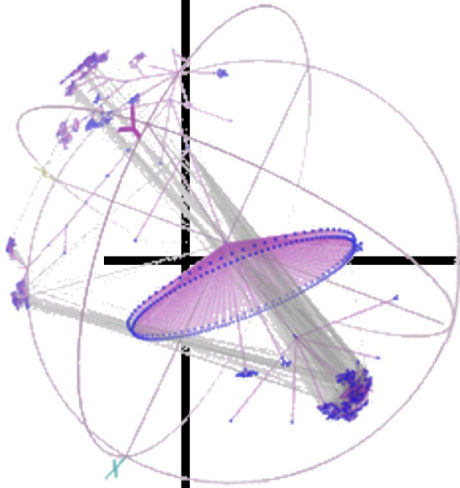


# Métrologie pour l'Internet.



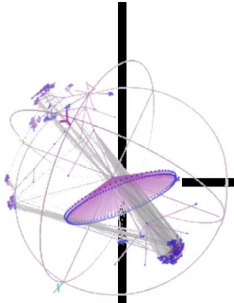
Jean-Loup Guillaume

Journées Franciliennes de Recherche  
Opérationnelle

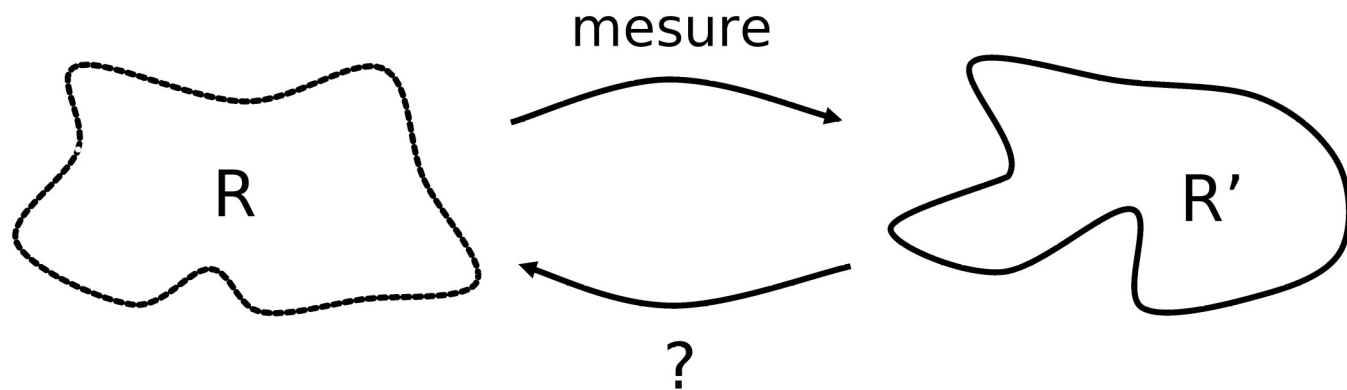
# Connaître le réseau ?

## Obtenir une carte de l'Internet

- Gestion globale du réseau :
  - Maintenance, évolution, sécurisation, ...
- Positionnement :
  - A qui se raccorder.
- Algorithmique dédiée :
  - Routage, multicast, ...
- Modélisation, simulation.

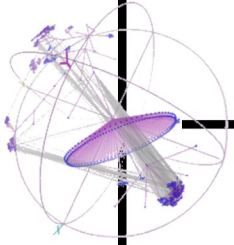


## Évaluer la qualité des cartes de l'Internet.

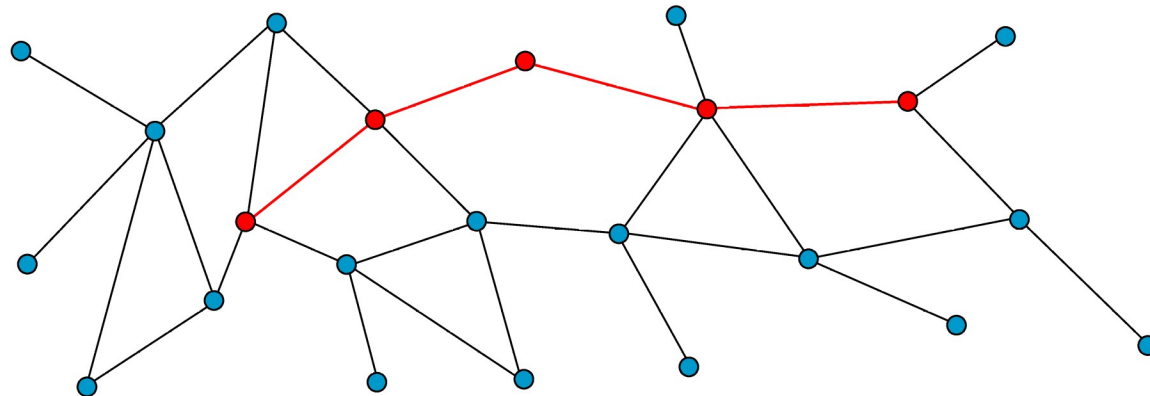


- Biais introduit par la mesure.
- Que peut-on déduire sur R à partir de R'?
- Définition de nouveaux protocoles de mesure.

