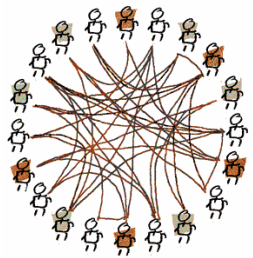
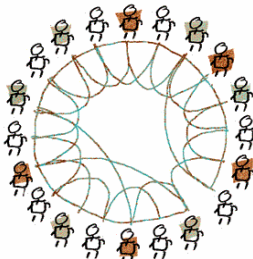
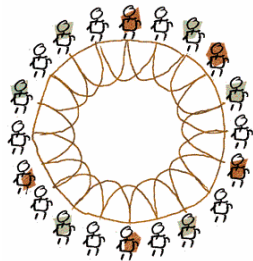


Dynamiques spatiales de maladies infectieuses et géométrie du réseau d'interactions



Hélène Broutin¹

Marc Choisy¹

Eric Elguero¹

Alain Franc²

Jean-François Guégan¹

Nathalie Peyrard³

Benjamin Roche¹

¹GEMI – CNRS/IRD Montpellier

²BioGeCo – INRA Bordeaux

³UBIAT – INRA Toulouse

Plan

Partie 1

Dynamique d'une infection

Dynamique spatiale

Partie 2

Réseaux d'interaction en épidémiologie

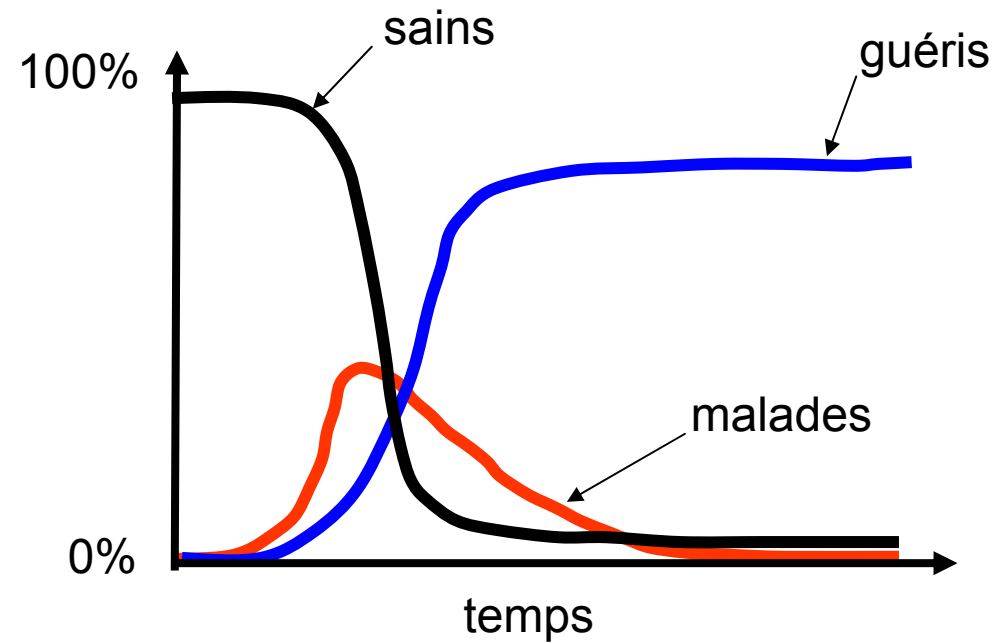
Géométrie d'un graphe

Importance de la prise en compte du spatial
dans un modèle de dynamique épidémiologique

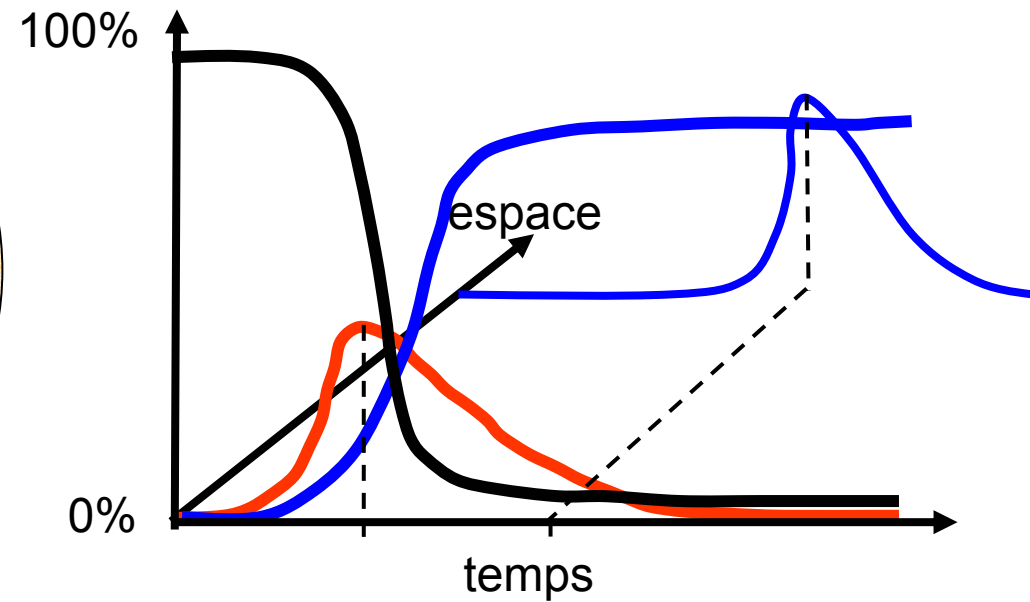
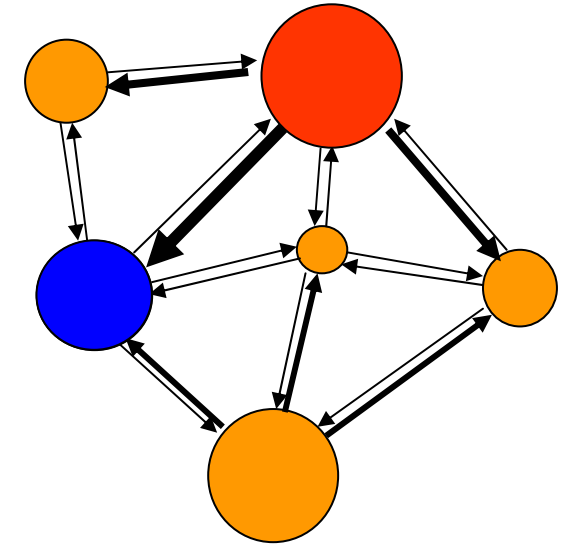
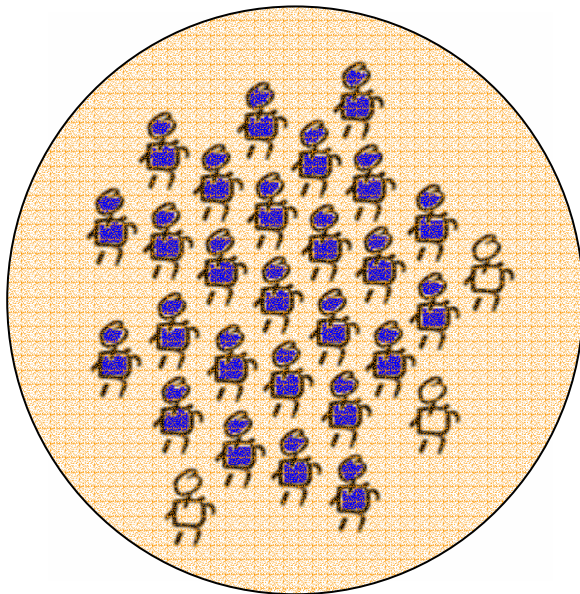
Partie 3

