Dynamique de la topologie de l'Internet

Clémence Magnien

clemence.magnien@lip6.fr

LIP6 – CNRS et Université Pierre et Marie Curie (UPMC – Paris 6)

avec Matthieu Latapy, Frédéric Ouédraogo, Guillaume Valadon, Assia Hamzaoui, ...

Outline

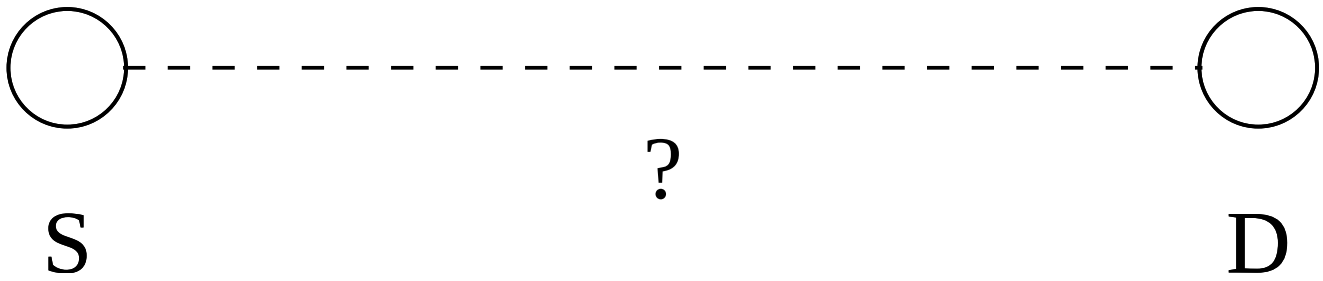
Topologie de l'Internet au niveau IP

- Adresses IP
- Sauts au niveau IP

$\longrightarrow$ Internet vu comme un graphe,
étude de la structure

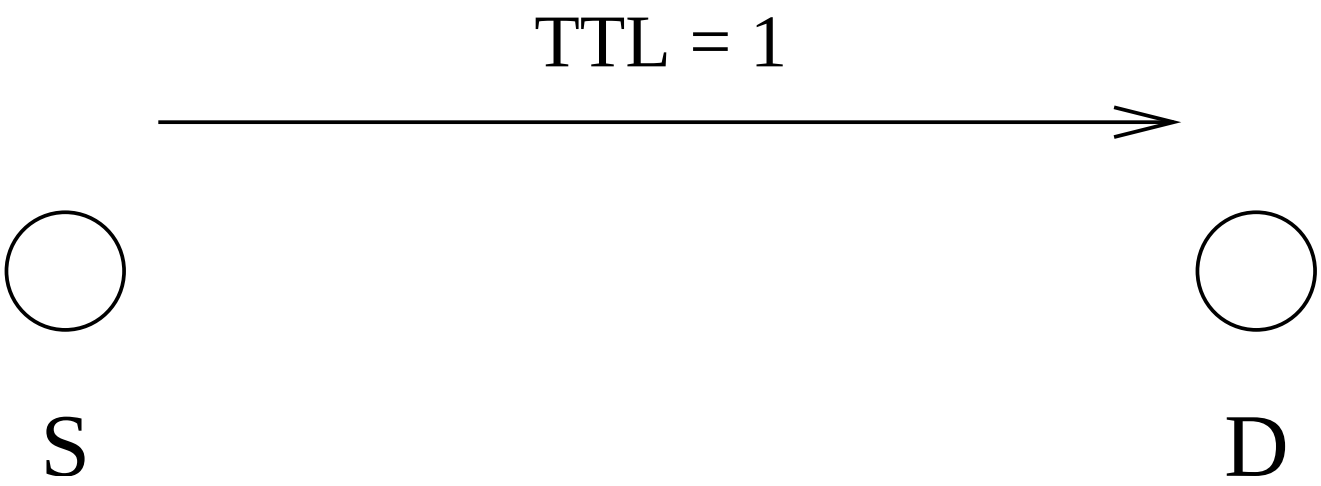
Mesure avec `traceroute`

Pas de carte disponible $\longrightarrow$ Besoin de mesurer



Mesure avec `traceroute`

Pas de carte disponible $\longrightarrow$ Besoin de mesurer

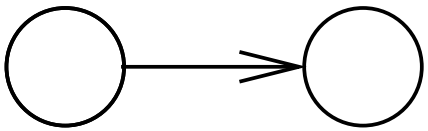


Mesure avec `traceroute`

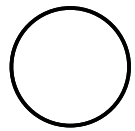
Pas de carte disponible $\longrightarrow$ Besoin de mesurer

