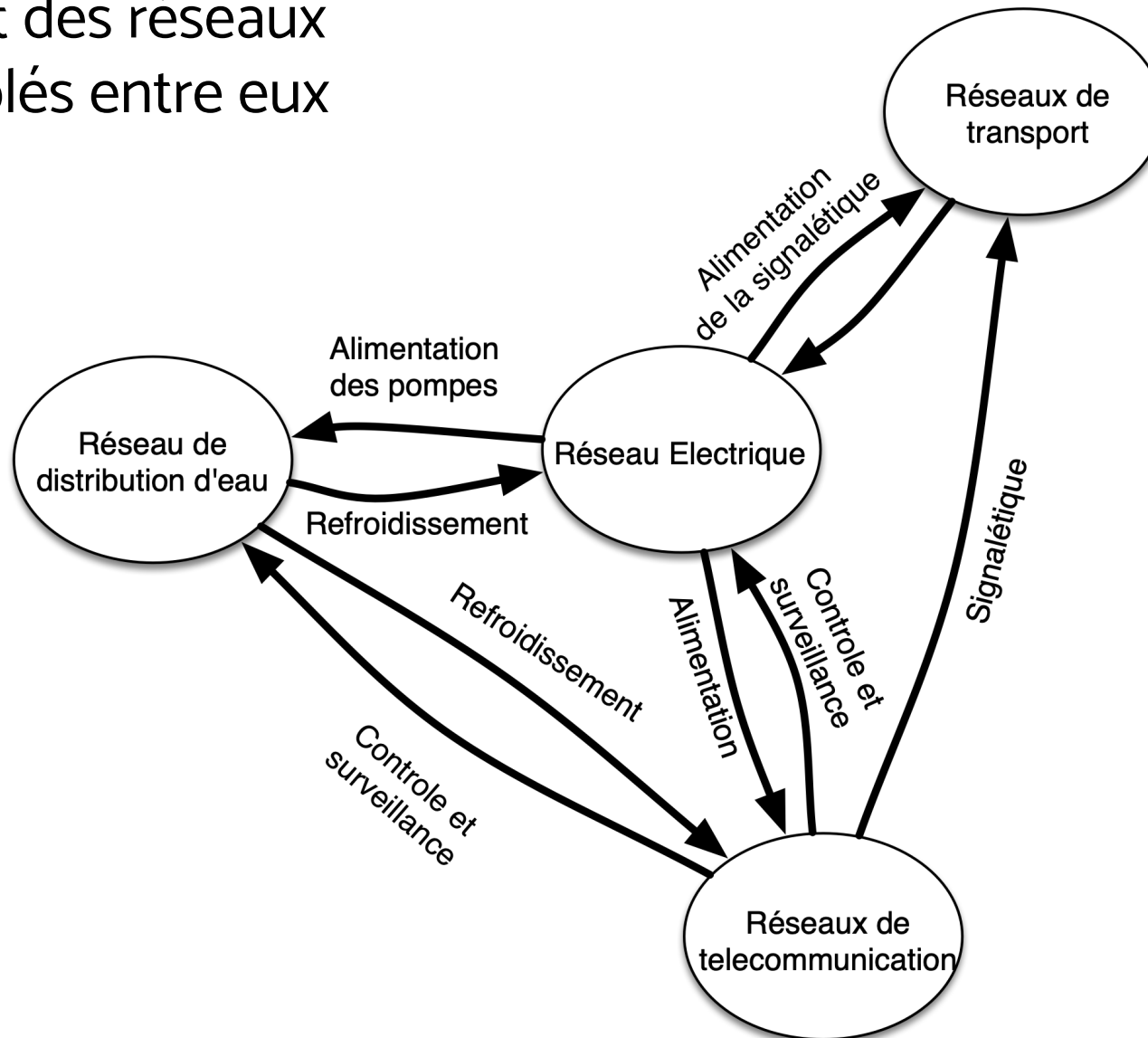
- Diminue avec la fréquence...mais très lentement