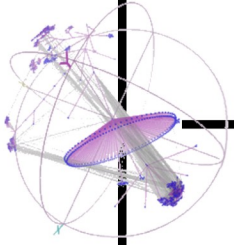
# Mesure de l'Internet



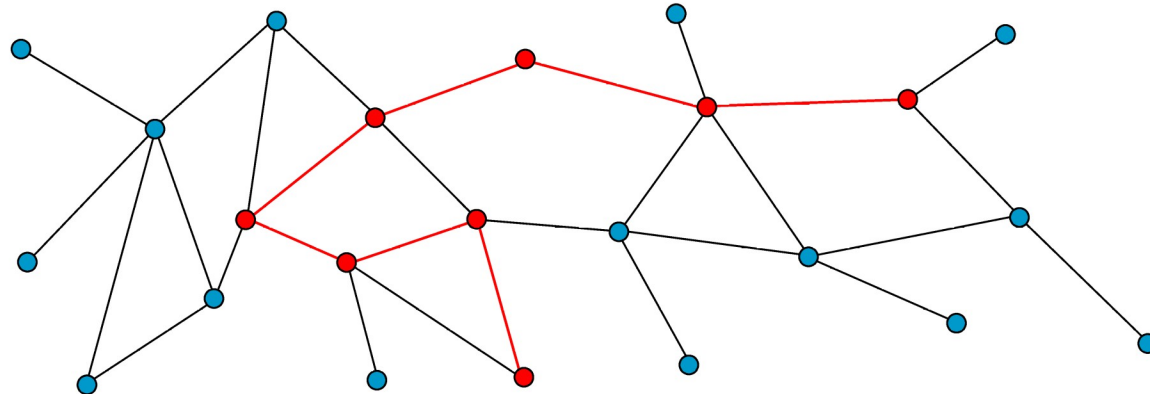
- Processus de mesure :
  - Traceroute ~ (plus courts) chemins.
  - Différentes sources et destinations.



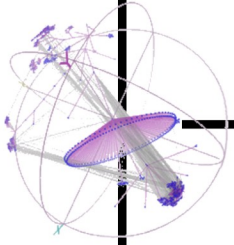
# Mesure de l'Internet



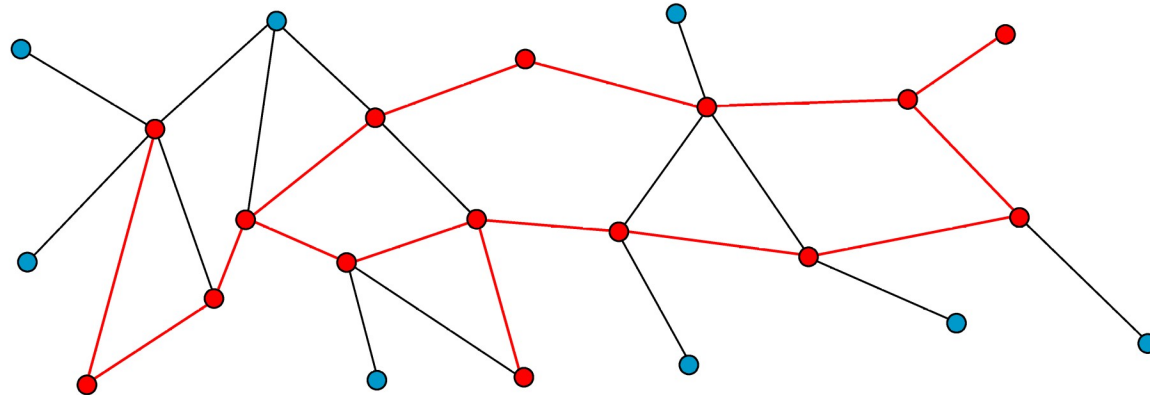
- Processus de mesure :
  - Traceroute ~ (plus courts) chemins.
  - Différentes sources et destinations.

