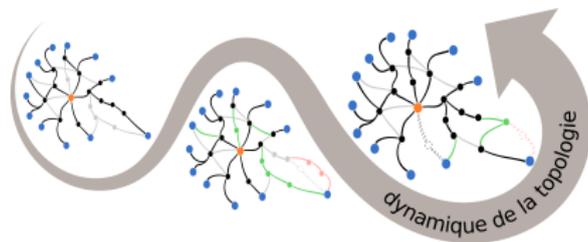


Analyse empirique et modélisation de la dynamique de la topologie de l'Internet

Sergey Kirgizov

Complex Networks \subset LIP6 \subset (UPMC \times CNRS)



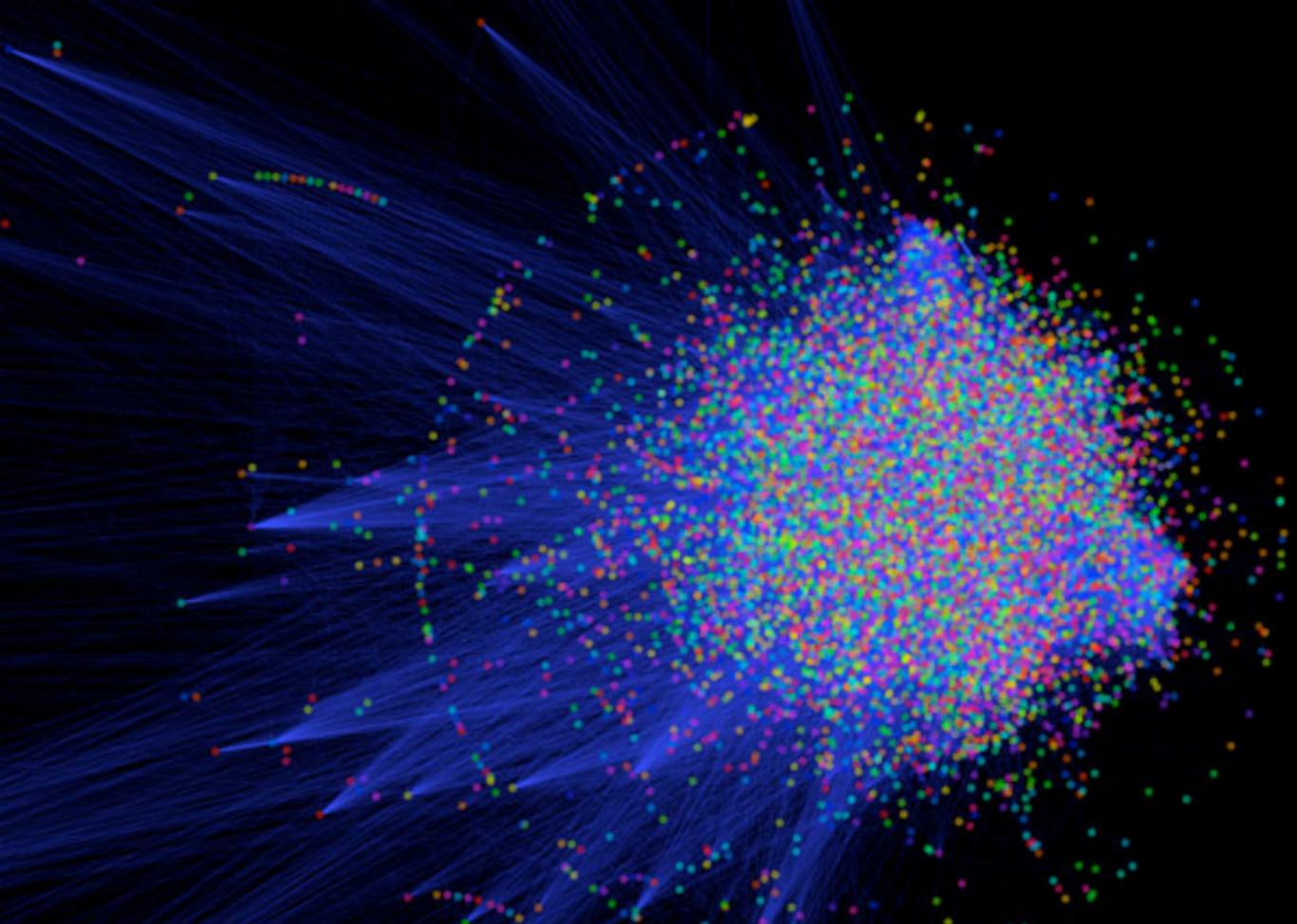
Dijon, Novembre 2014

Outline

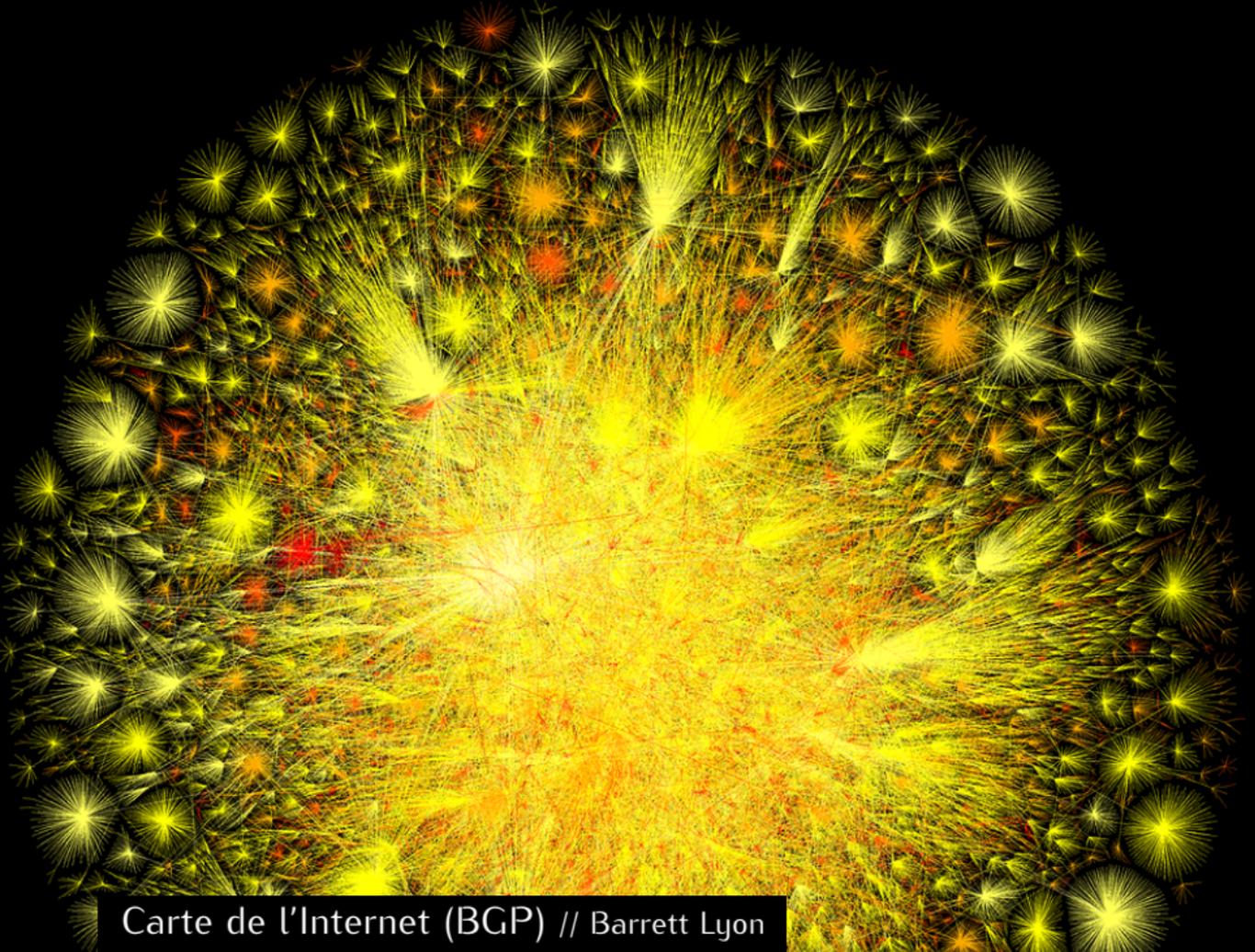
- 1 Introduction
- 2 Mesures égo-centrée
- 3 Modèle
- 4 Caractérisation de la dynamique
- 5 Sous-graphe des plus courts chemins
- 6 Dynamique réelle et dynamique observée
- 7 Mes projets annexes

Introduction :

réseaux complexes, topologie de l'Internet,
dynamique de la topologie



Réseaux d'interactions protéine-protéine // Keiono & Andrew Garrow



Carte de l'Internet (BGP) // Barrett Lyon

Internet

...