Mesure avec `traceroute`

Pas de carte disponible $\longrightarrow$ Besoin de mesurer



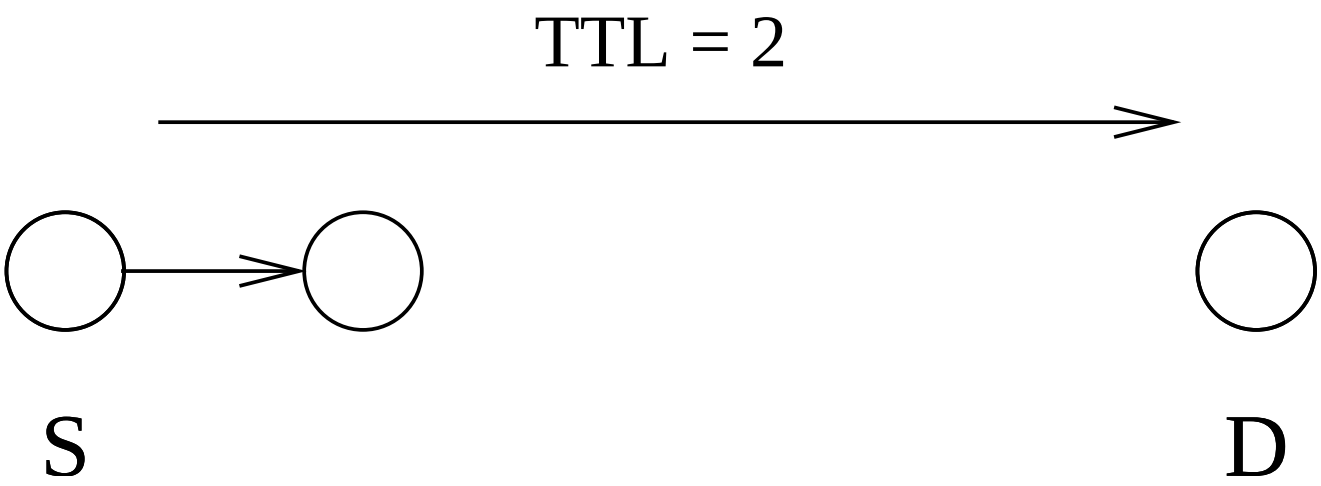
S



D

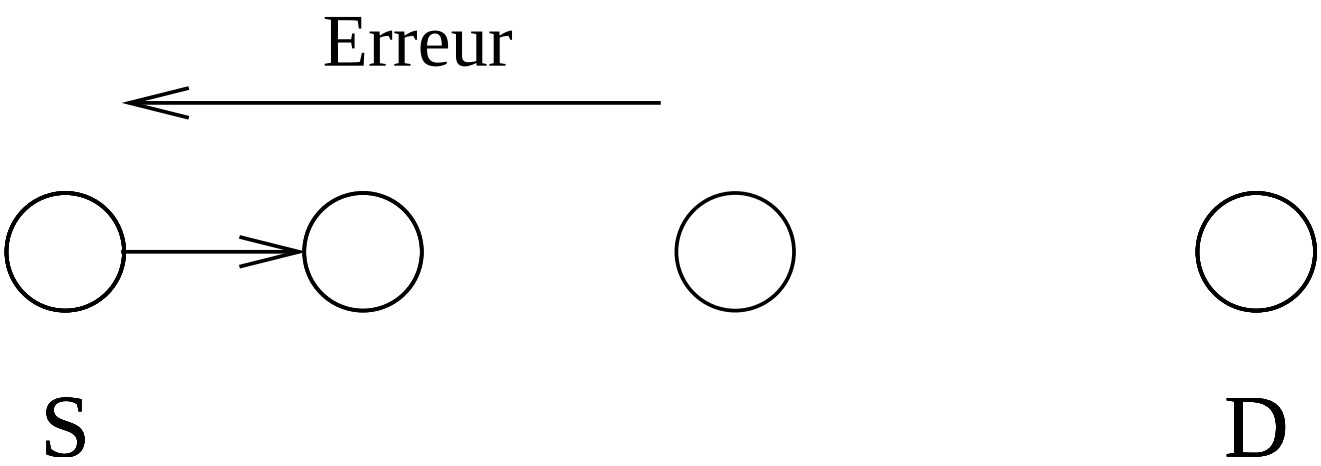
Mesure avec `traceroute`

Pas de carte disponible $\longrightarrow$ Besoin de mesurer



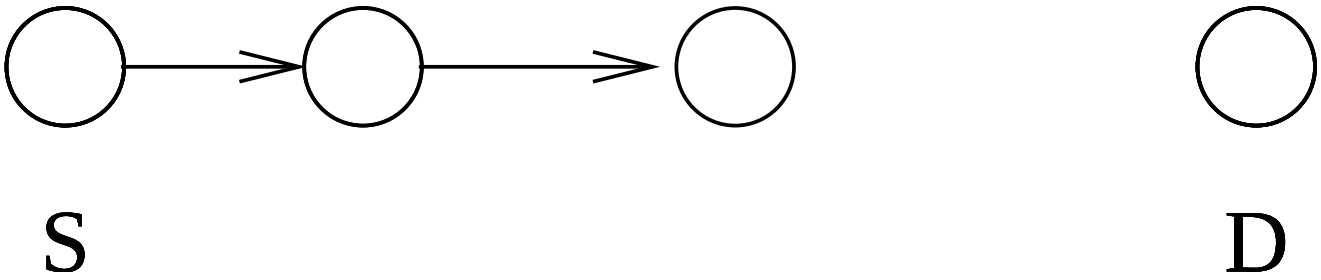
Mesure avec `traceroute`

Pas de carte disponible $\longrightarrow$ Besoin de mesurer



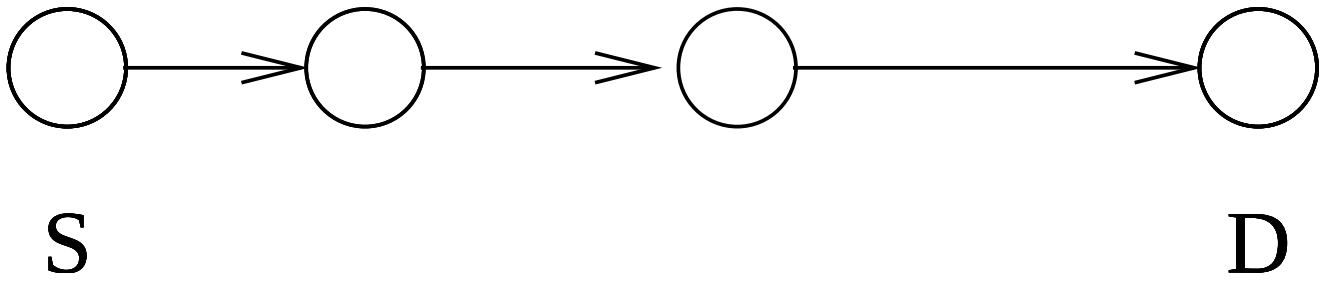
Mesure avec `traceroute`

Pas de carte disponible $\longrightarrow$ Besoin de mesurer



Mesure avec `traceroute`

Pas de carte disponible $\longrightarrow$ Besoin de mesurer



Mesure avec `traceroute`

Pas de carte disponible $\longrightarrow$ Besoin de mesurer

Plus d'informations

Multiplier

- Les destinations ($\sim$ 1 million)
- Les sources ($\sim$ quelques dizaines)

Propriétés inattendues

[Sigcomm 99, Infocom 00, Science 99, ...]