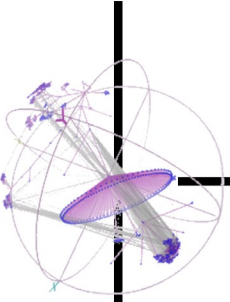


# Mesure de l'Internet



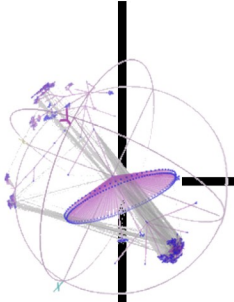
- Processus de mesure :
  - Traceroute ~ (plus courts) chemins.
  - Différentes sources et destinations.





- Un réseau à explorer :
  - Graphe aléatoire :
    - Modèle Gnp de Erdős et Rényi.
  - Distribution de degrés hétérogène :
    - Modèle configurationnel.
  - Réseaux avec une forte densité locale :
    - Modèle de Dorogovtsev-Mendez ;
    - Modèle biparti.
  - ...

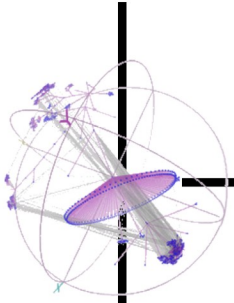
# Modélisation (2)



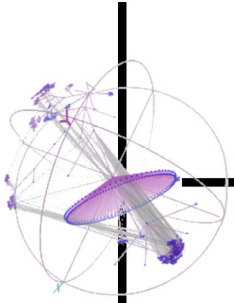
- Un réseau à explorer :
- Traceroute :
  - > donne un chemin (court) sur Internet
  - Un plus court chemin :
    - Au hasard (Rsp), toujours le même (Usp);
    - Poids sur les liens...
  - Tous les plus courts chemins (Asp).
  - Plusieurs plus courts chemins.
  - Chemins plus longs.
  - ...



# Modélisation (3)

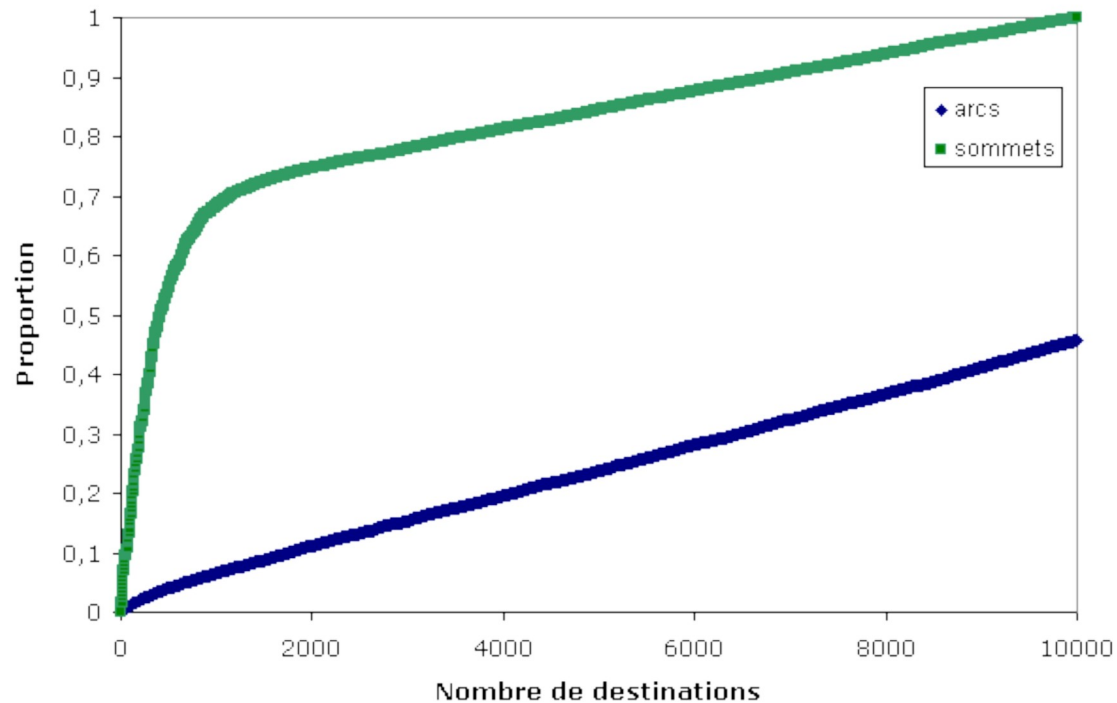


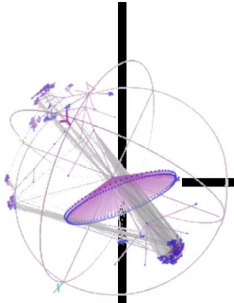
- Un réseau à explorer :
- Traceroute :
- L'exploration :
  - Traceroute est utilisé plusieurs fois de plusieurs endroits.
  - En pratique :
    - Quelques sources
    - De nombreuses destinations