Twitter, Facebook, Wikipedia

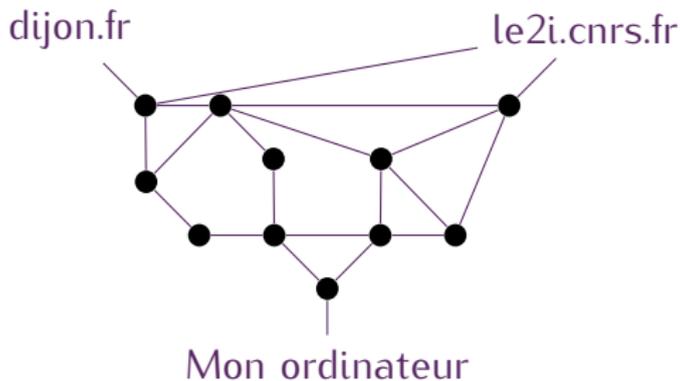
WWW

Niveau IP

Niveau physique

...

Topologie au niveau IP



Nœuds : adresses IP des ordinateurs

Liens : connections IP

Étude de la topologie de l'Internet

Pas de carte officielle de l'Internet

Une carte statique ?

Mesures longues et coûteuses;
Biais sur la structure observée. } \implies Pas de carte fiable

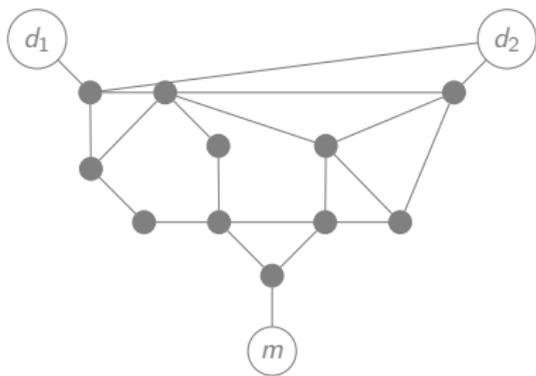
Étude de la dynamique ?

Tous les problèmes statiques;
Changements de chemins. } \implies Pas si facile

Mesures égo-centrée :

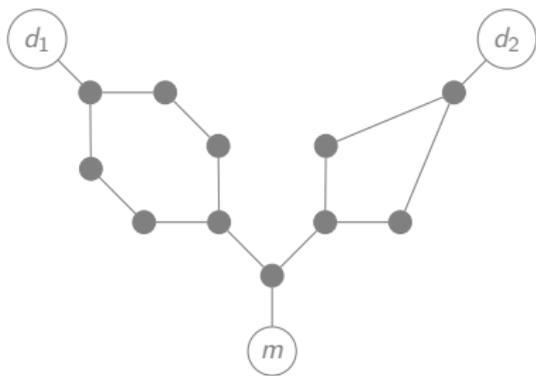
Routes entre un moniteur et plusieurs destinations fixes

Vues ego-centrées



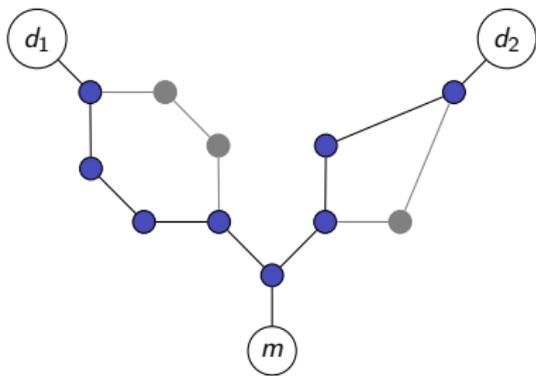
Carte complète

Vues ego-centrées



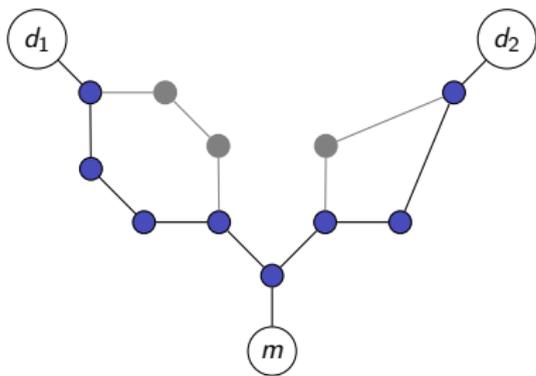
(Plus courtes) routes entre un moniteur et destinations

Vues ego-centrées



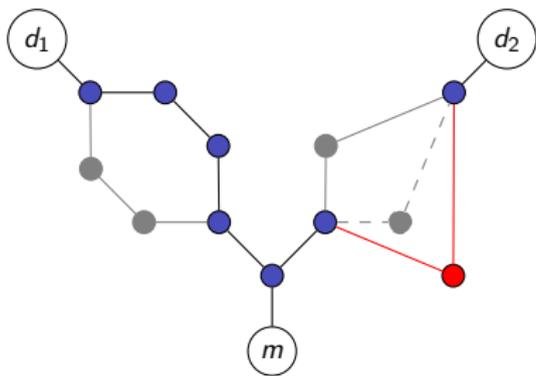
Une mesure par l'outil tracetree [Latapy, Magnien, 2011]

Vues ego-centrées



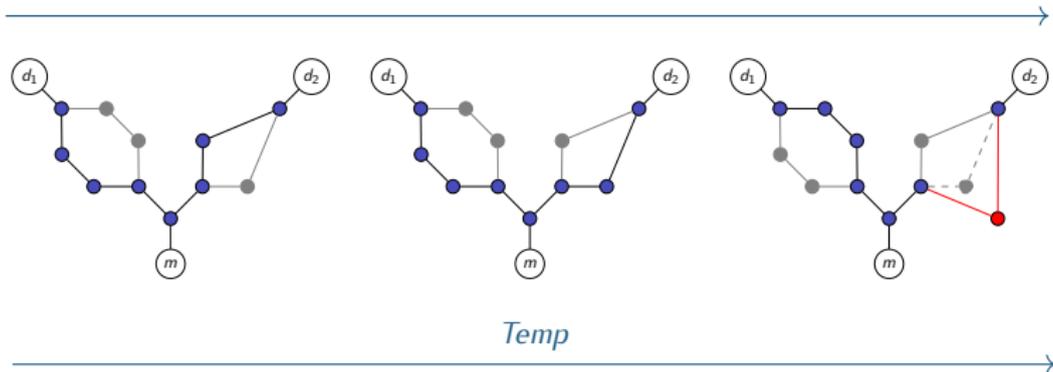
Une autre mesure par l'outil tracetree

Vues ego-centrées



Une autre mesure par l'outil tracetree

Dynamique des vues ego-centrées

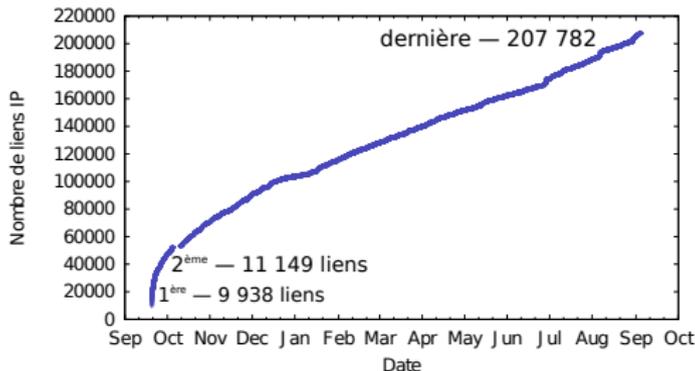


Mesures périodiques rapides \implies étude de la dynamique

Caractérisation de la dynamique

Mesures : $M_1, M_2, \dots, M_i, \dots$

Nombre de liens vus depuis le début : $t \mapsto \left| \bigcup_{i \in [0, t]} M_i \right|$ # liens