Propriétés inattendues et importantes

Degrés des nœuds (nombre de liens) hétérogènes

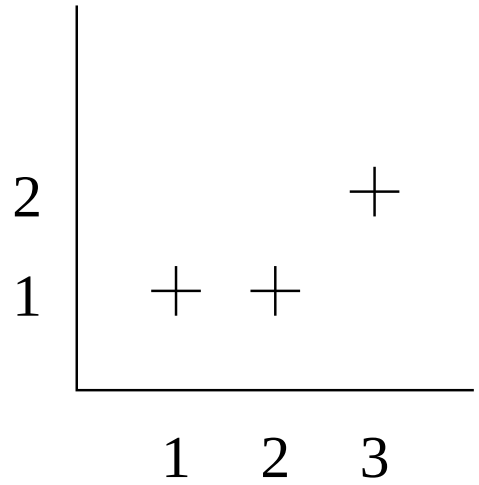
Distributions hétérogènes

Distribution des degrés :
4 nœuds, degrés : 2 3 3 1

Distributions hétérogènes

Distribution des degrés :
4 nœuds, degrés : 2 3 3 1

Distribution : $1 \rightarrow 1$, $2 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 2$.



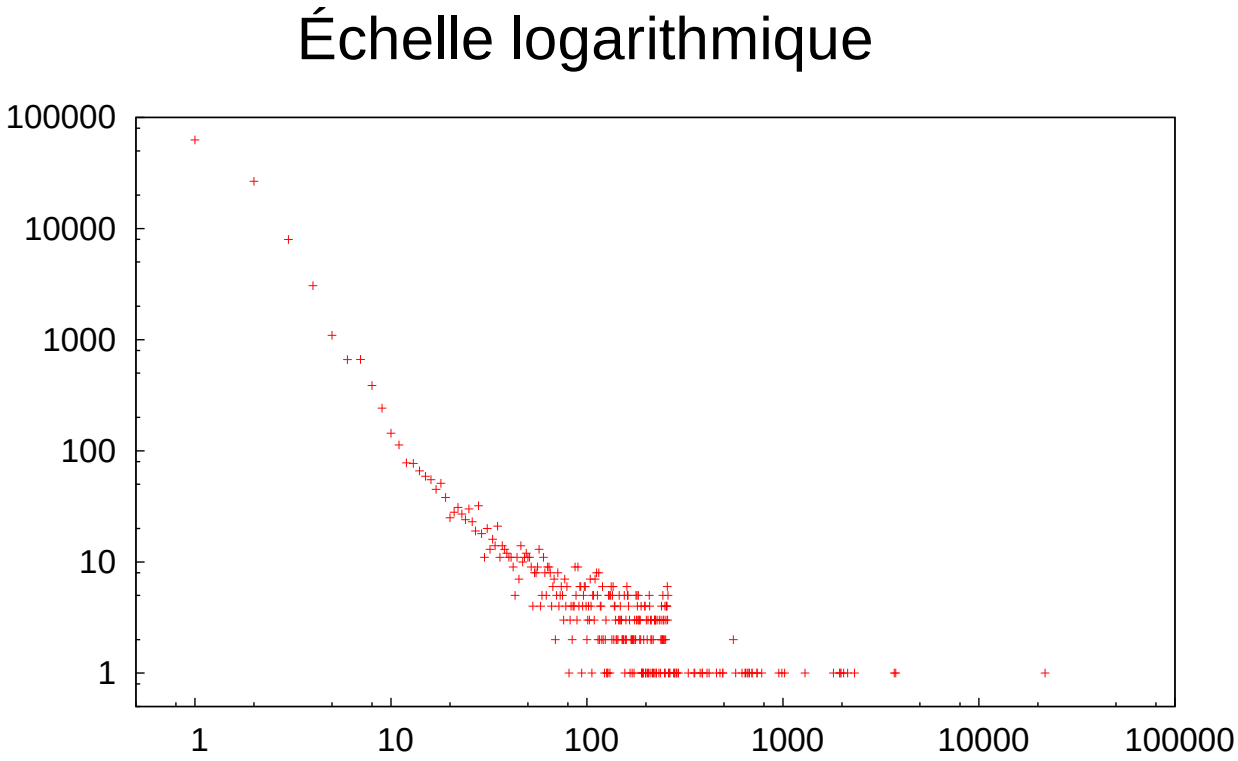
Distributions hétérogènes

Deux grands types de distribution

Homogène
Hétérogène

Homogène : valeurs centrées sur la moyenne
Hétérogène : pas de notion de valeur typique

Distributions hétérogènes



Proche d'une droite (loi de puissance, décroissance polynômiale)

Propriétés inattendues

[Sigcomm 99, Infocom 00, Science 99, ...]

Propriétés inattendues et importantes

Degrés des nœuds (nombre de liens) hétérogènes

Conséquences sur

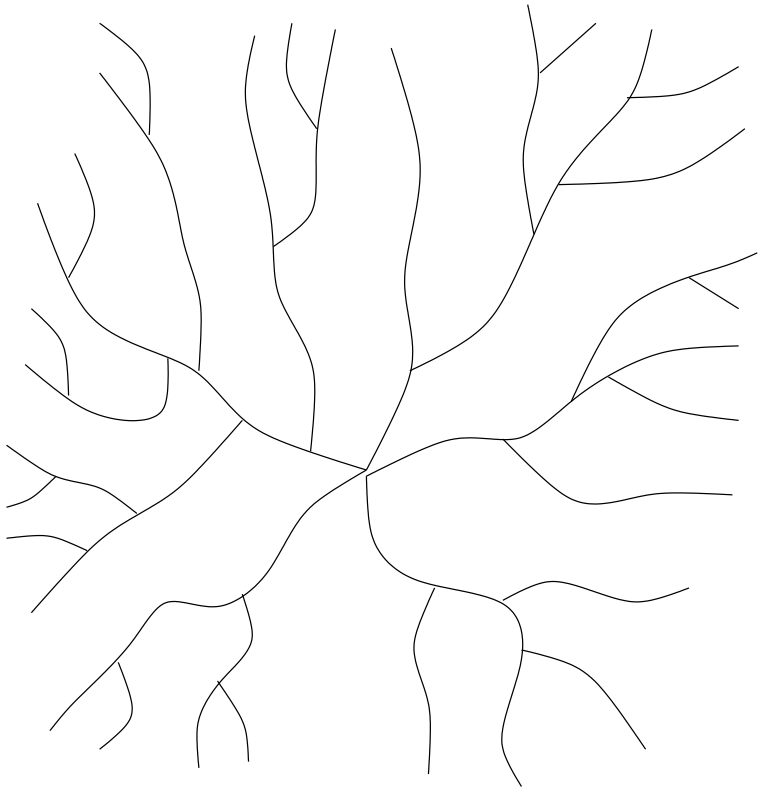
- La robustesse
- La propagation de virus
- . . .