Le projet proposé dans le cadre de ComEvol

De l'infection à la population

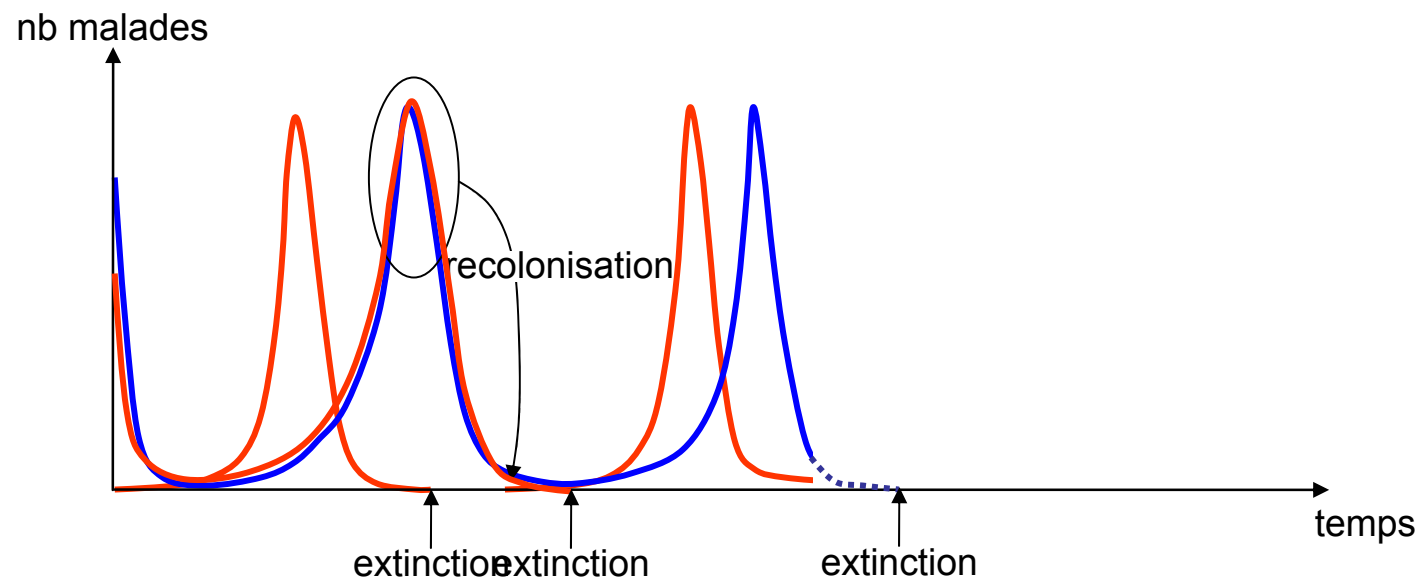
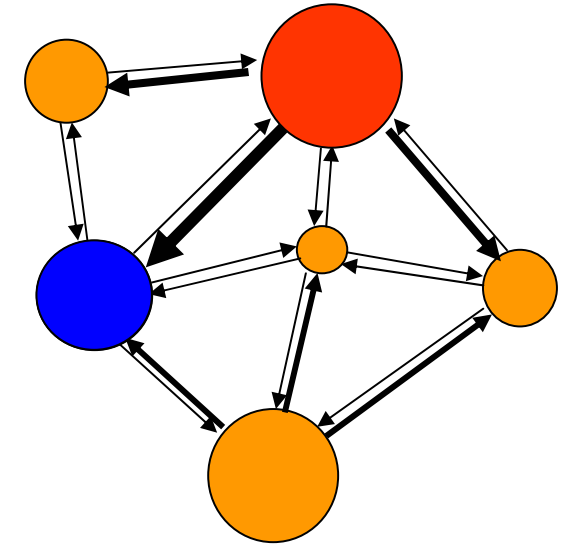


De la population à la métapopulation



De la population à la métapopulation

Synchronie et persistance globale

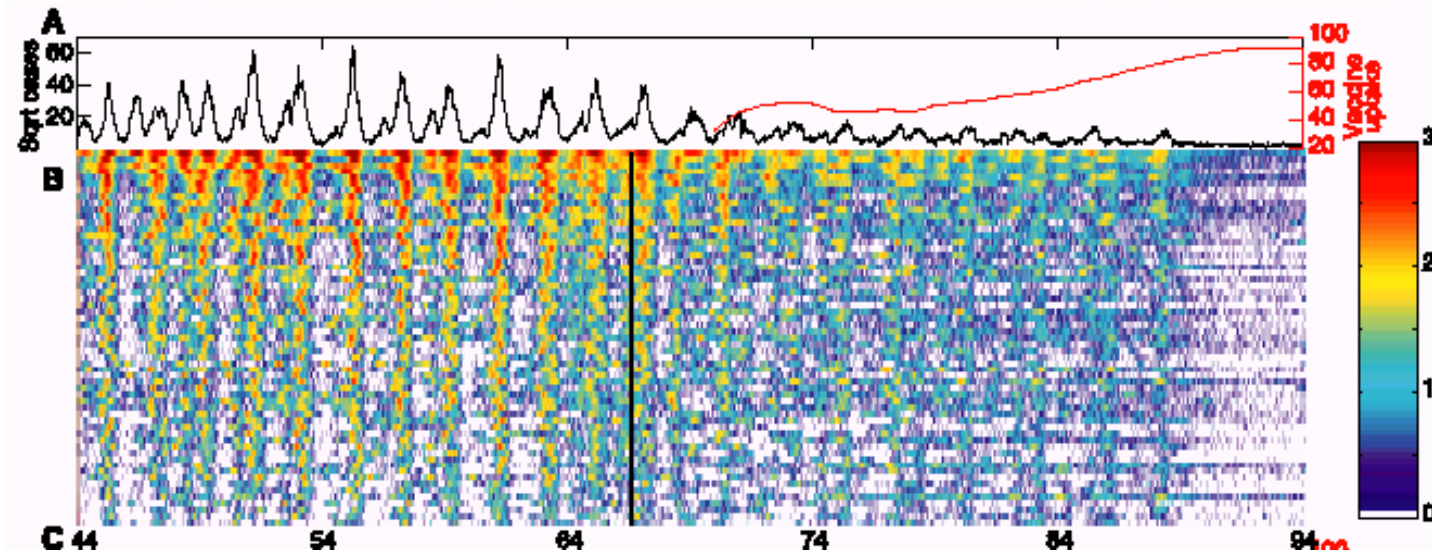
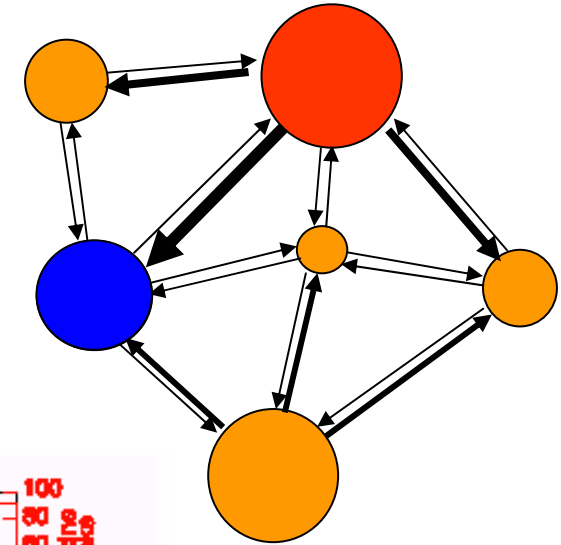