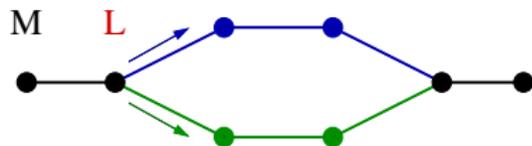


découverte en permanence de nouvelles liens IP
à une vitesse élevée

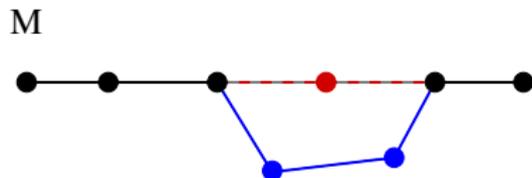
Causes de la dynamique observée

Causes

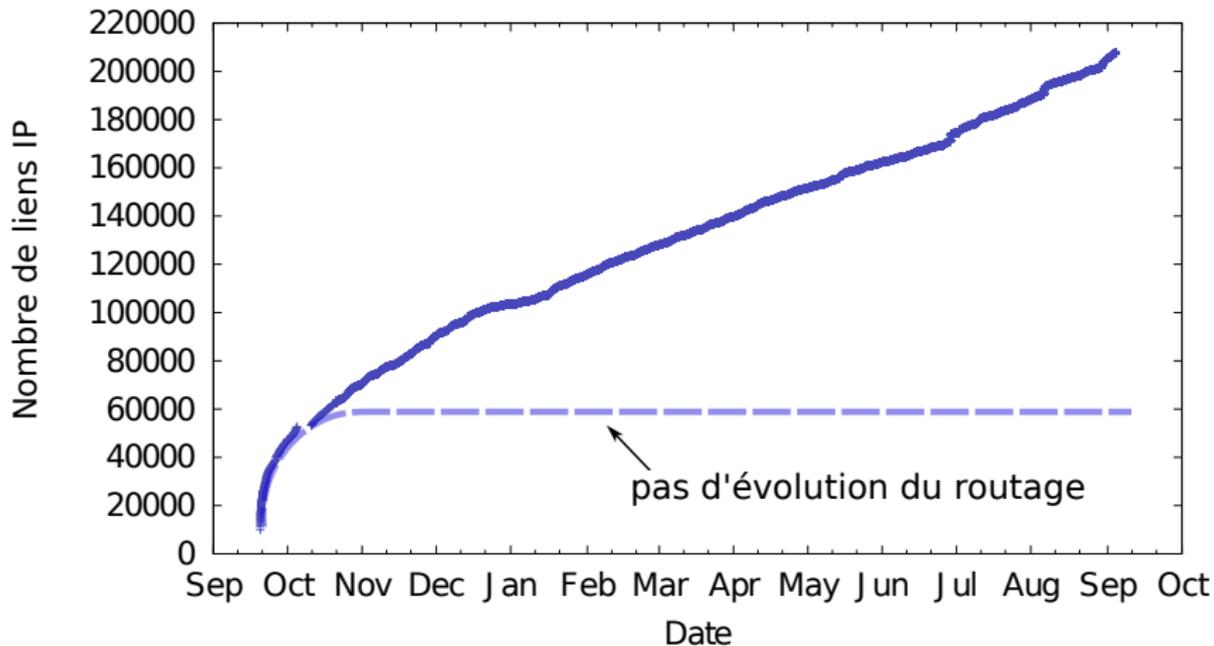
- *Load-balancing*



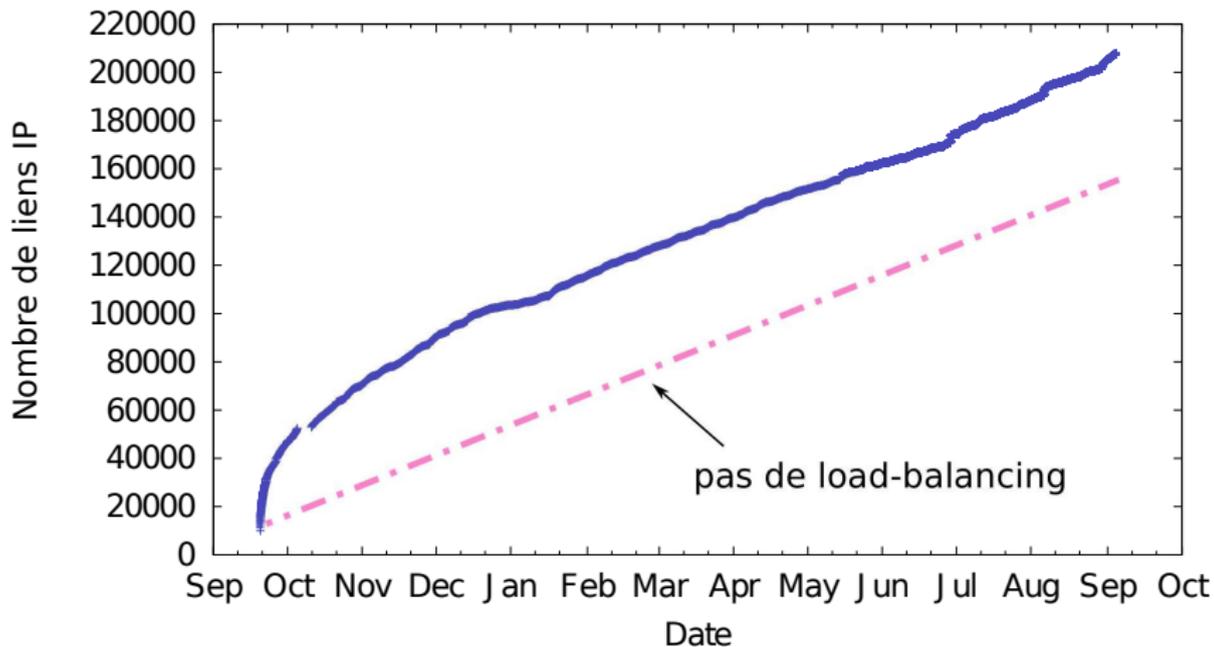
- *Évolution du routage*



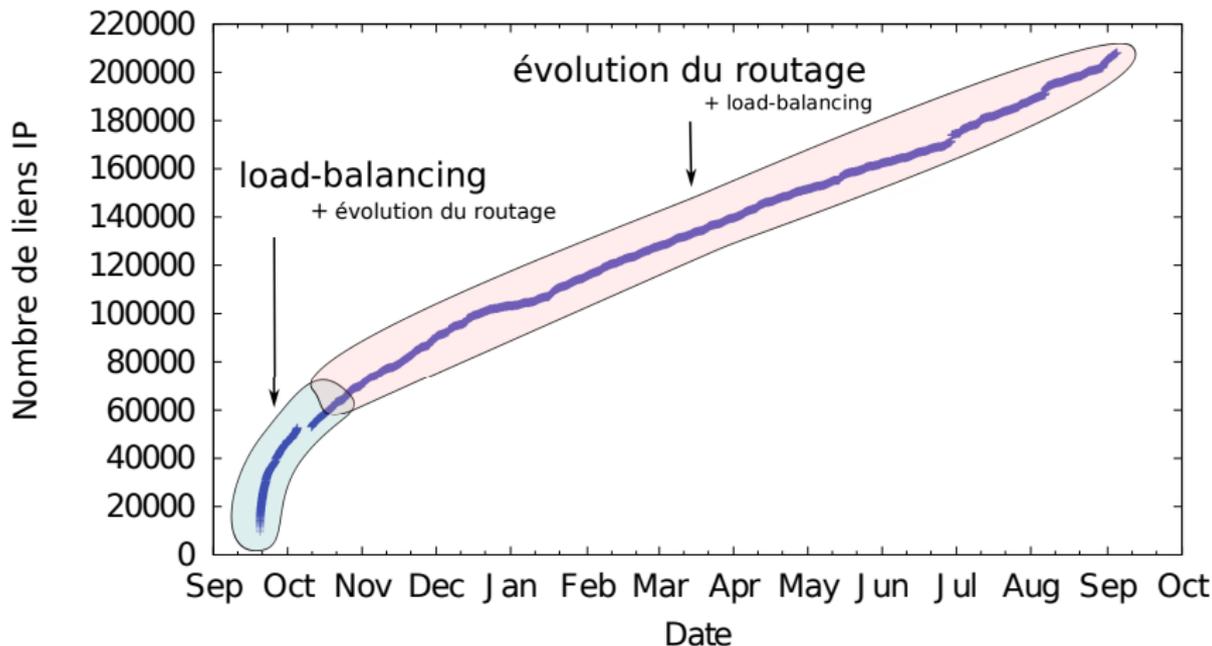
Load-balancing vs évolution du routage



Load-balancing vs évolution du routage



Load-balancing vs évolution du routage



Modèle :

Load-balancing + évolution du routage

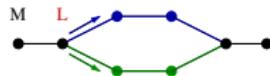