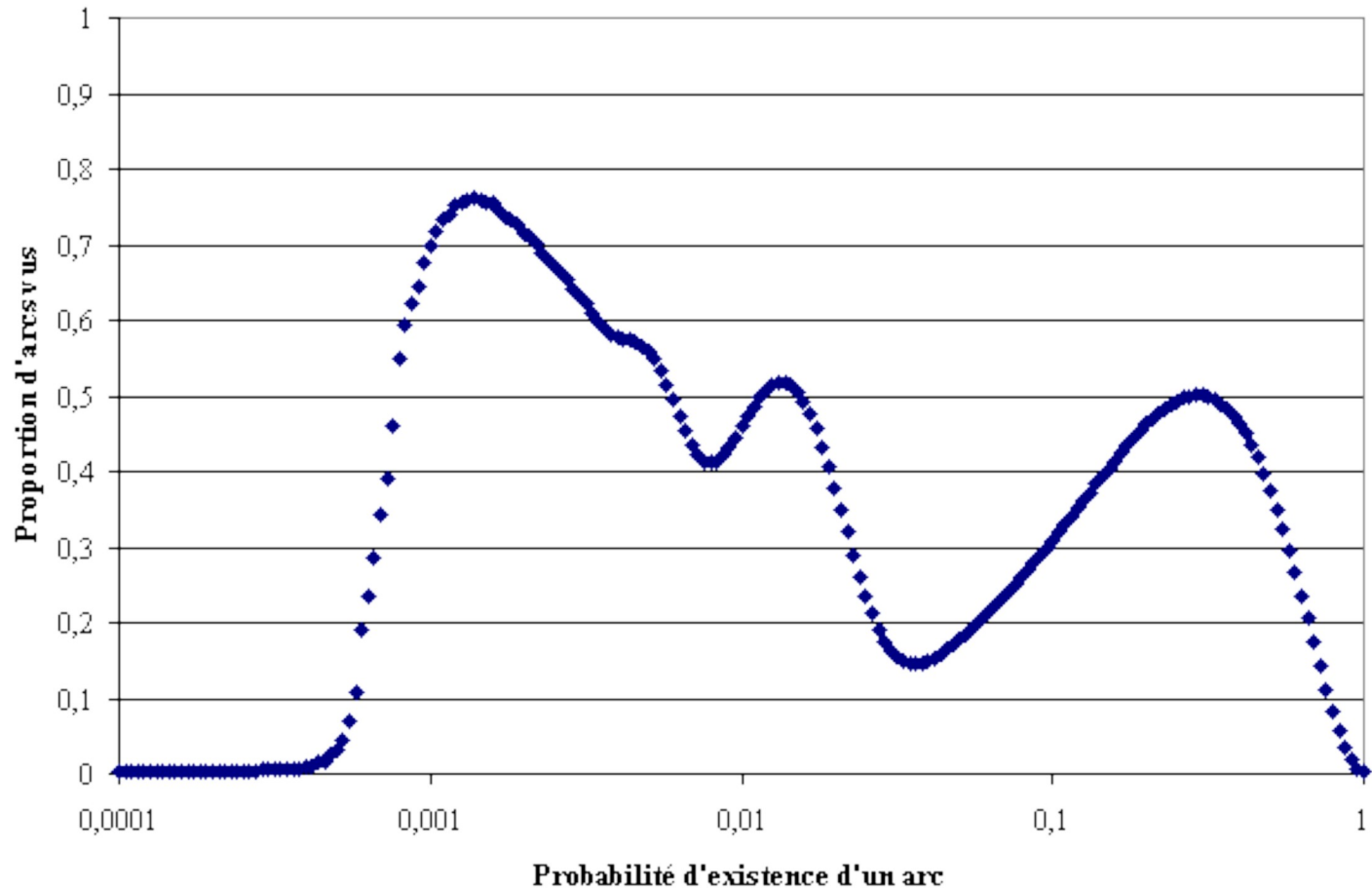
# Une source - k destinations

- Graphe aléatoire - Asp :
  - découverte des arcs linéaire ( $p=0.008$ )