De la population à la métapopulation

Synchronie et persistance globale

Impact de la vaccination

Vaccination de masse



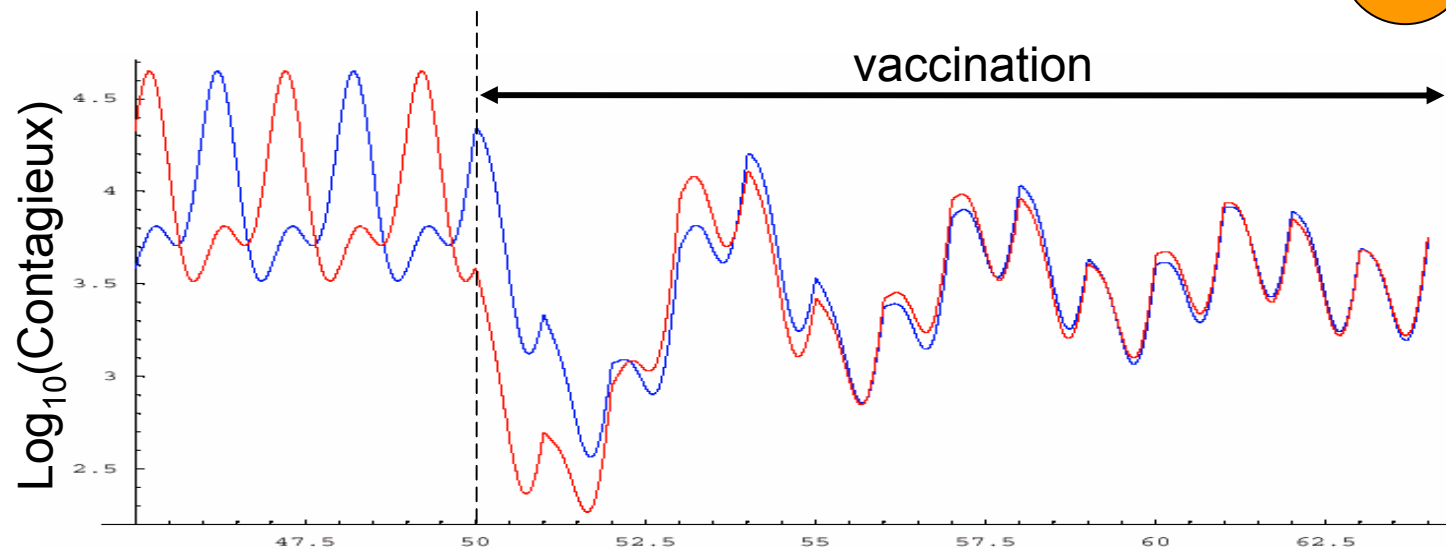
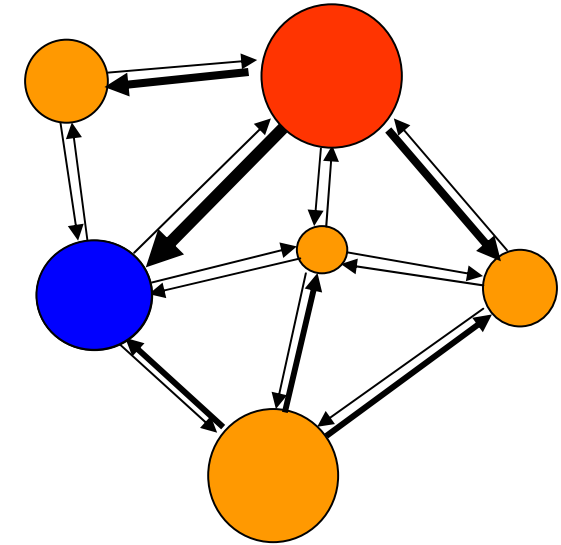
De la population à la métapopulation

Synchronie et persistance globale

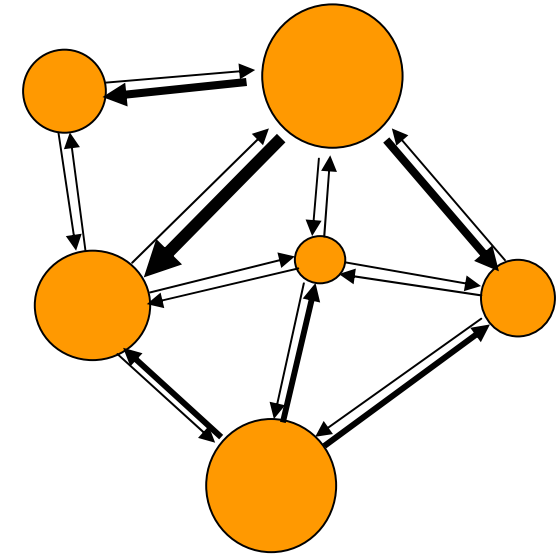
Impact de la vaccination

Vaccination de masse

Vaccination par pulsations



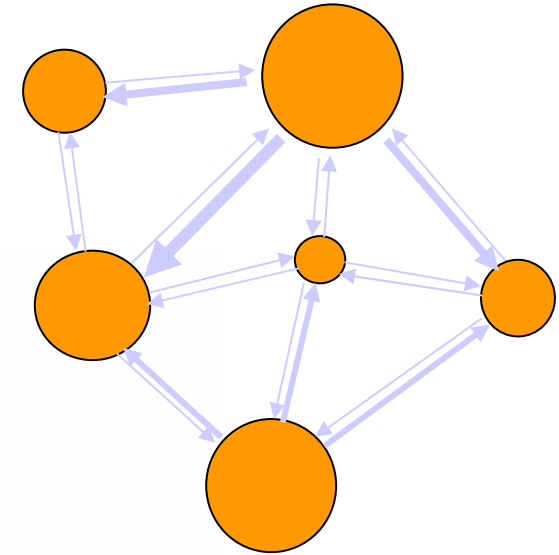
De la population à la métapopulation



Quelles sont les propriétés du réseau qui déterminent la dynamique spatiale de la maladie?

De la population à la métapopulation

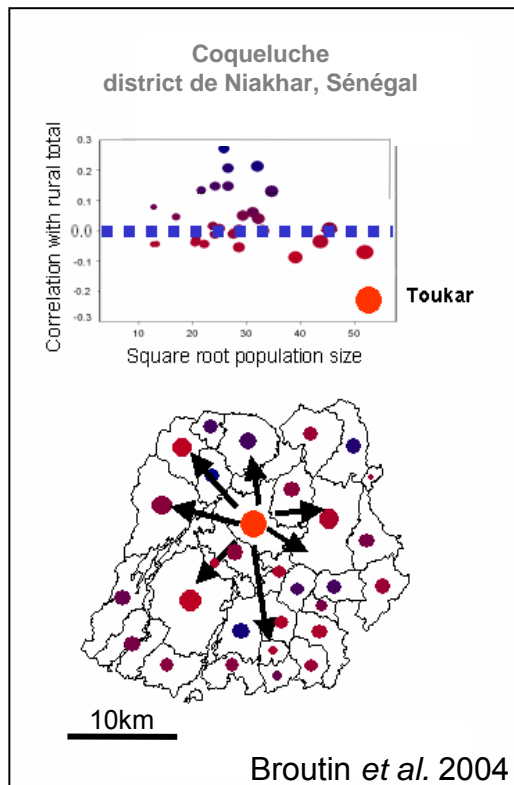
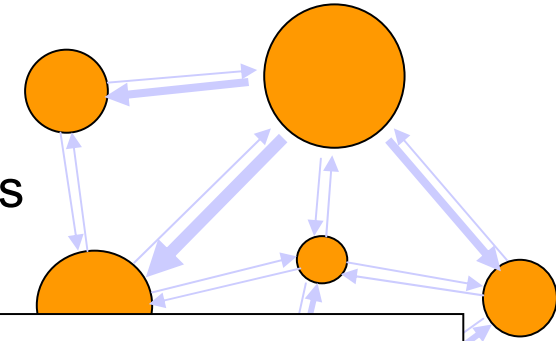
1 – rôle de la taille des populations