Modélisation

Topologie : Graphe aléatoire (Erdős-Rényi ou configuration model)

Un nœud aléatoire \rightarrow moniteur

d nœuds aléatoires \rightarrow destinations

Mesure : plus courts chemins (aléatoires)

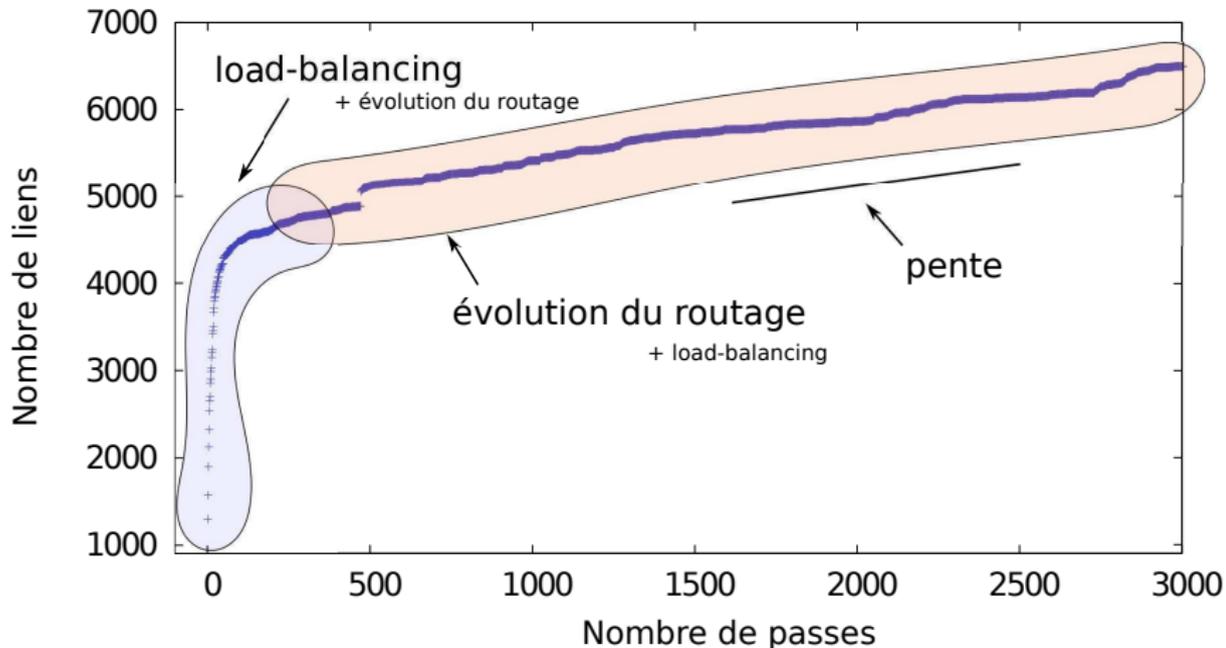


Evolution du routage : “link-swaps”



Load-balancing vs évolution du routage

Nombre de liens distincts vus depuis le début de la mesure

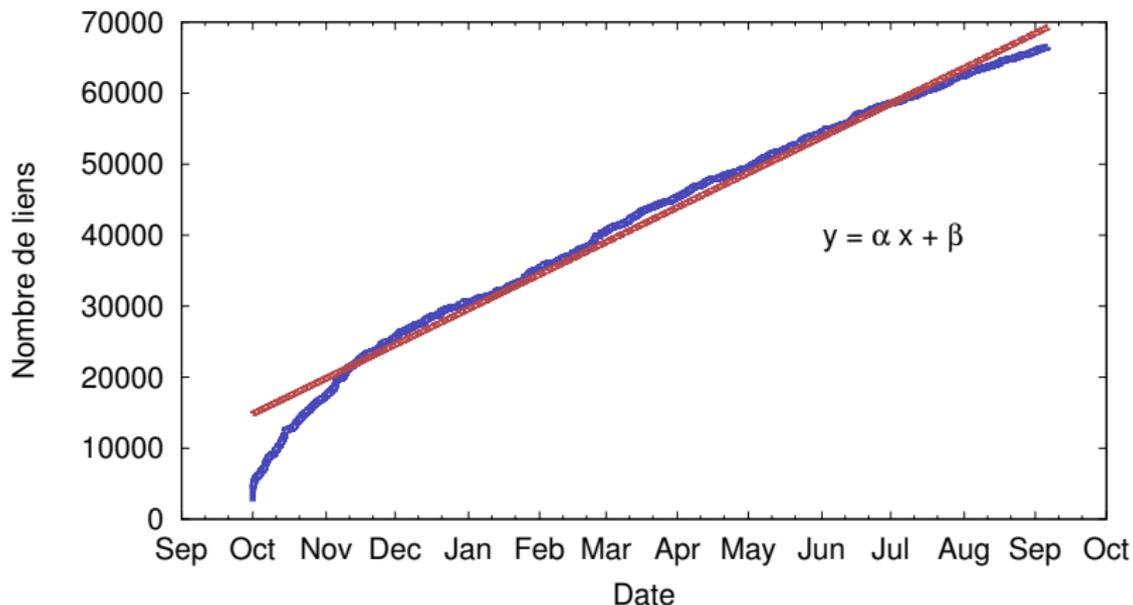


Caractérisation de la dynamique :

la pente d'évolution

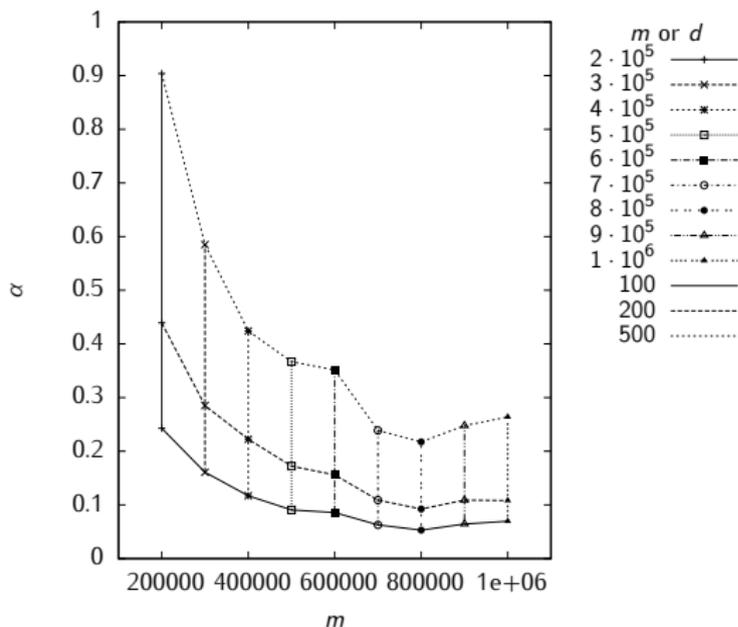
[Kirgizov, Magnien, Tarissan, 2013]