Actuellement : courant de travaux visant à cartographier l'internet

Propriétés observées vs réelles

[Infocom 02, Infocom 03, STOC 05, ...]

Une source, beaucoup de destinations :



Propriétés observées vs réelles

[Infocom 02, Infocom 03, STOC 05, ...]

- biais sur la structure observée

$\longrightarrow$ Travaux théoriques et empiriques pour :

- Évaluer le biais
- Évaluer de façon sûre certaines propriétés

Problèmes des outils de mesure

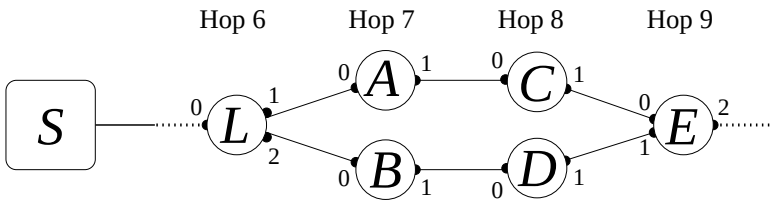
Traceroute $\longrightarrow$ Information manquante ou fausse

- Machines ne répondant pas aux sondes apparaissent comme des étoiles *
- Faux liens

Problèmes des outils de mesure

Traceroute $\longrightarrow$ Information manquante ou fausse

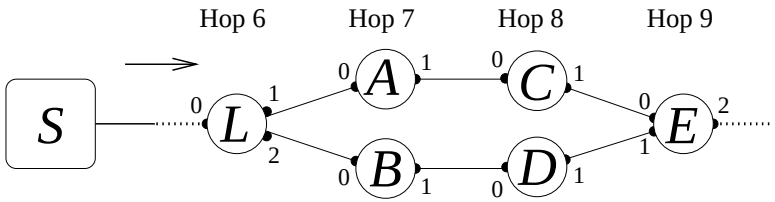
- Machines ne répondant pas aux sondes
- Faux liens



Problèmes des outils de mesure

Traceroute $\longrightarrow$ Information manquante ou fausse

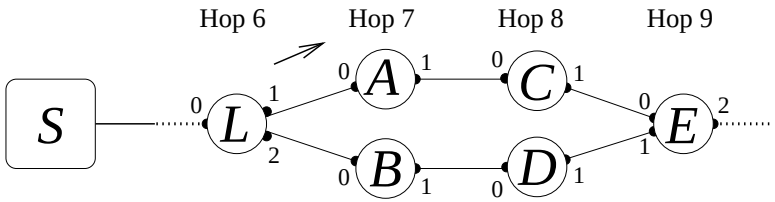
- Machines ne répondant pas aux sondes
- Faux liens

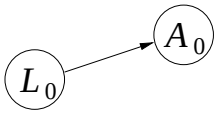


Problèmes des outils de mesure

Traceroute $\longrightarrow$ Information manquante ou fausse

- Machines ne répondant pas aux sondes
- Faux liens

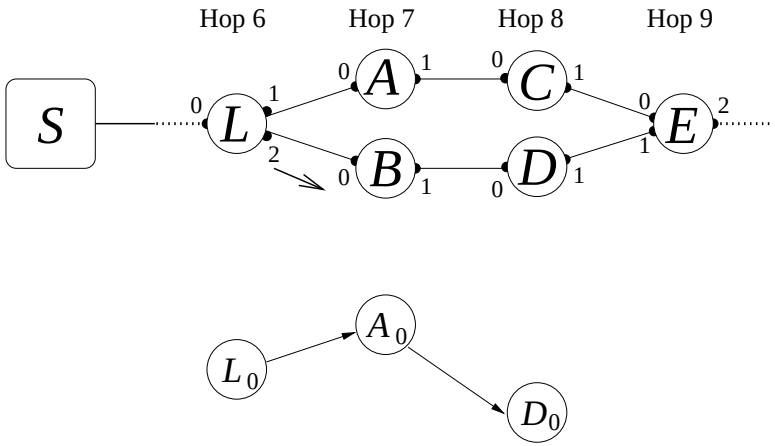




Problèmes des outils de mesure

Traceroute $\longrightarrow$ Information manquante ou fausse

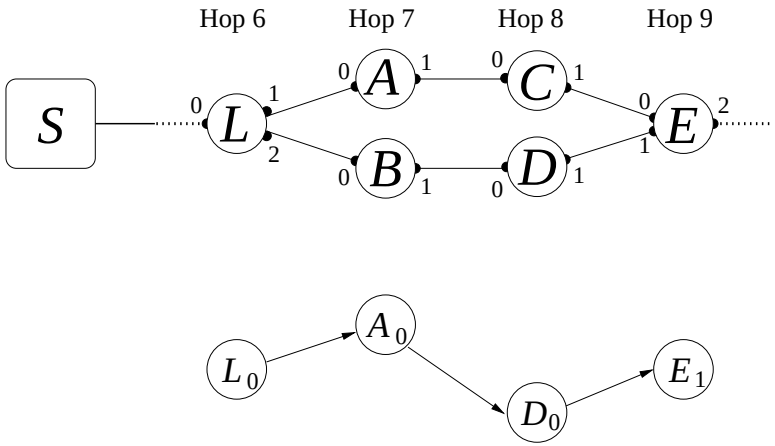
- Machines ne répondant pas aux sondes
- Faux liens



Problèmes des outils de mesure

Traceroute $\longrightarrow$ Information manquante ou fausse

- Machines ne répondant pas aux sondes
- Faux liens



Problèmes des outils de mesure

Traceroute $\longrightarrow$ Information manquante ou fausse

- Machines ne répondant pas aux sondes
- Faux liens

$\longrightarrow$ Travaux visant à améliorer les outils de mesure

- Augmenter l'information récoltée
- Améliorer la fiabilité

Résumé

Cartographie au niveau IP

Long et coûteux

Tendances actuelles

- Données massives
  (multiplier sources et destinations, mesures distribuées, . . .)
- Améliorer la qualité

Dynamique ?