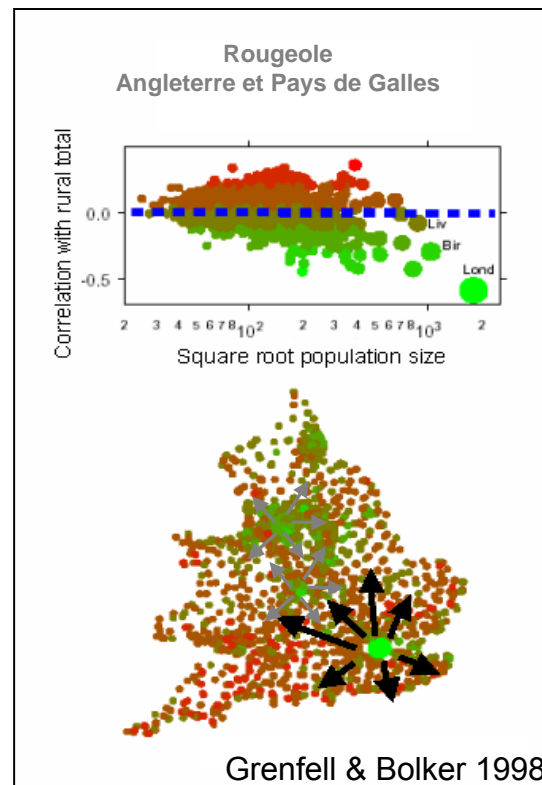
De la population à la métapopulation

1 – rôle de la taille des populations

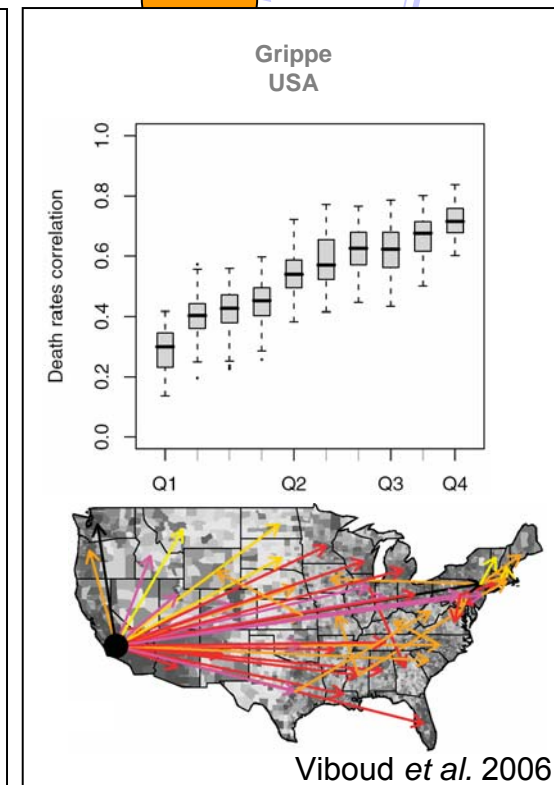
→ une « hiérarchie » dans les dynamiques



Échelle locale



Échelle régionale

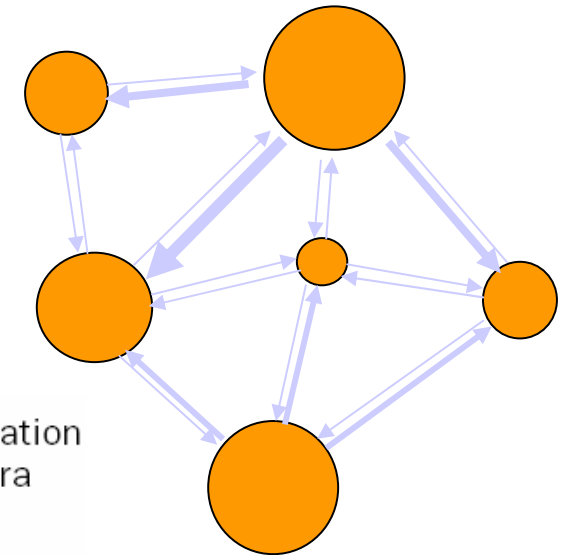
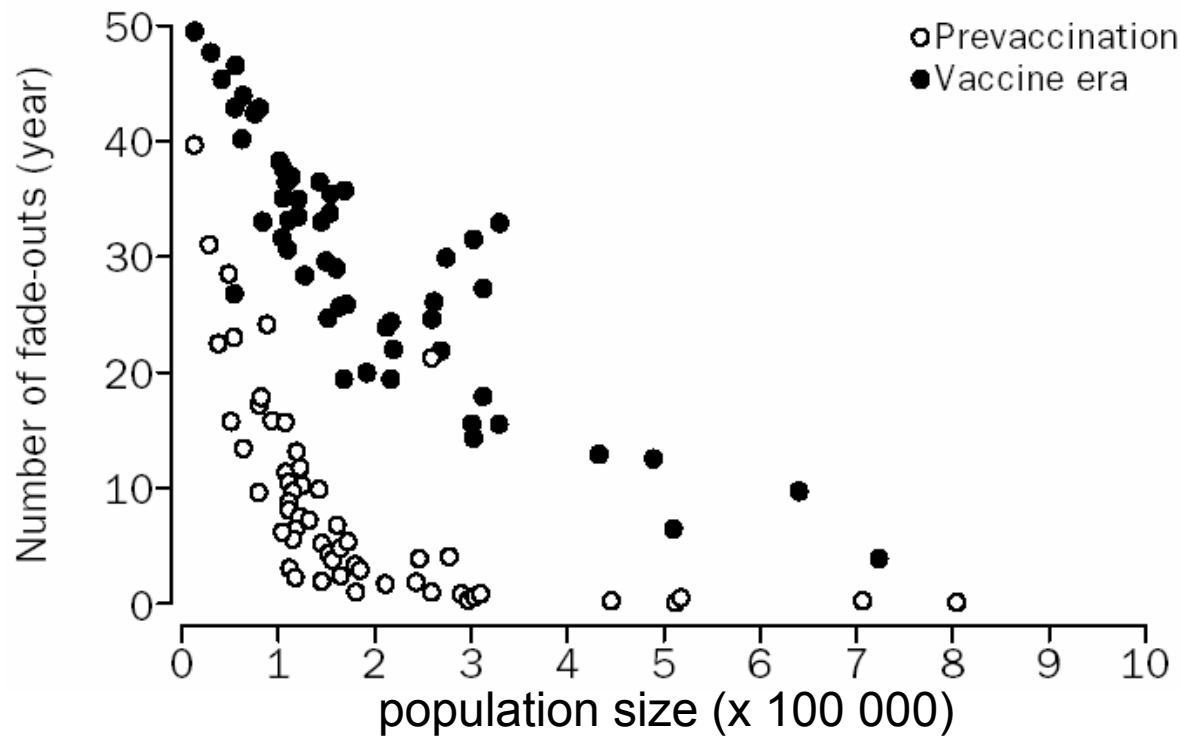