- Augmenter la fréquence est donc très peu efficace et très coûteux

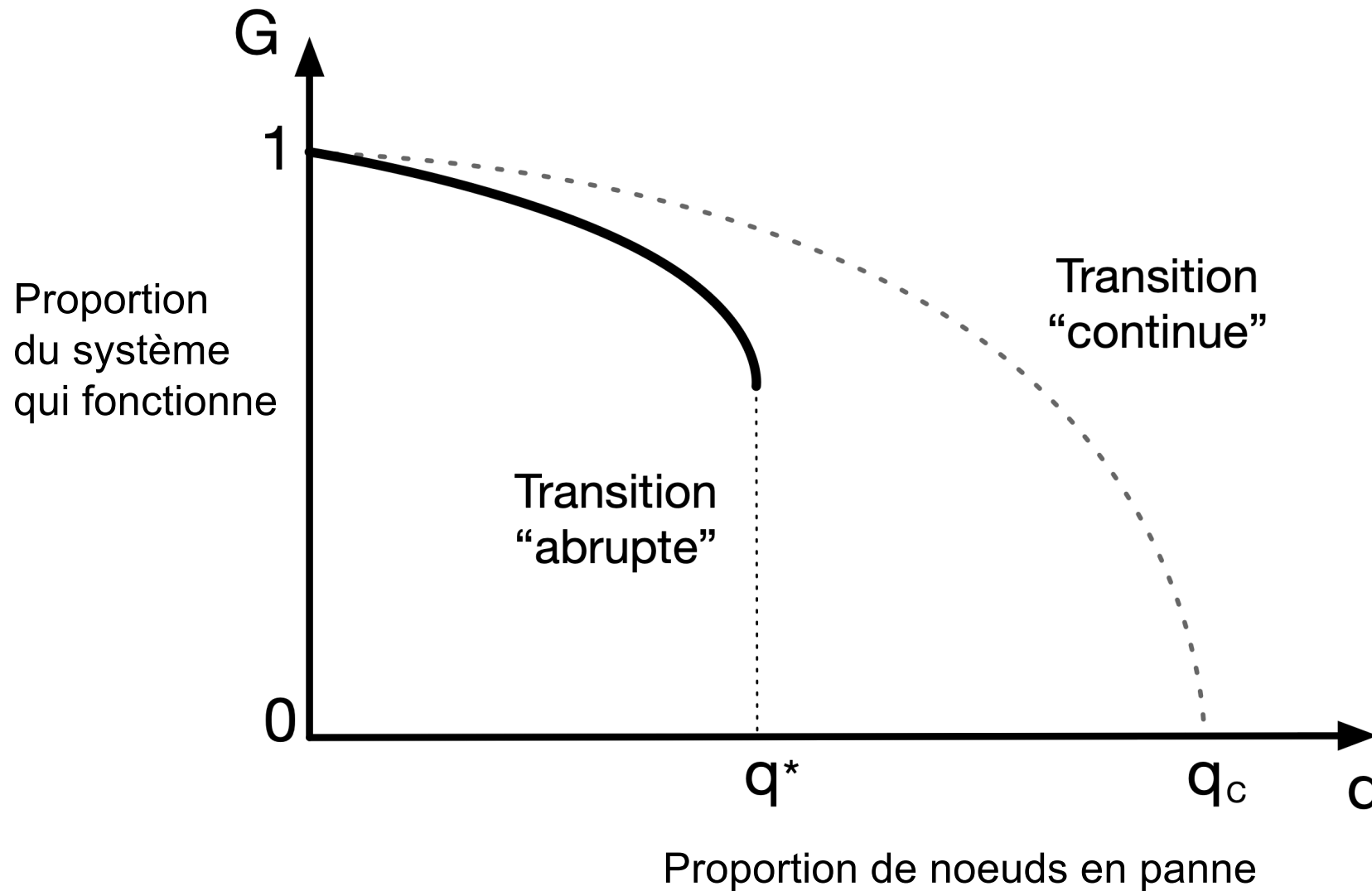


Réseaux couplés: fragilité

La plupart des réseaux sont couplés entre eux



Effet du couplage: fragilité



Discussion

- Les réseaux constituent un outil très puissant d'analyse de nombreux phénomènes
- En particulier pour étudier les transports:
 - effet de l'intermodalité
 - résilience
 - optimisation
 - trafic automobile (points de congestion, etc.)
 - ...
- Point crucial: disponibilité des données

Merci pour
votre attention.

<http://www.quanturb.com>
marc.barthelemy@ipht.fr



Odile Jacob 2023