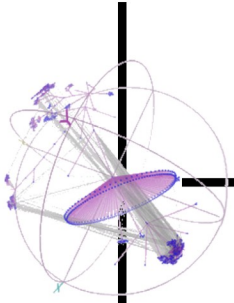




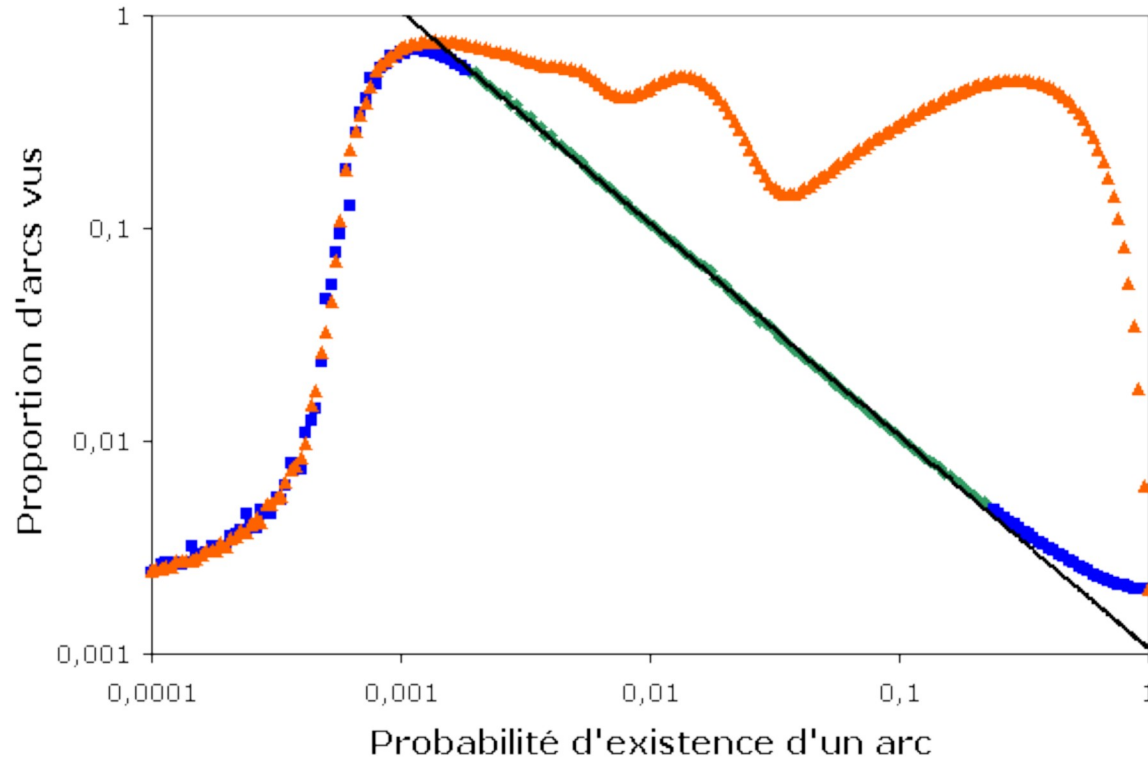
# Tous les plus courts chemins



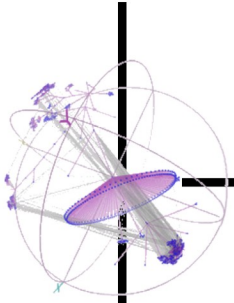
# Un plus court chemin



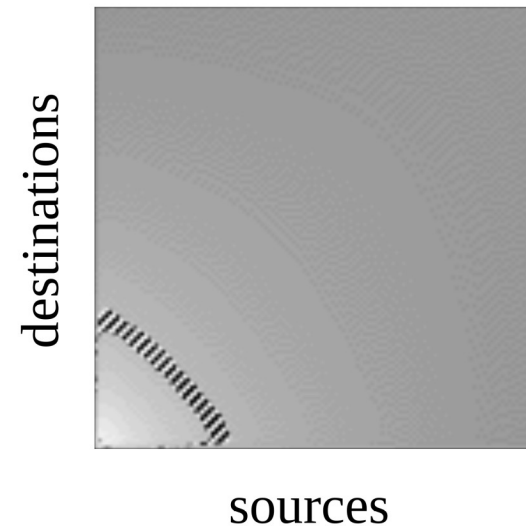
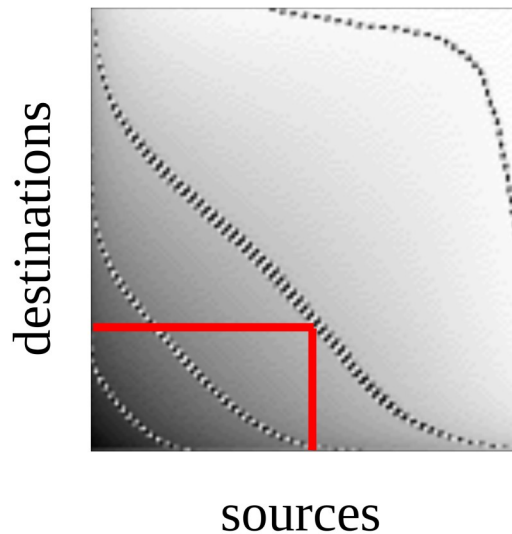
- Décroissance inversement linéaire.
  - Moins performant que Asp.