Échelle continentale

De la population à la métapopulation

1 – rôle de la taille des populations

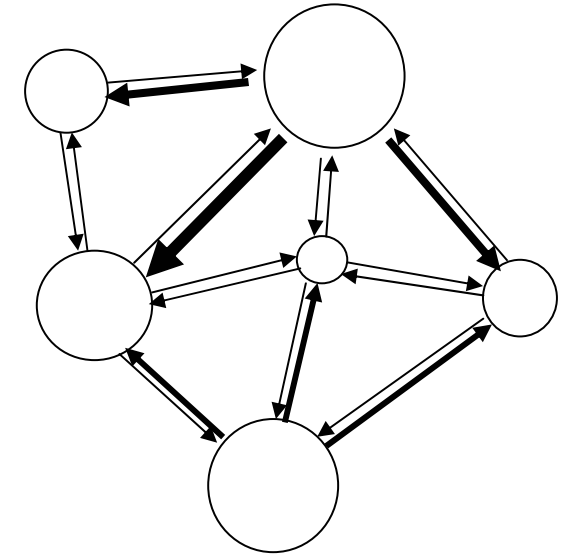
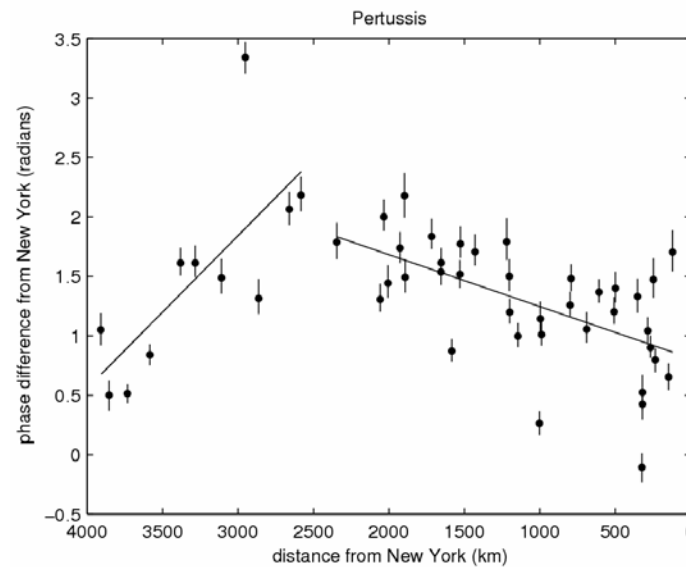
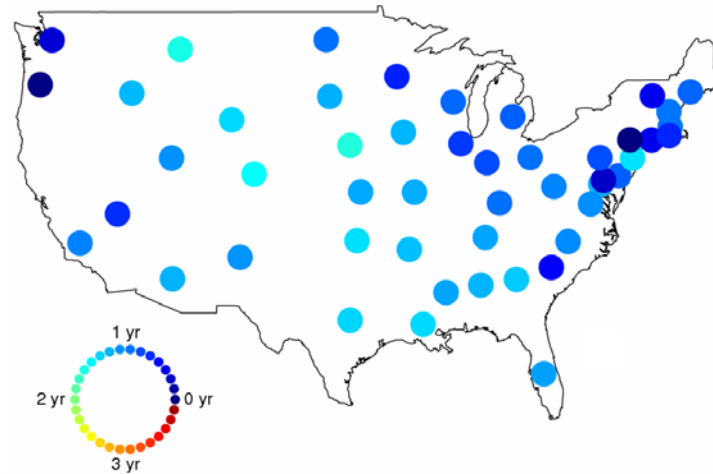
impact de la vaccination



De la population à la métapopulation

2 – rôle de la géométrie du réseau

→ propagation d'ondes épidémiques



Dynamiques épidémiologiques

Dynamique = combinaison de plusieurs effets

- les propriétés de la maladie (virulence)
- Les propriétés de la population (système immunitaire, densité / taille population)
- la géométrie du **réseau d'interaction**

Questions

- quelles sont les caractéristiques du réseau qui influencent l'évolution du processus?
- comment?

Enjeu

- contrôle de l'épidémie par retrait (e.g. vaccination) des individus ou des passages de flux « stratégiques »

Réseau d'interaction en épidémiologie végétale

Maladies telluriques
propagation par contact
racinaires

Armillaire du
pin



Structure spatiale
des hôtes

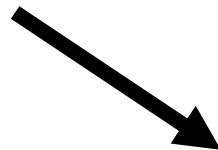


Réseaux d'interaction en épidémiologie humaine

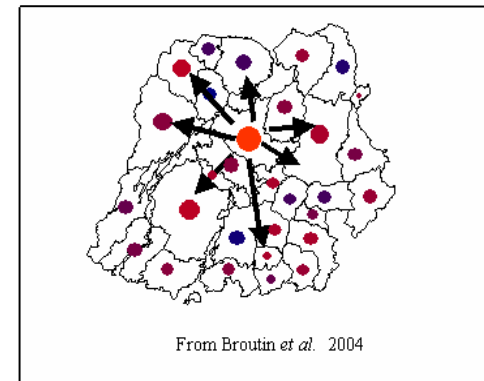
Réseaux techniques



Réseaux aériens



Réseaux routiers



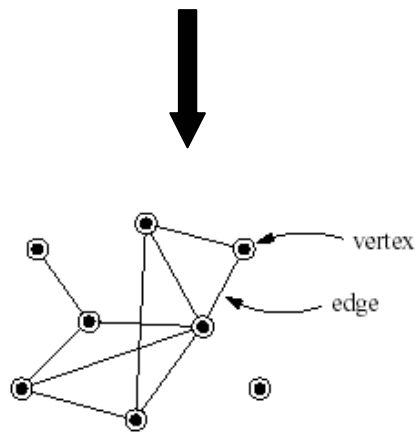
Formalisation : graphes

Sommet = hôte Dynamique résidente

Plante, animal, individu,
champ, habitat, ville, ...

Arête = Flux Flux d'information

Déplacement du pathogène,
vent, transports, vecteur, ...



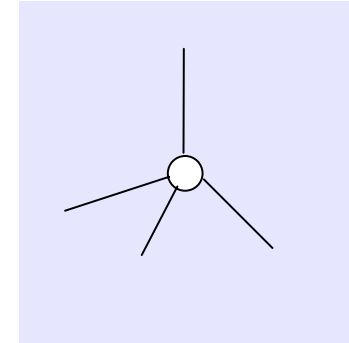
Pas nécessairement de notion
de distance géographique

Descripteurs globaux d'un graphe

(Newman 2003, Albert et Barabasi 2002)

- **Distribution des degrés**

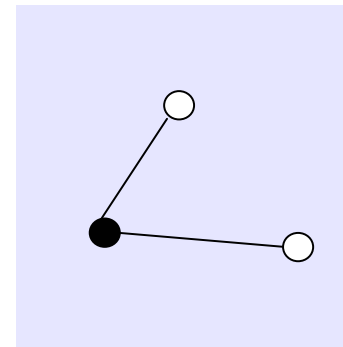
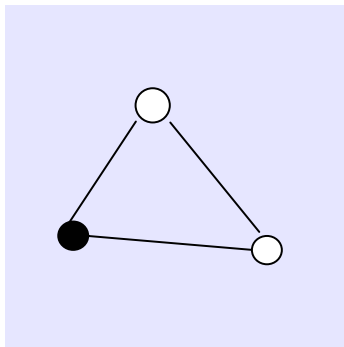
- graphe aléatoire (loi de Poisson)
- graphe en “hubs” (loi puissance)