La pente



α est la pente de la partie linéaire

$\alpha = f(\text{paramètres du modèle})$



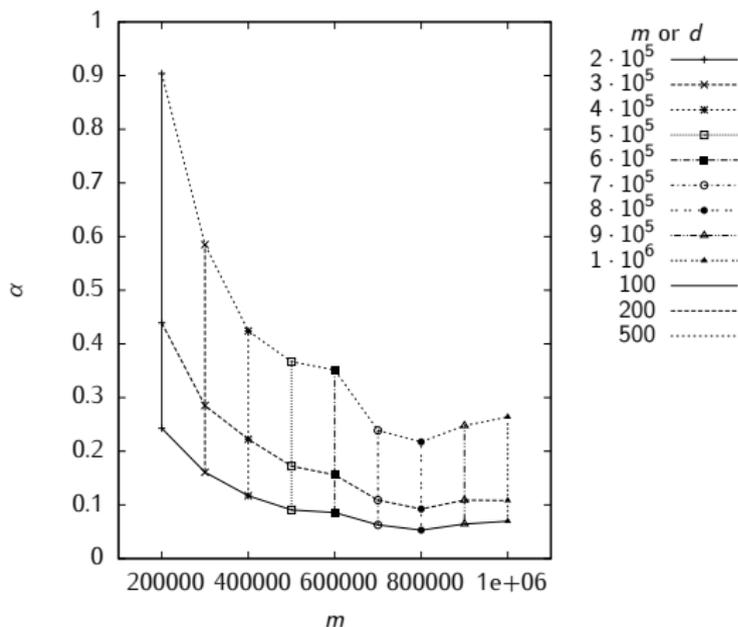
Un graphe aléatoire $G(n, m)$
avec n nœuds et m liens

d nœuds aléatoires comme
destinations

Δ est le délai entre les
mesures

$$\alpha = f(n, m, \Delta, d)$$

$\alpha = f(\text{paramètres du modèle})$



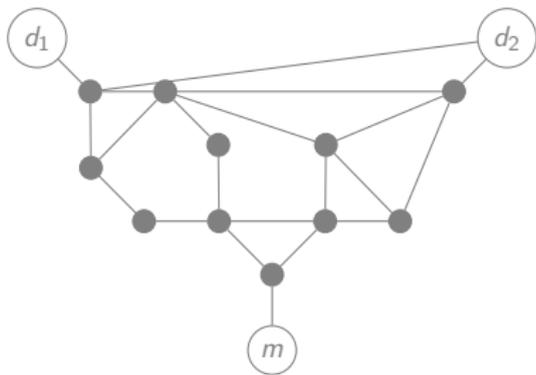
Un graphe aléatoire $G(n, m)$
avec n nœuds et m liens

d nœuds aléatoires comme
destinations

Δ est le délai entre les
mesures

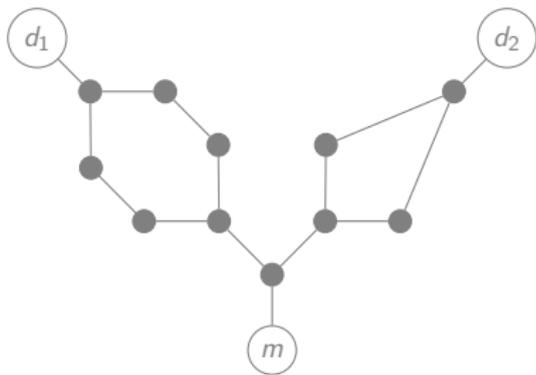
Fixon n et Δ : $\alpha = f(m, d)$

Sous-graphe des plus courts chemins



Graphe

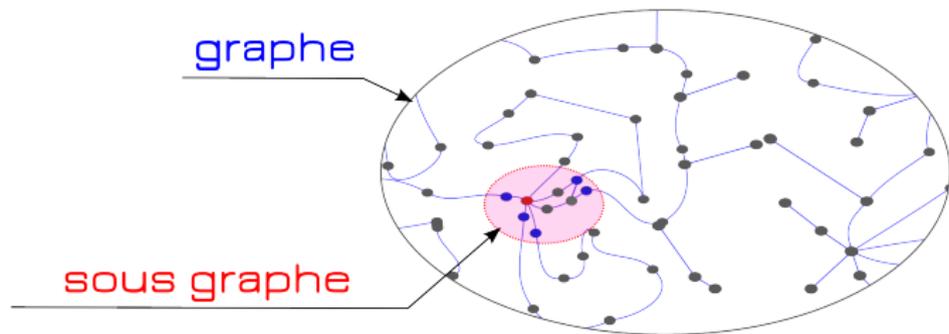
Sous-graphe des plus courts chemins



Sous-graphe des plus courts chemins (SPS)

La taille de sous-graphe des plus courts chemins

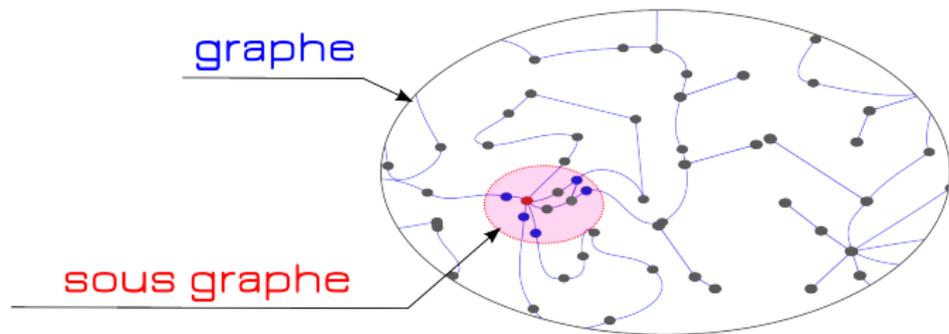
cette taille augmente avec le nombre de destinations



$$\alpha \propto \frac{|\text{sous-graphe}|}{|\text{graphe}|}$$

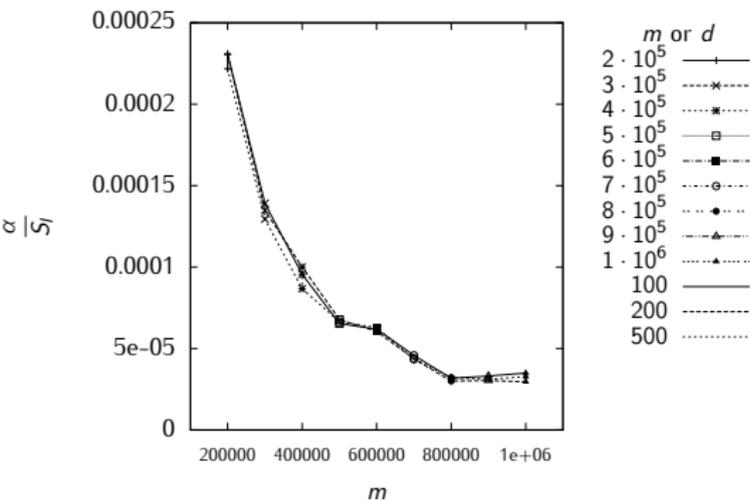
La taille de sous-graphe des plus courts chemins

cette taille augmente avec le nombre de destinations



$$\alpha \propto \frac{S_l}{m}$$

$\alpha = f(\text{paramètres du modèle})$



Un graphe aléatoire $G(n, m)$
avec n nœuds et m liens

d nœuds aléatoires comme
destinations

Δ est le délai entre les
mesures

Fixon n et Δ : $\alpha = f(m, d)$

La taille de sous-graphe des plus courts chemins :

1 moniteur, 1 destination

[Kirgizov et Magnien, 2014+]

Graphes aléatoires

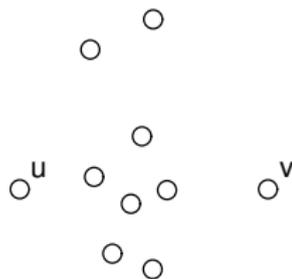
$G(n, p)$ est un graphe aléatoire à n sommets. Chacune des $n(n - 1)/2$ arêtes est présente avec probabilité p .