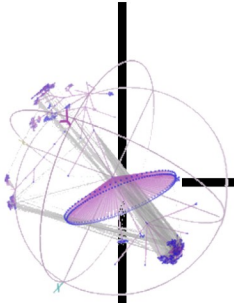


# Plusieurs sources



- Hypothèses simples :
  - Divers modèles graphes/traceroute
  - Aucune restriction sur le nombre de sources et destinations



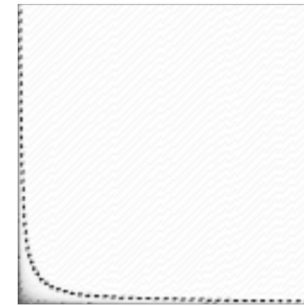
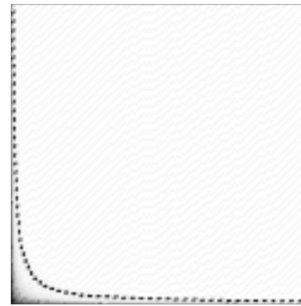
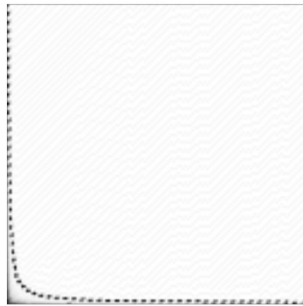


# Graphe aléatoire

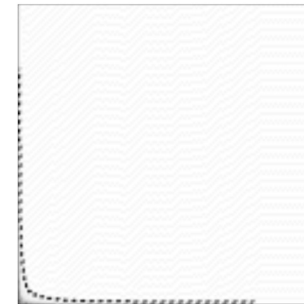
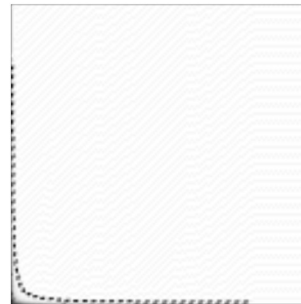
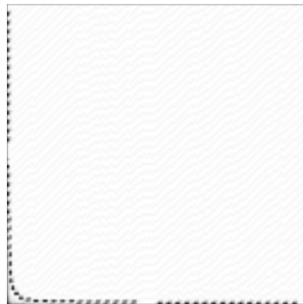
sommets

liens

degré



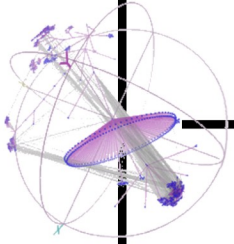
N=10k  
USP



N=10k  
ASP

Degré moyen faible (10) : **peu de courts chemins**

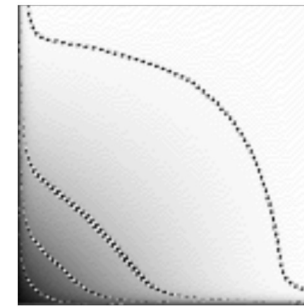
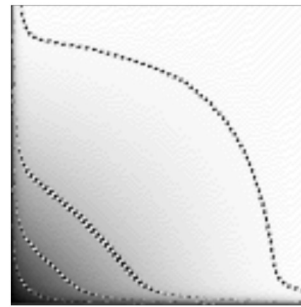
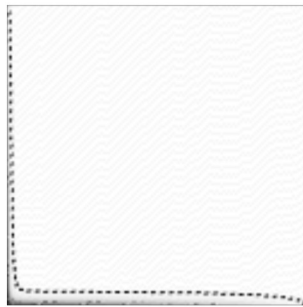
# Graphe aléatoire (2)