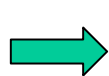
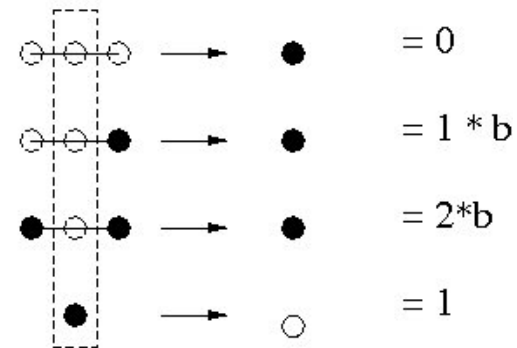
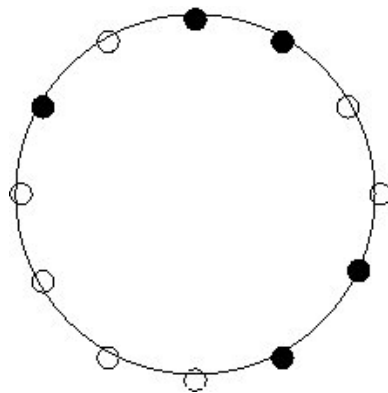
- **Diamètre** : effet *Small World*

- **Corrélation des degrés** : attachement préférentiel

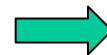
- **Coefficient d'agrégation** : est-ce que deux de mes amis sont amis?



Un exemple simple de processus sur graphe



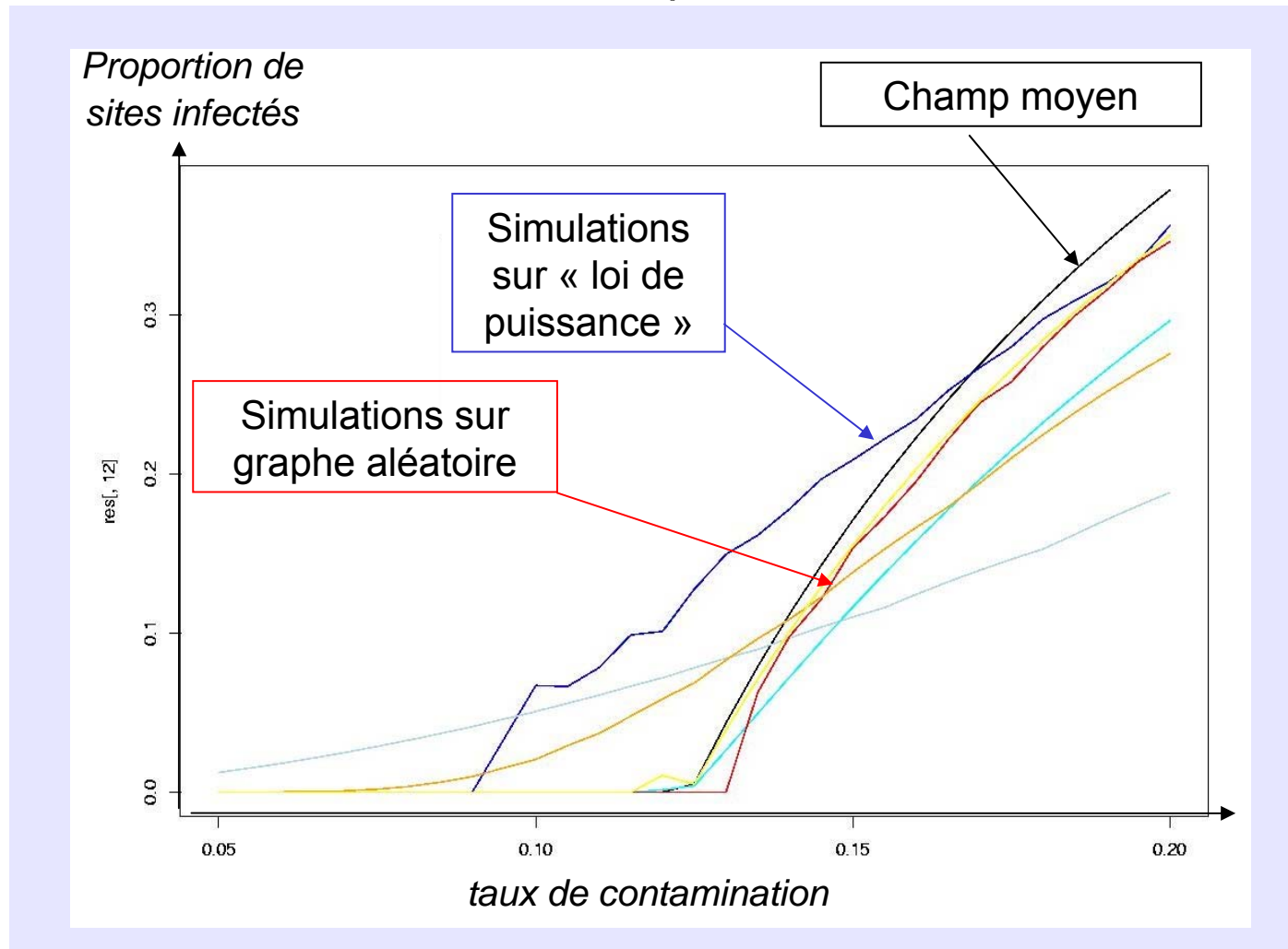
$$\frac{d\rho}{dt} = (1 - \rho)P^{01} - \rho$$