Notre approche

Ce qu'une machine voit de l'internet est :

- intéressant en soi
- (plus) facile à mesurer
- (plus) facile à interpréter
- peut être mesuré efficacement (temps, charge)

notion de vision **égo-centrée**

Mesure efficace + simple $\Longrightarrow$ Répétition

étude de la dynamique

Radar

une source, des destinations, mesures périodiques

Notre approche

Ce qu'une machine voit de l'internet est :

- intéressant en soi
- (plus) facile à mesurer
- (plus) facile à interpréter
- peut être mesuré efficacement (temps, charge)

notion de vision **égo-centrée**

Mesure efficace + simple $\Longrightarrow$ Répétition

étude de la dynamique

Radar

une source, des destinations, mesures périodiques

Notre approche

Ce qu'une machine voit de l'internet est :

- intéressant en soi
- (plus) facile à mesurer
- (plus) facile à interpréter
- peut être mesuré efficacement (temps, charge)

notion de vision **égo-centrée**

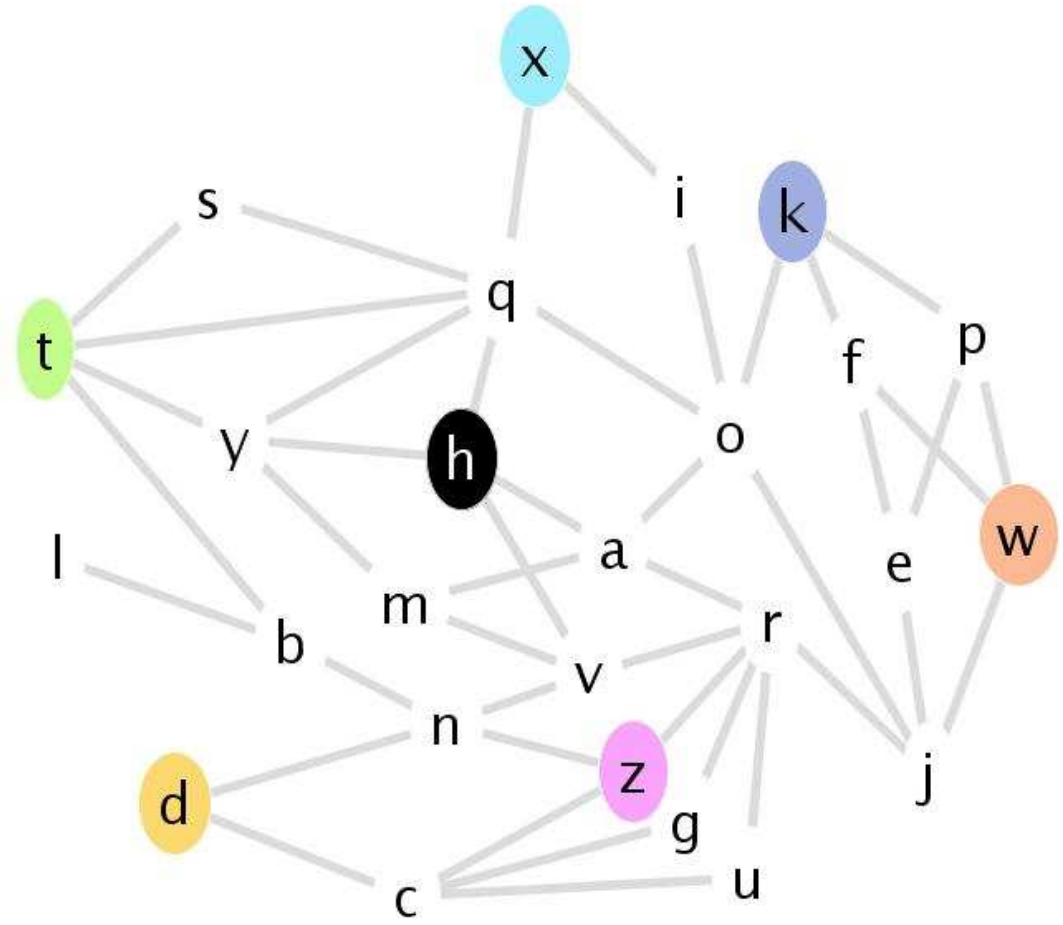
Mesure efficace + simple $\Longrightarrow$ Répétition