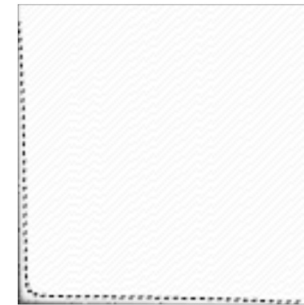
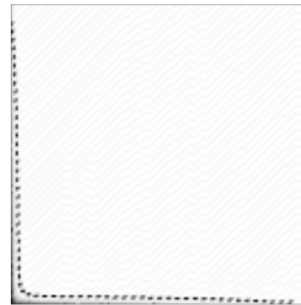
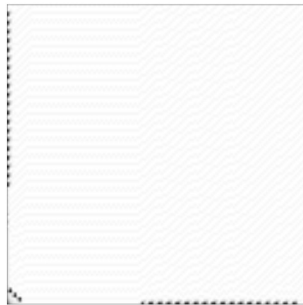
sommets

liens

degré



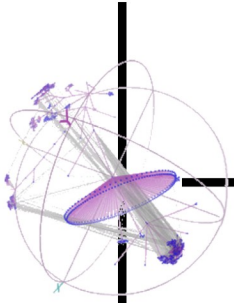
N=10k  
USP



N=10k  
ASP

Degré moyen élevé (100) : **nombreux courts chemins**

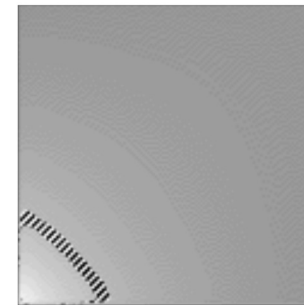
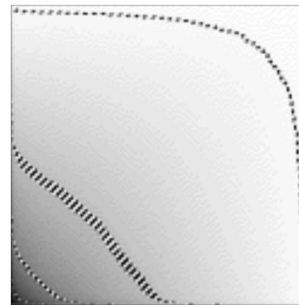
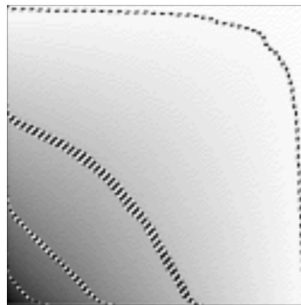
# Degrés hétérogènes



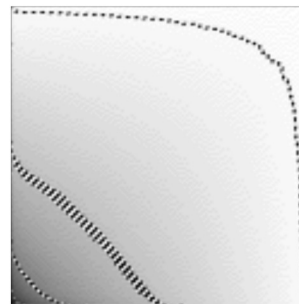
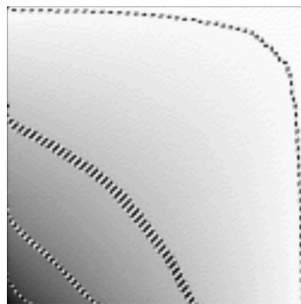
sommets