transition de phase :
extinction/persistence

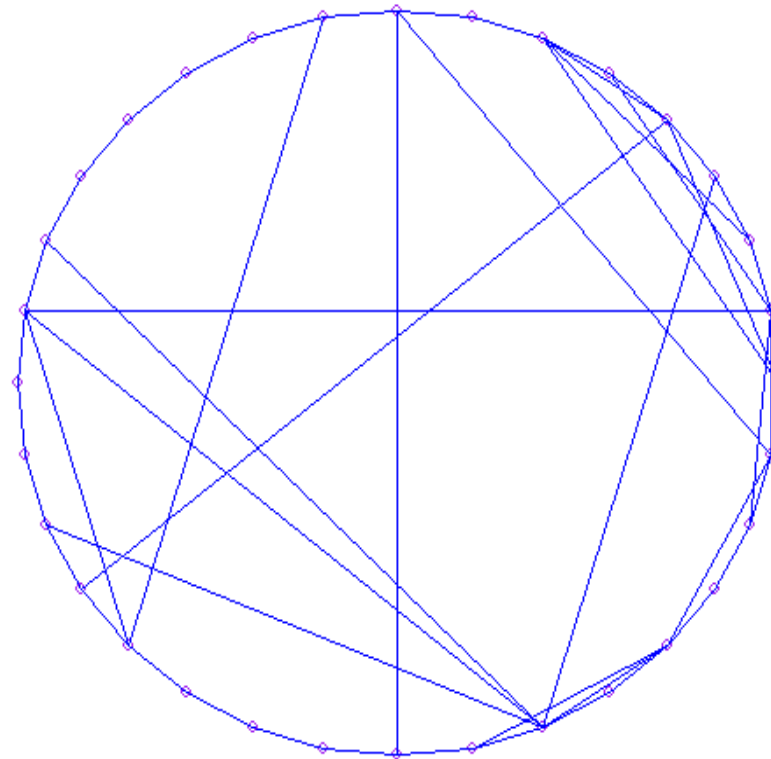
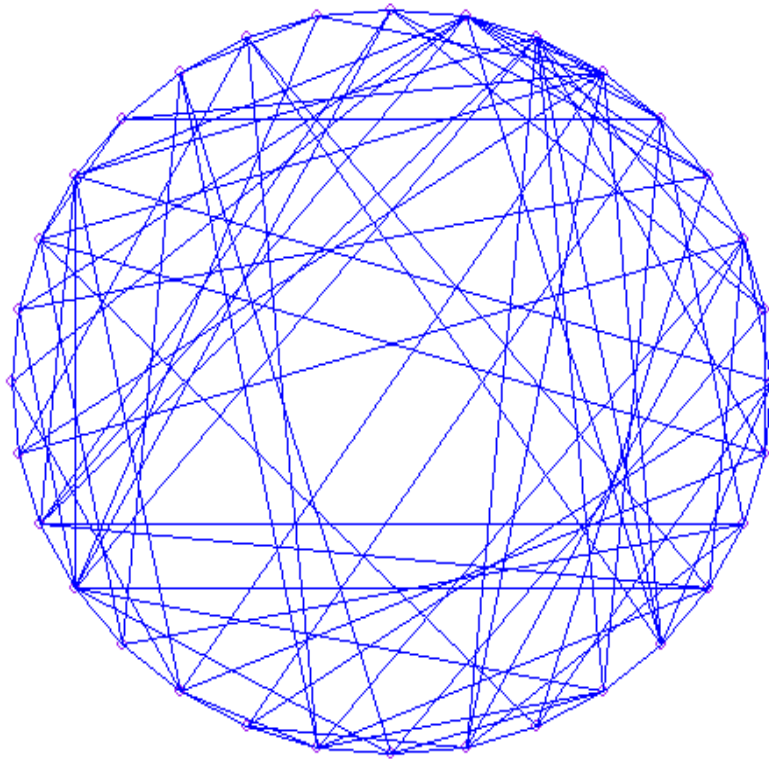
Importance de la composante spatiale

Effet de la distribution des degrés sur la transition extinction/persistence



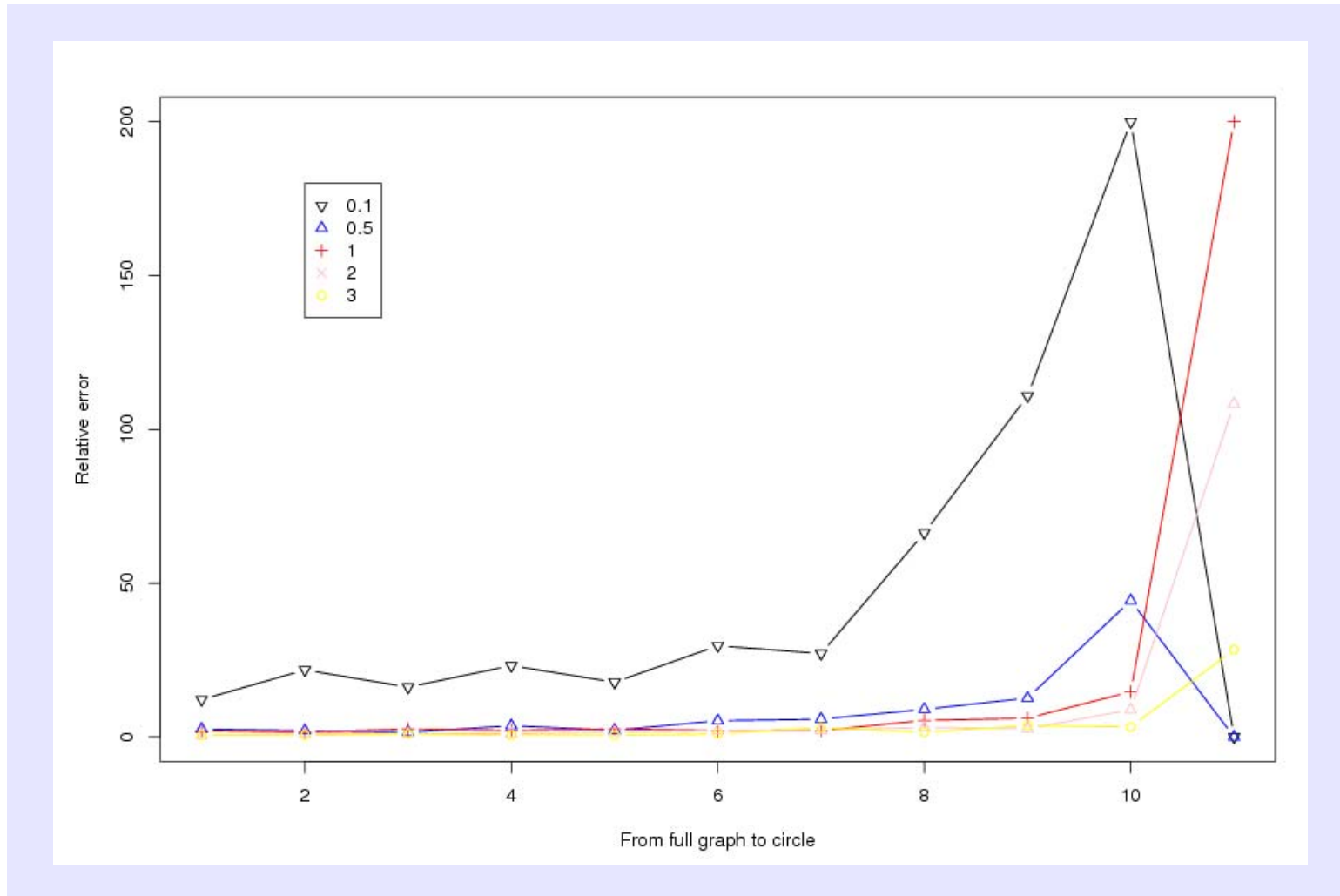
Importance de la composante spatiale

Du graphe totalement connecté vers le cercle ...