étude de la dynamique

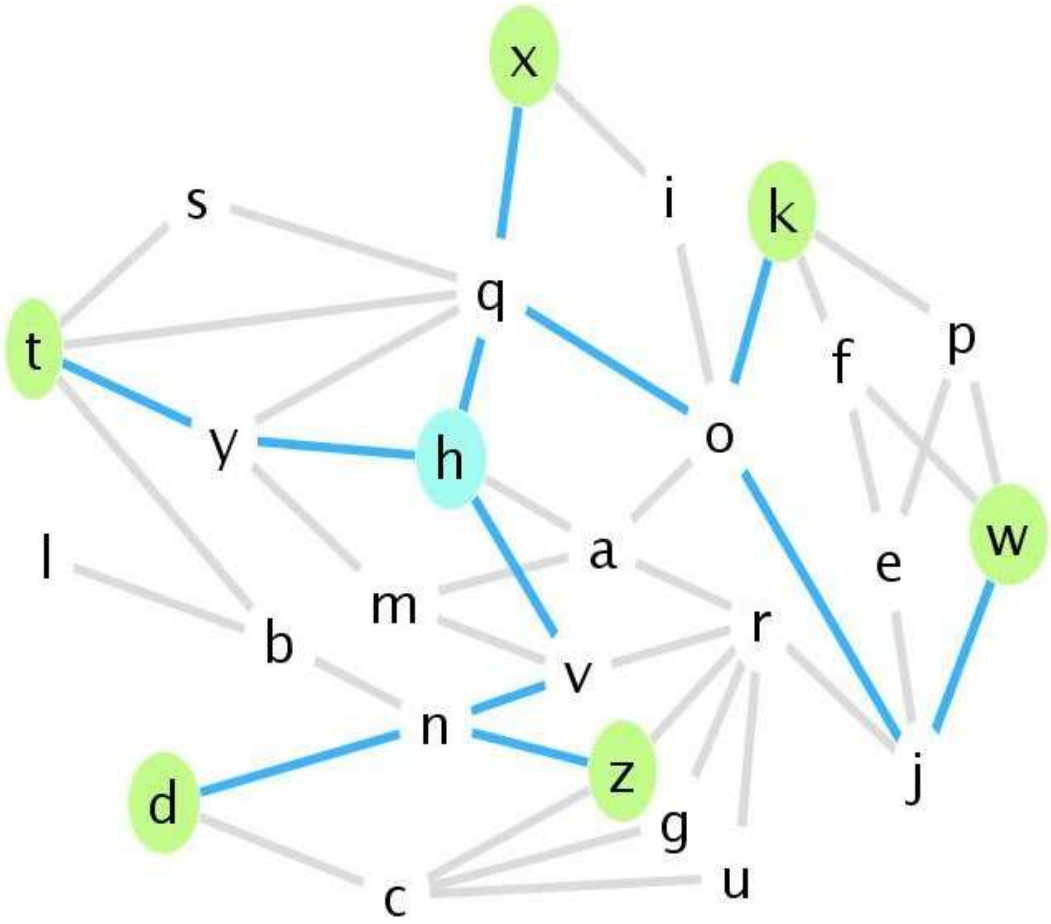
Radar

une source, des destinations, mesures périodiques

Vue égo-centrée



Vue égo-centrée



Limites de traceroute

- **charge déséquilibrée**
  $\Rightarrow$ information redondante
- **pas un arbre**
  $\Rightarrow$ complique l'analyse

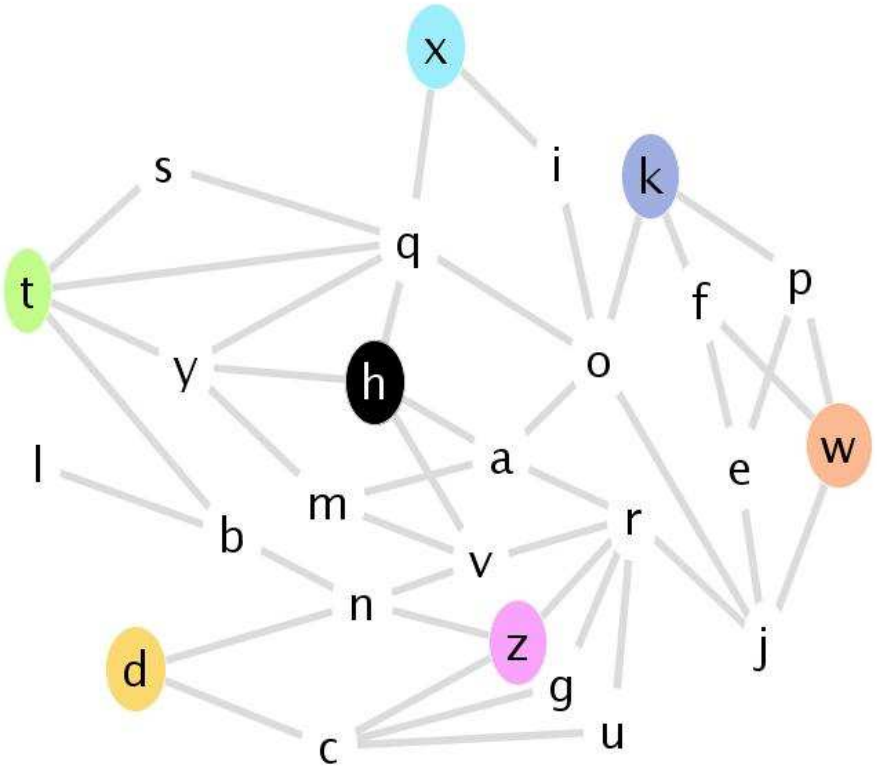
$\hookrightarrow$ nécessité d'un outil dédié
tracetree

Limites de traceroute

- **charge déséquilibrée**
  $\Rightarrow$ information redondante
- **pas un arbre**
  $\Rightarrow$ complique l'analyse

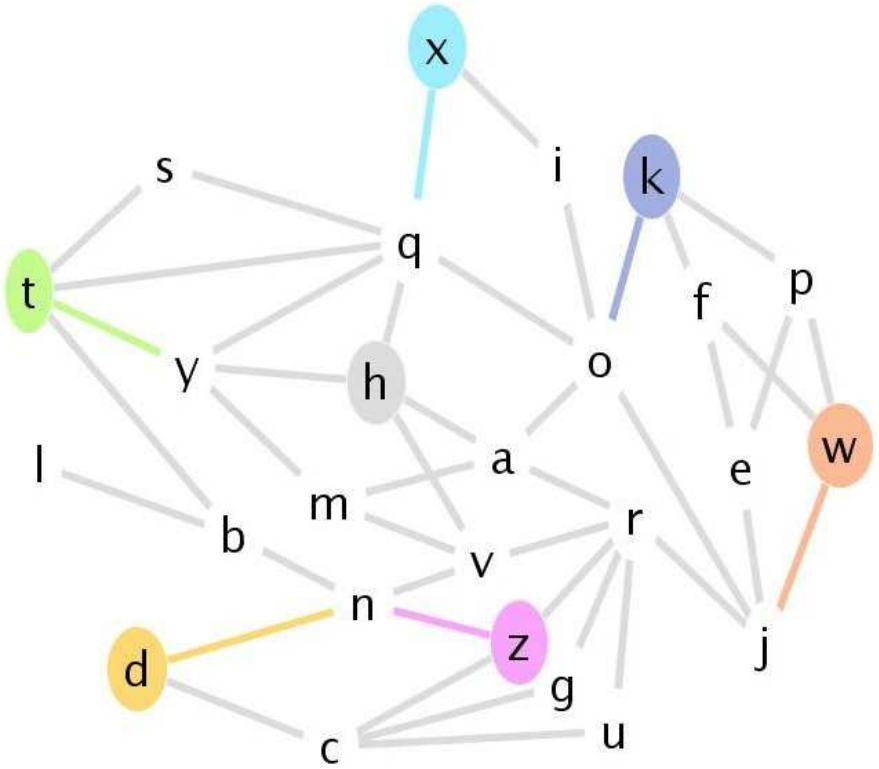
$\hookrightarrow$ nécessité d'un outil dédié
tracetree