1951–1952 *Solomonoff et Rapoport*
1959 *Gilbert, Erdős et Rényi*

Graphes aléatoires

$G(n, p)$ est un graphe aléatoire à n sommets. Chacune des $n(n - 1)/2$ arêtes est présente avec probabilité p .

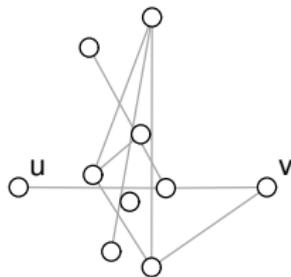
1951–1952 *Solomonoff et Rapoport*
1959 *Gilbert, Erdős et Rényi*



Graphes aléatoires

$G(n, p)$ est un graphe aléatoire à n sommets. Chacune des $n(n - 1)/2$ arêtes est présente avec probabilité p .

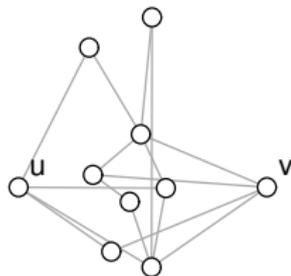
1951–1952 *Solomonoff et Rapoport*
1959 *Gilbert, Erdős et Rényi*



Graphes aléatoires

$G(n, p)$ est un graphe aléatoire à n sommets. Chacune des $n(n - 1)/2$ arêtes est présente avec probabilité p .