Importance de la composante spatiale

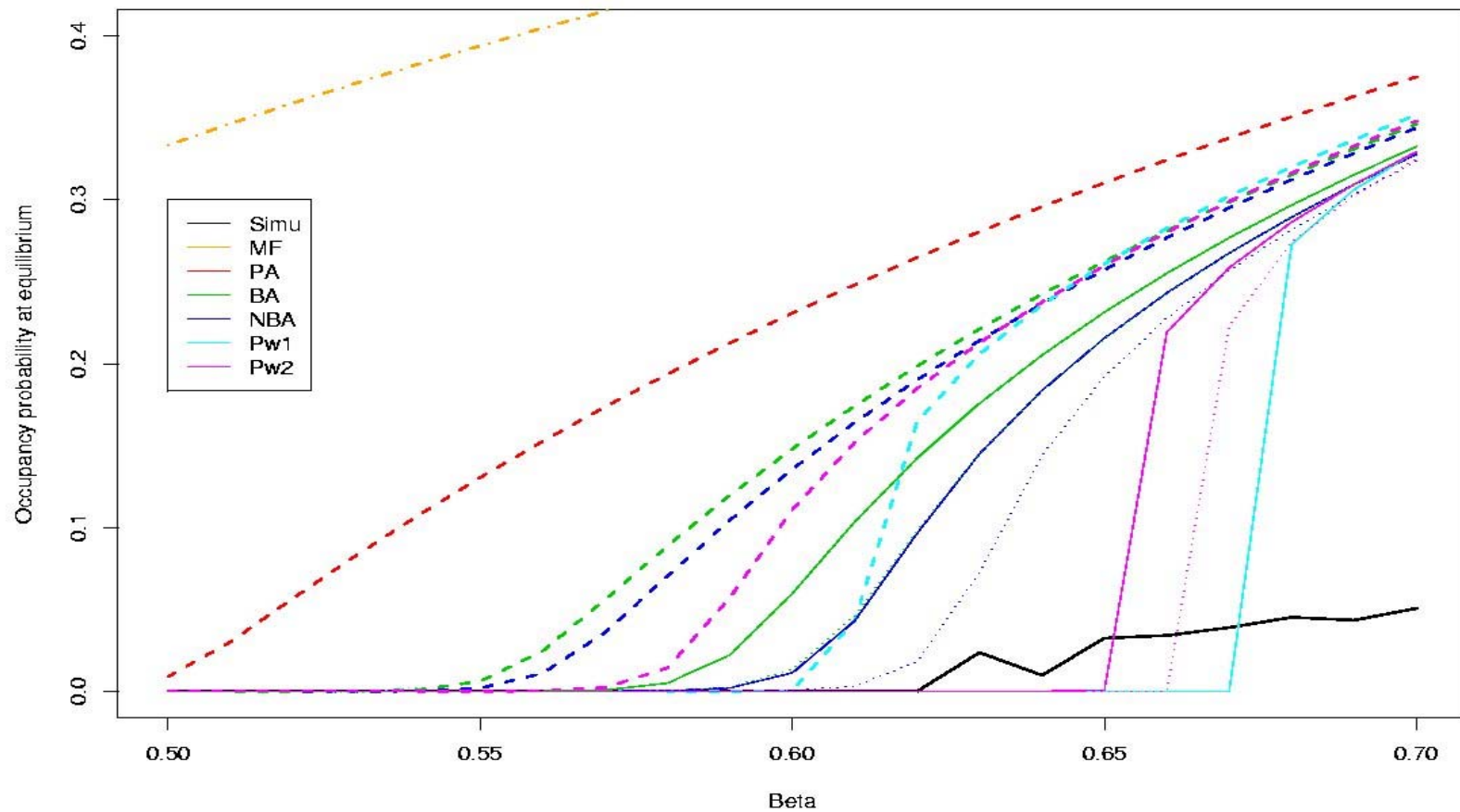
... Limites du champ moyen



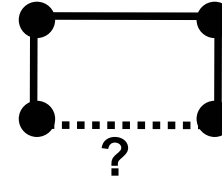
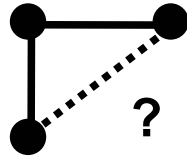
Amélioration des performances du champ moyen

- Intermédiaire entre l'hypothèse d'indépendance (champ moyen = SIS) et le modèle spatialisé exact
- Prise en compte des interactions entre paires d'individus
- Méthodes variationnelles

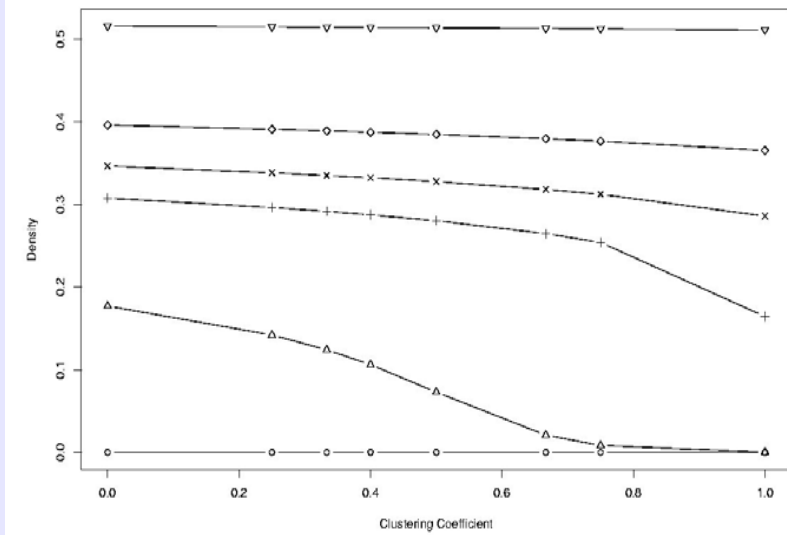
Estimation de la transition de phase



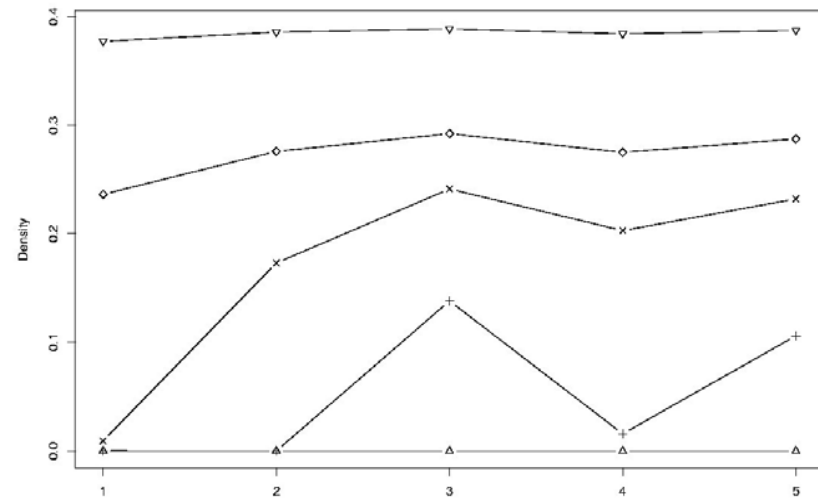
Prise en compte de la structure du réseau



Clustering coefficient



Square coefficients



Projet proposé dans le cadre du GdR ComEvol

Le cas de la coqueluche et de la rougeole

- Coupler
 - les connaissances empiriques sur les dynamiques spatiales de ces deux maladies
 - les connaissances sur les tailles, densités et flux de population
 - les apports récents en théorie des graphes et modélisation par processus par contact
- Pour préciser comment et selon quelles propriétés la structure du réseau d'interaction peut influencer sur la dynamique spatiale

Premières pistes

Formalisation des dynamiques rougeole et coqueluche

- basée sur théorie des graphes et modèles spatialement explicites
- prise en compte réalité des tailles et densités de population et des flux entre villes et villages
- extension du modèle processus de contact : liens valués

Reproduction de la dynamique cyclique Ville-Villages

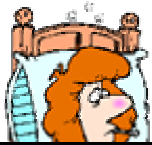
- seul effet du graphe : peu probable
- forçage? (vacances, latence, arrivée de nouveaux cas extérieurs)

Exploration de **l'influence potentielle de la géométrie du réseau**

- sur la taille de l'épidémie
- sur l'efficacité/le choix des stratégies de vaccination

Interférence « écologique » entre maladies

Interférence entre maladies sur un réseau de populations



1 – Est-ce que la propagation spatiale d'une maladie peut influencer la propagation spatiale d'une autre maladie?

2 – Est-ce qu'une politique vaccinale contre une maladie peut modifier sa dynamique spatiale et la dynamique spatiale d'une autre maladie?