Tracetree



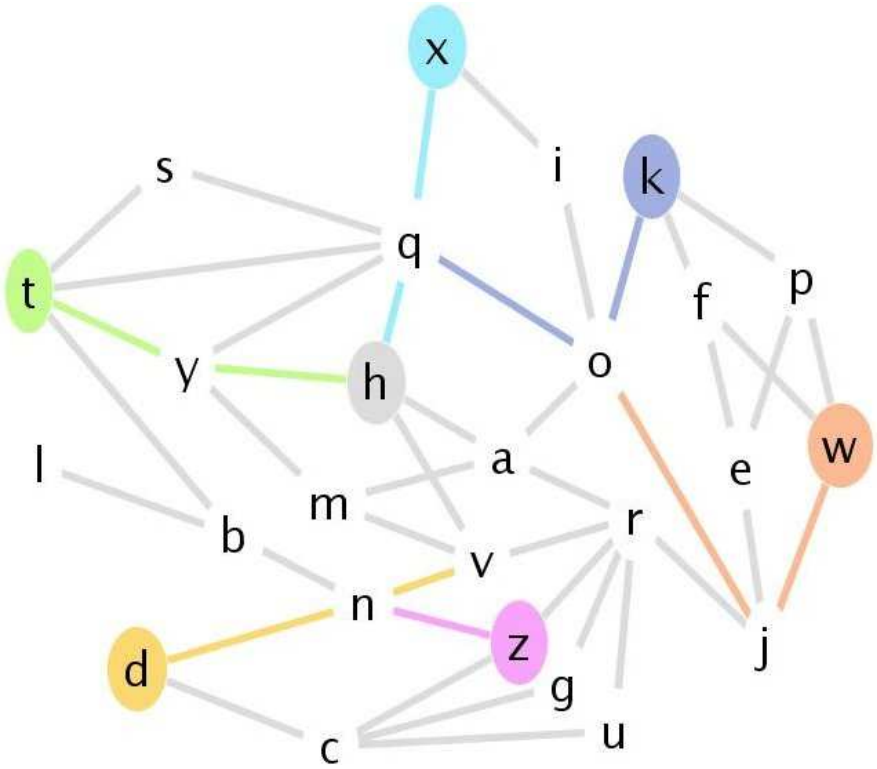
mesures **en arrière**, en parallèle
arrêt quand les chemins se rejoignent

Tracetree



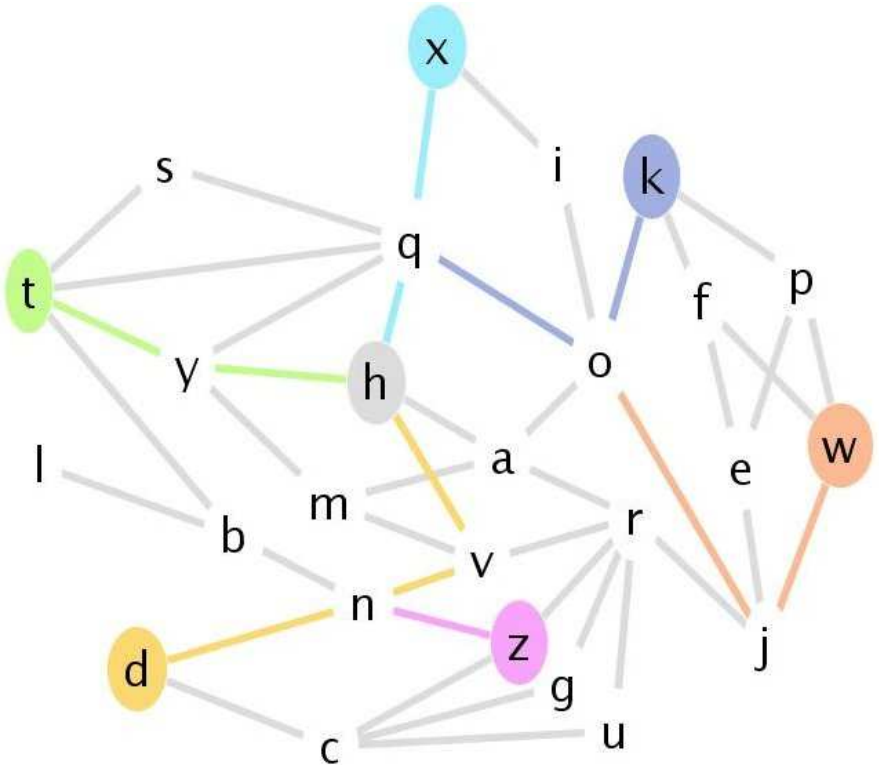
mesures **en arrière**, en parallèle
arrêt quand les chemins se rejoignent

Tracetree



mesures **en arrière**, en parallèle
arrêt quand les chemins se rejoignent

Tracetree



mesures **en arrière**, en parallèle
arrêt quand les chemins se rejoignent

Tracetree

- 1 paquet par lien
- mesure homogène et rapide
- arbre

$\longrightarrow$ programme disponible, écrit en *C*.