1951–1952 *Solomonoff et Rapoport*
1959 *Gilbert, Erdős et Rényi*



Taille moyenne de SPS dans des graphes aléatoires

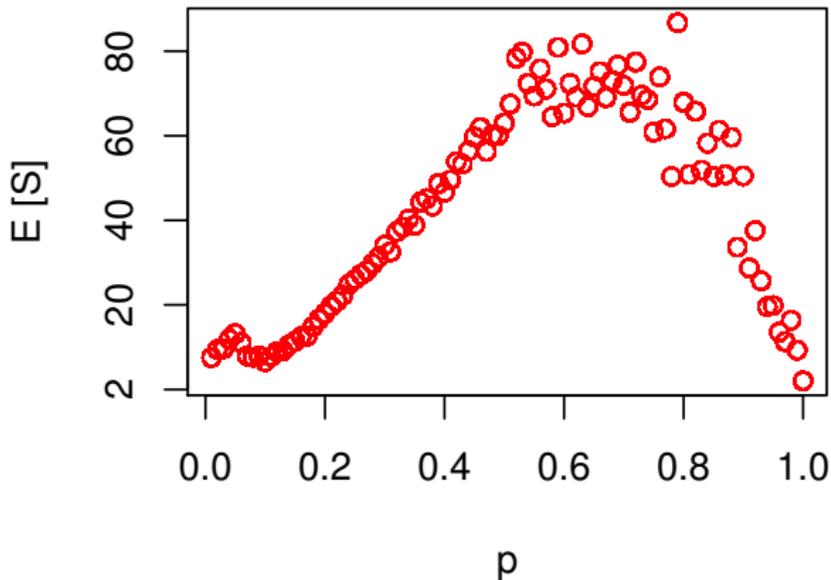
Fixons n

$p \mapsto \mathbb{E}[S]$



Taille moyenne de SPS dans des graphes aléatoires

Fixons n
 $p \mapsto \mathbb{E}[S]$



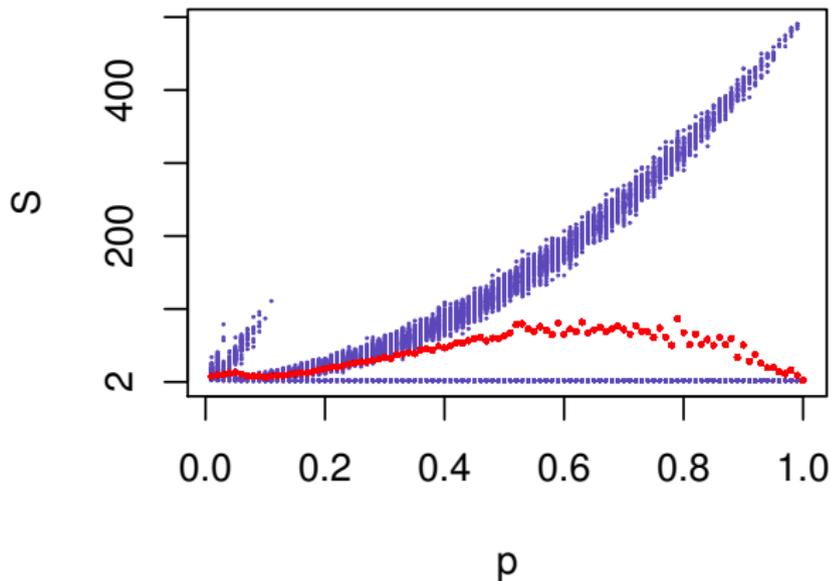
Moyenne et tailles réelles de SPS

Fixons n
 $p \mapsto \{S\}$



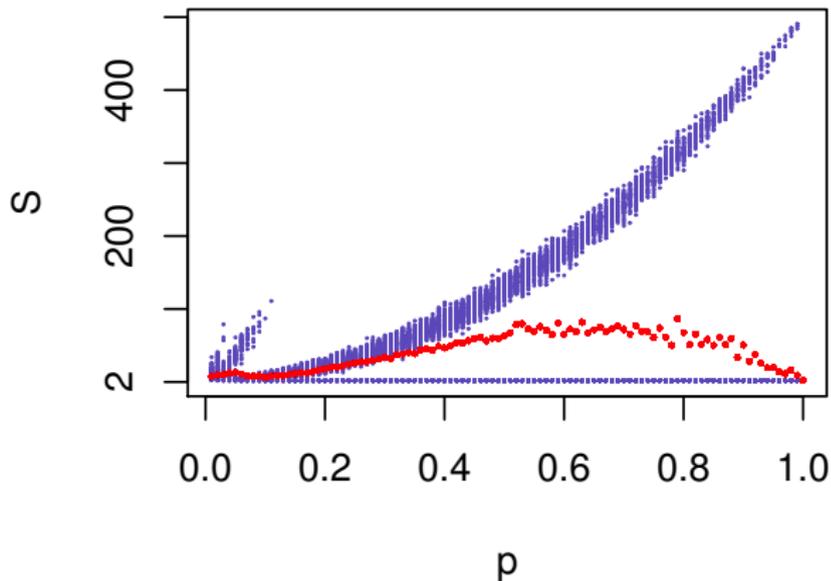
Moyenne et tailles réelles de SPS

Fixons n
 $p \mapsto \{S\}$

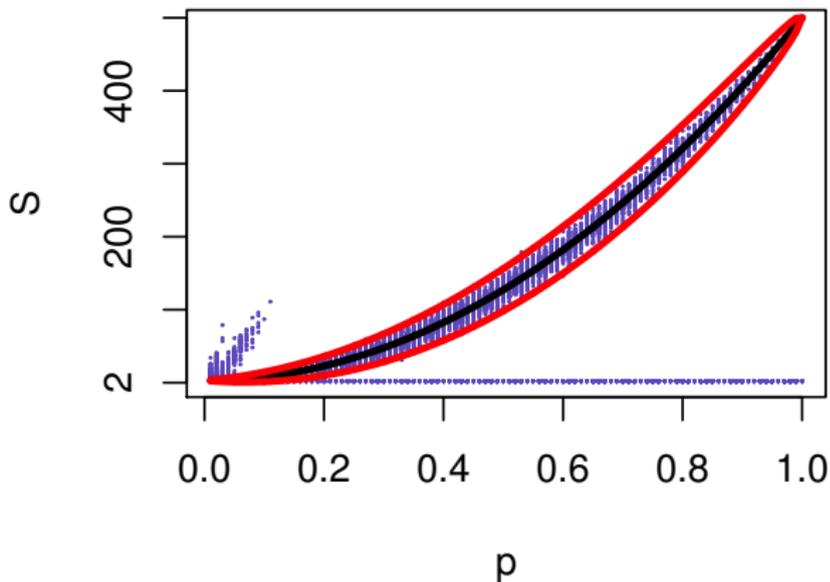


Moyenne et tailles réelles de SPS

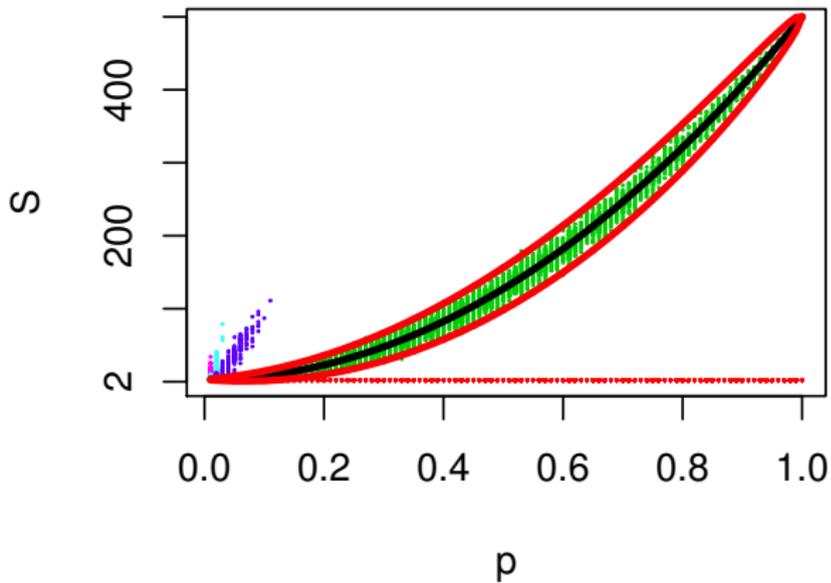
Fixons n
 $p \mapsto \{S\}$



Taille de SPS dans des graphes aléatoires



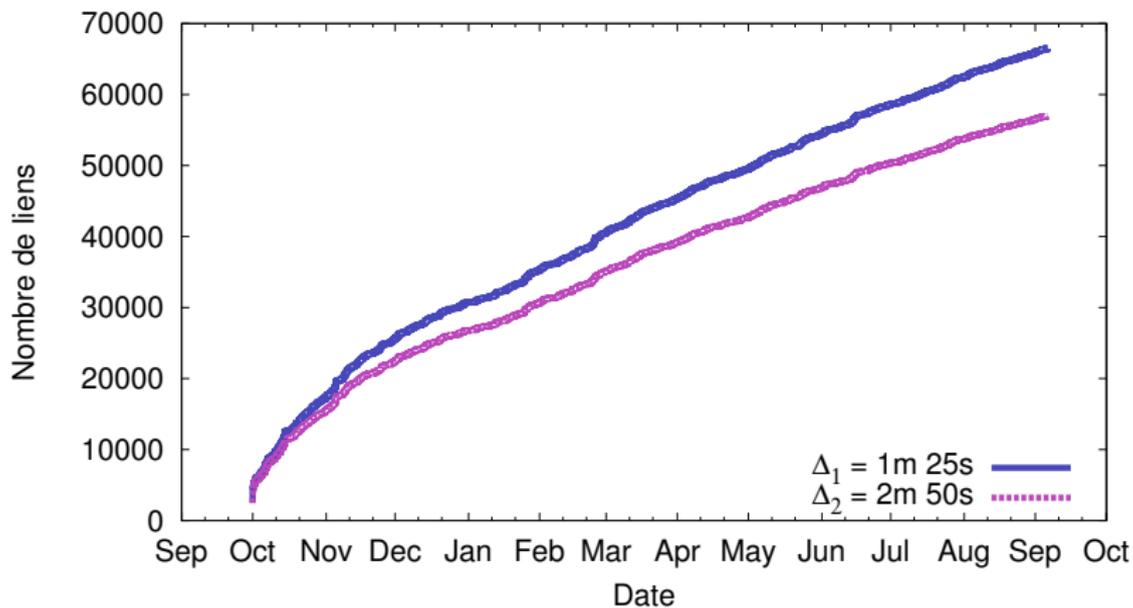
Taille de SPS dans des graphes aléatoires



Dynamique réelle et dynamique observée :

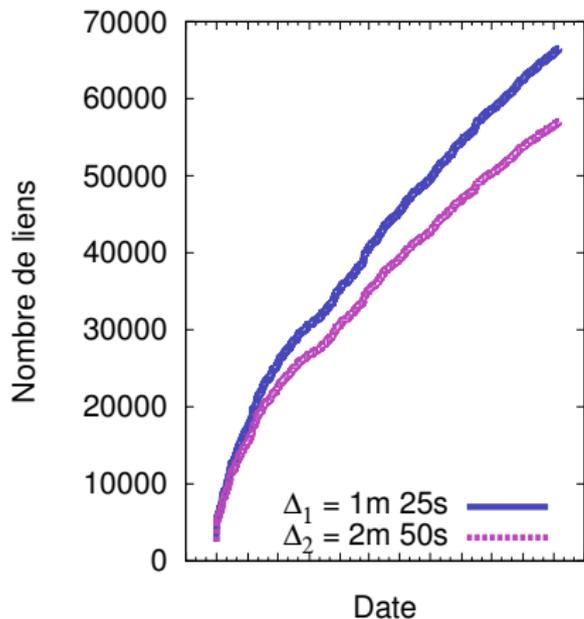
[Kirgizov, Magnien, Tarissan, 2013]
[Kirgizov et Queyroi, preprint, 2014]

$$\alpha = f(\Delta)$$



$\alpha = f(\Delta)$, où Δ est le délai entre les mesures
 $\alpha(\Delta_1) > \alpha(\Delta_2)$