liens

degré



N=10k  
USP

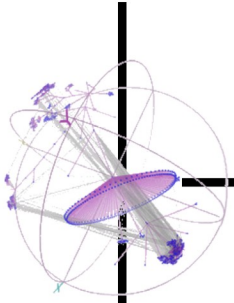


N=10k  
ASP

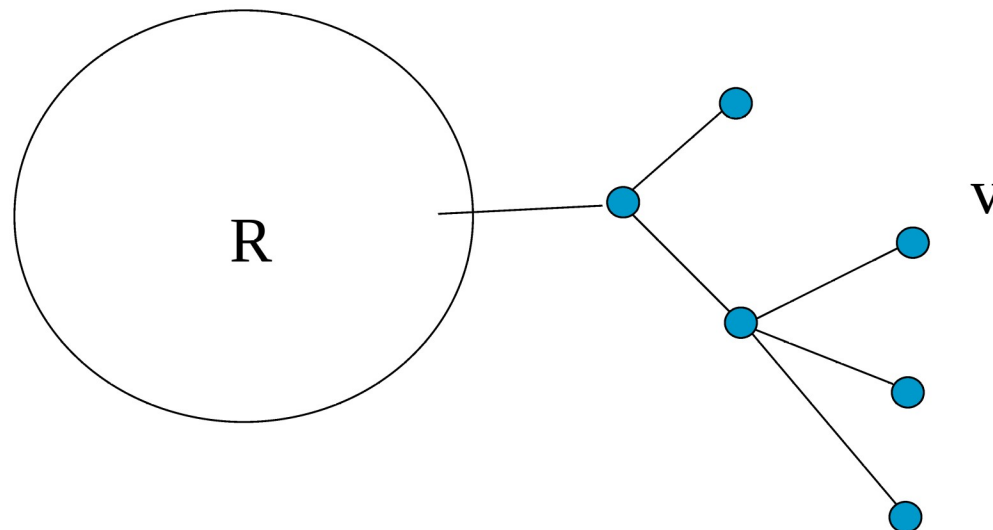
nombreux sommets de très faible degré



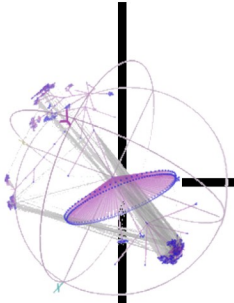
# Sommets de faible degré



- Un lien de  $R$  à  $v$  est découvert si :
  - $v$  est une source ou une destination.
- Structures arborescentes.



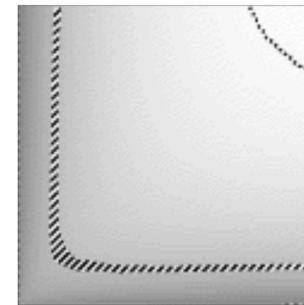
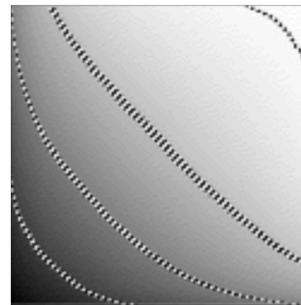
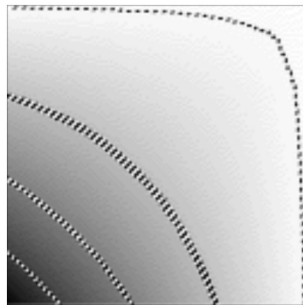
# Densité locale élevée



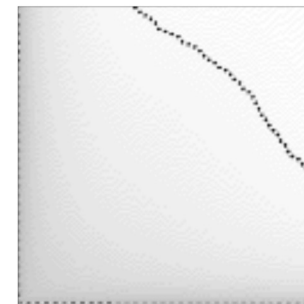
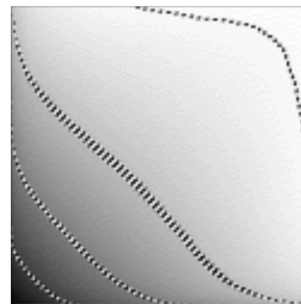
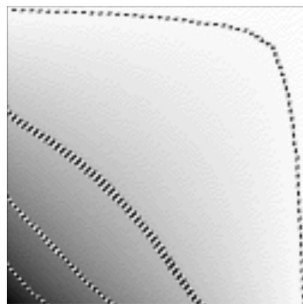
sommets

liens

degré



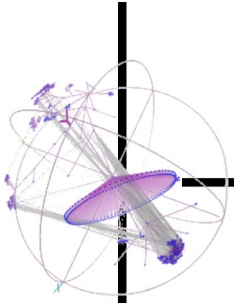
N=10k  
USP



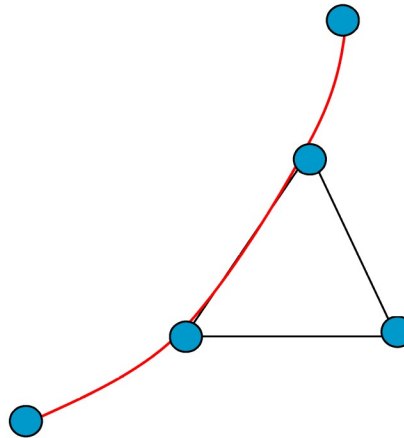
N=10k  
ASP

Pas de nœuds de faible degré mais nombreux triangles

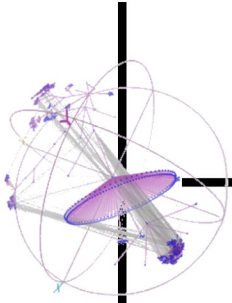
# Sous-graphes denses



- Les cliques sont dures à explorer avec des plus courts chemins.
  - $k(k-1)/2$  chemins pour une  $k$ -clique.



# Conclusions



- Deux phénomènes concurrents :
  - Cœur du réseau est localement dense ;
  - Structures arborescentes.
  
- Sur Internet :
  - On observe ces deux phénomènes ;
  - Autres propriétés ?
  
- Aller plus loin :
  - Modélisation plus fine :
    - Autres modèles de graphes ;
    - Traceroute plus réaliste (presque ppc, ...) ;
    - Graphes réels.
  - Preuves.
  - Autres types d'exploration (Web : bfs).