$$\alpha = f(\Delta)$$



Réalité

$A \rightarrow \dots \rightarrow B \rightarrow \dots \rightarrow C$

Δ_1

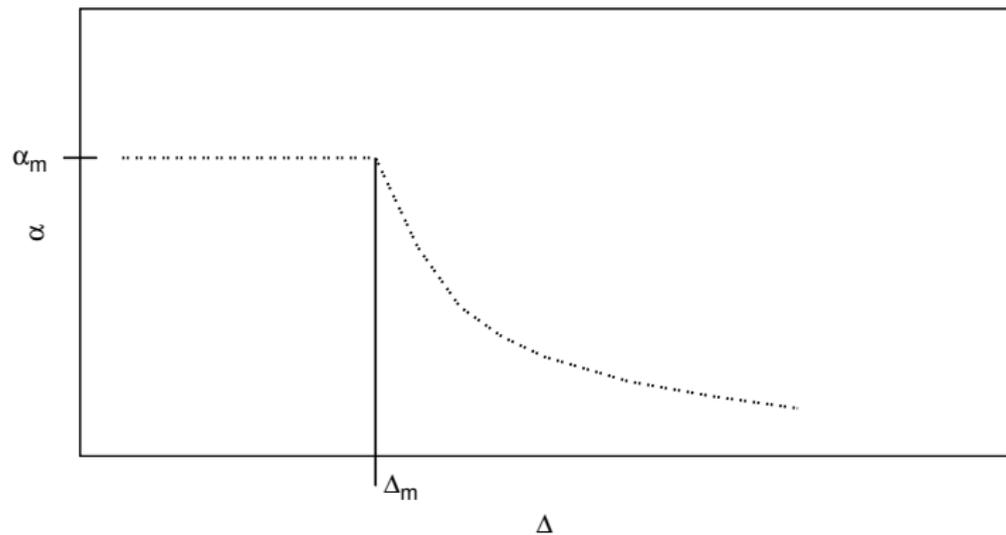
$A \rightarrow B \rightarrow C$

Δ_2

$A \rightarrow C$

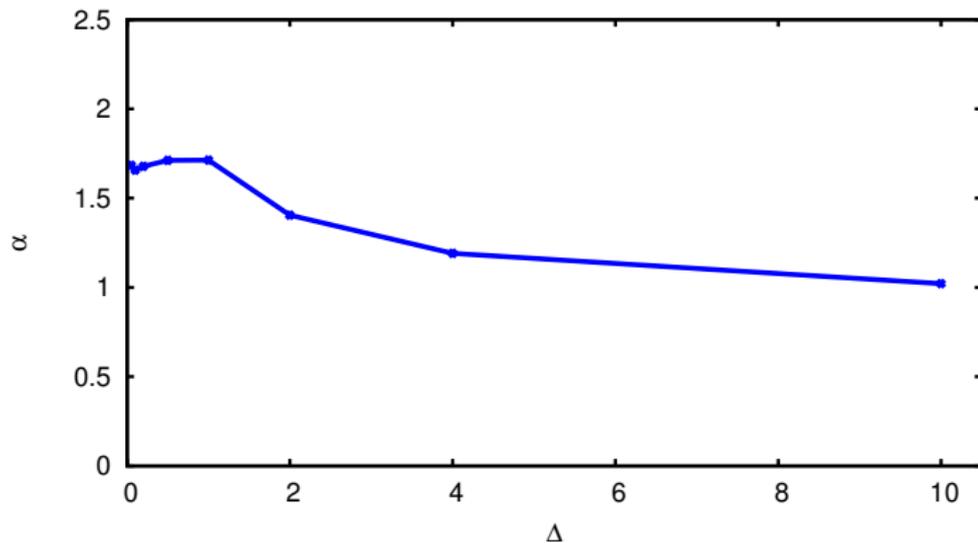
$$|AUC| \leq |AUBUC|$$

Situation attendue

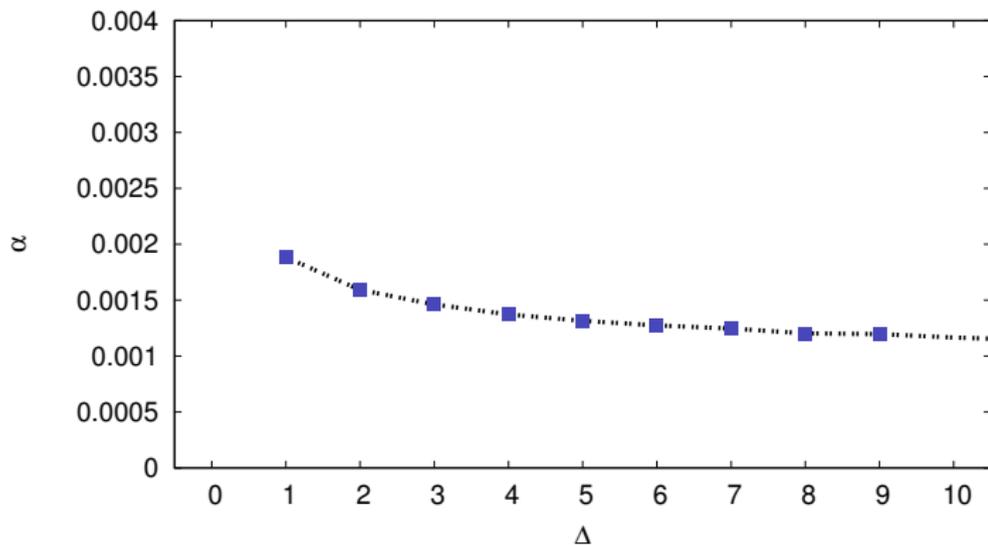


α_m est la pente maximale possible

Cas du modèle



Réalité



$$\Delta_1 = \Delta_{\text{original}} = 1\text{m } 25\text{s}$$

$$\Delta_n = n \cdot \Delta_{\text{original}}, \text{ une mesure sur } n$$

Estimation de $\lim_{\Delta \rightarrow 0} \alpha(\Delta)$

Cette estimation est possible si les changements **sont indépendants**. Autrement dit, nous avons un processus de Poisson.

Les autres cas ouvrent des directions de la recherche future.

Mes projets annexes

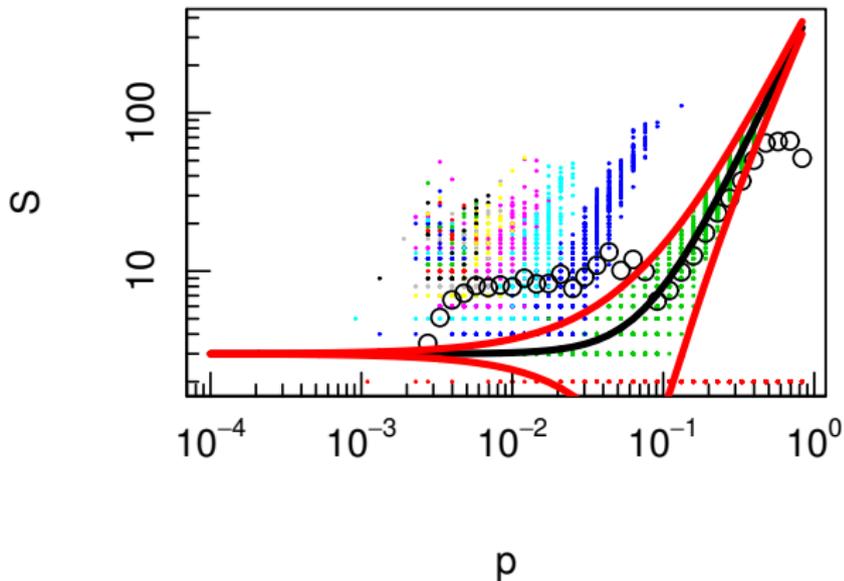
- *“The complexity of deciding whether a graph admits an orientation with fixed weak diameter”*
avec Julien Bensmail et Romaric Duvignau (LaBRI, Bordeaux)
- *“Suppression Distance Computation for Set Covers and Hierarchies”*
avec François Queyroi (Géographie-cités, Paris)
- Ma vidéo *“Retweet dynamics”*
<https://www.youtube.com/watch?v=ih9kRXCm3C0>

Merci beaucoup

<http://kirgizov.complexnetworks.fr/>

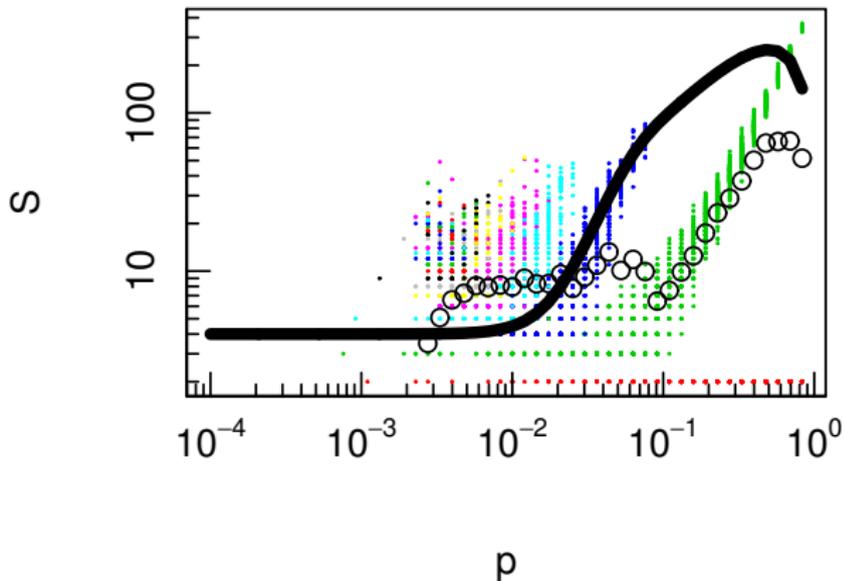
Taille de SPS dans des graphes aléatoires

échelle logarithmique



Taille de SPS dans des graphes aléatoires

échelle logarithmique



Taille de SPS dans des graphes aléatoires

échelle logarithmique