Radar

- Une source
- Un ensemble de destinations
- Mesures périodiques avec tracetree

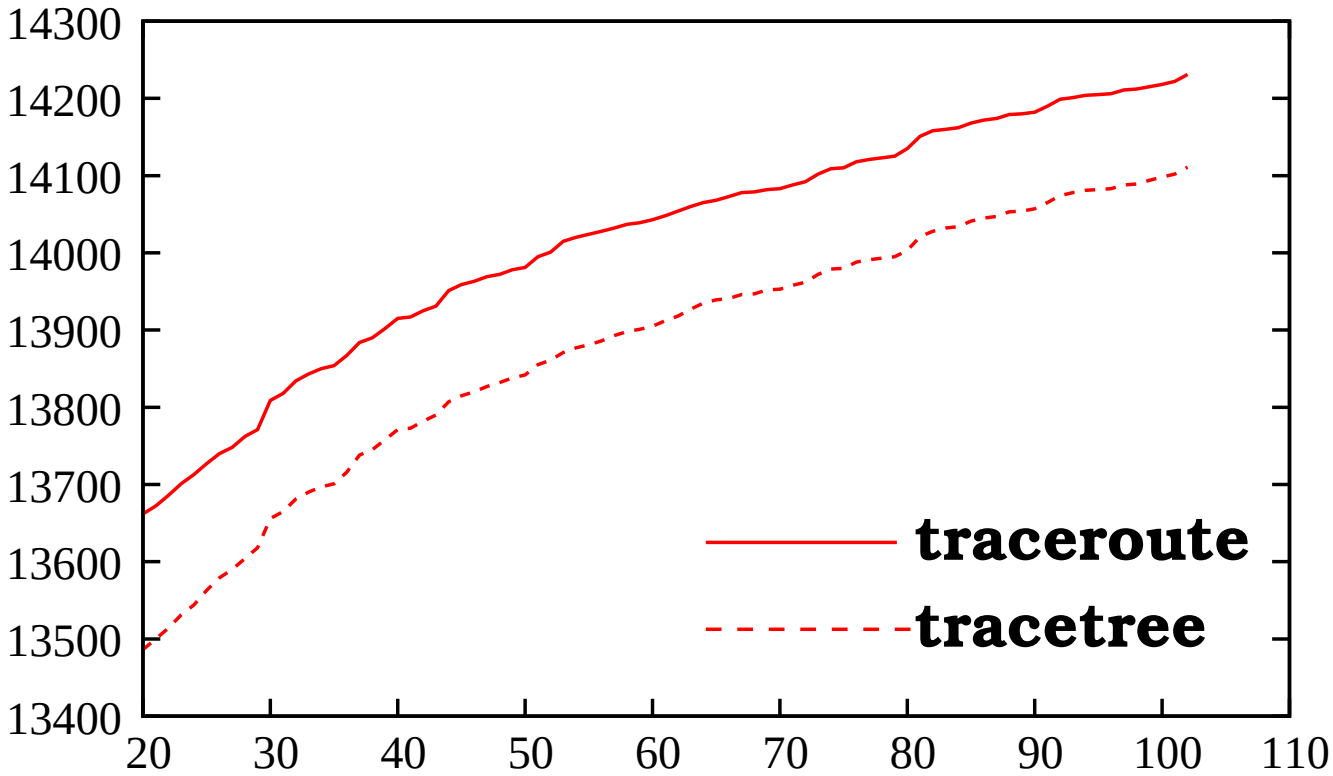
Tracetree : mêmes problèmes que traceroute pour la qualité de la mesure

Radar

- Une source
- Un ensemble de destinations
- Mesures périodiques avec tracetree

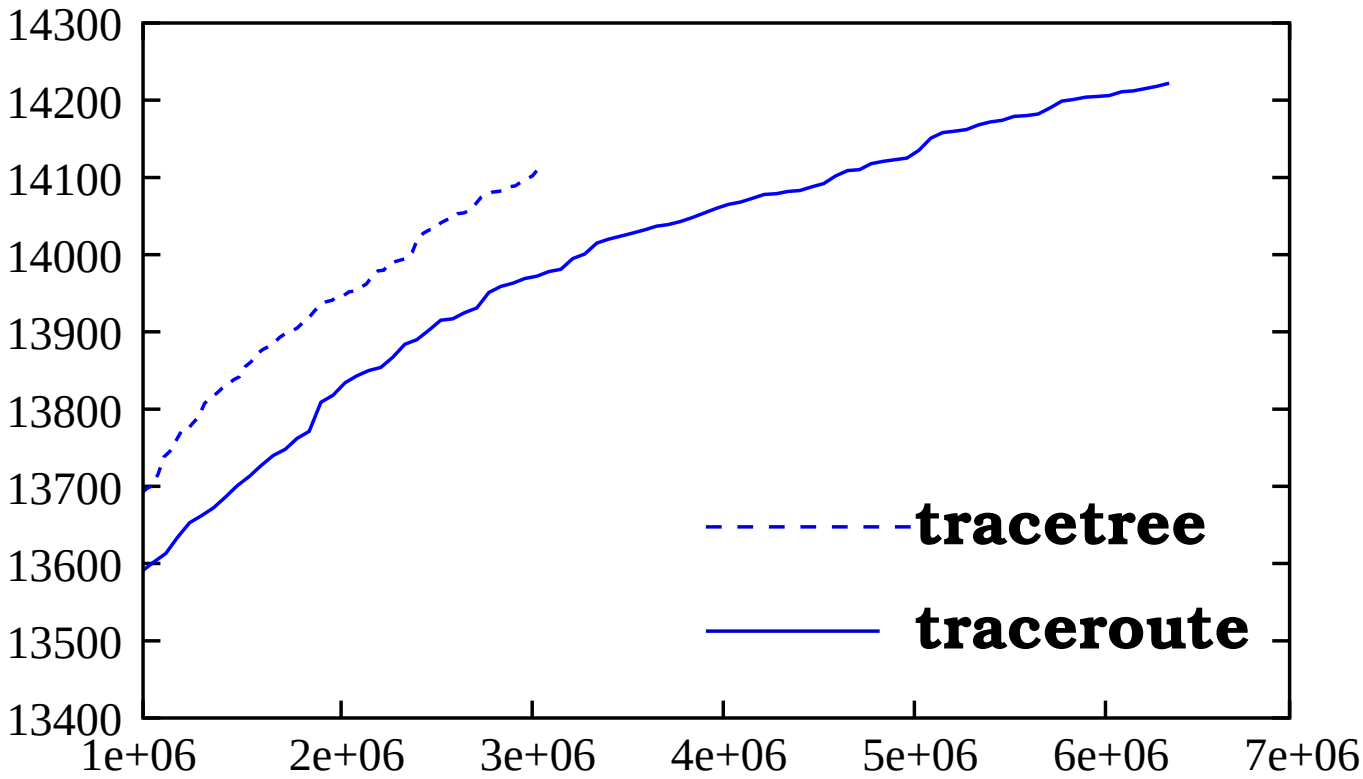
Tracetree : mêmes problèmes que traceroute pour la qualité de la mesure

tracetree vs traceroute : comparaison empirique



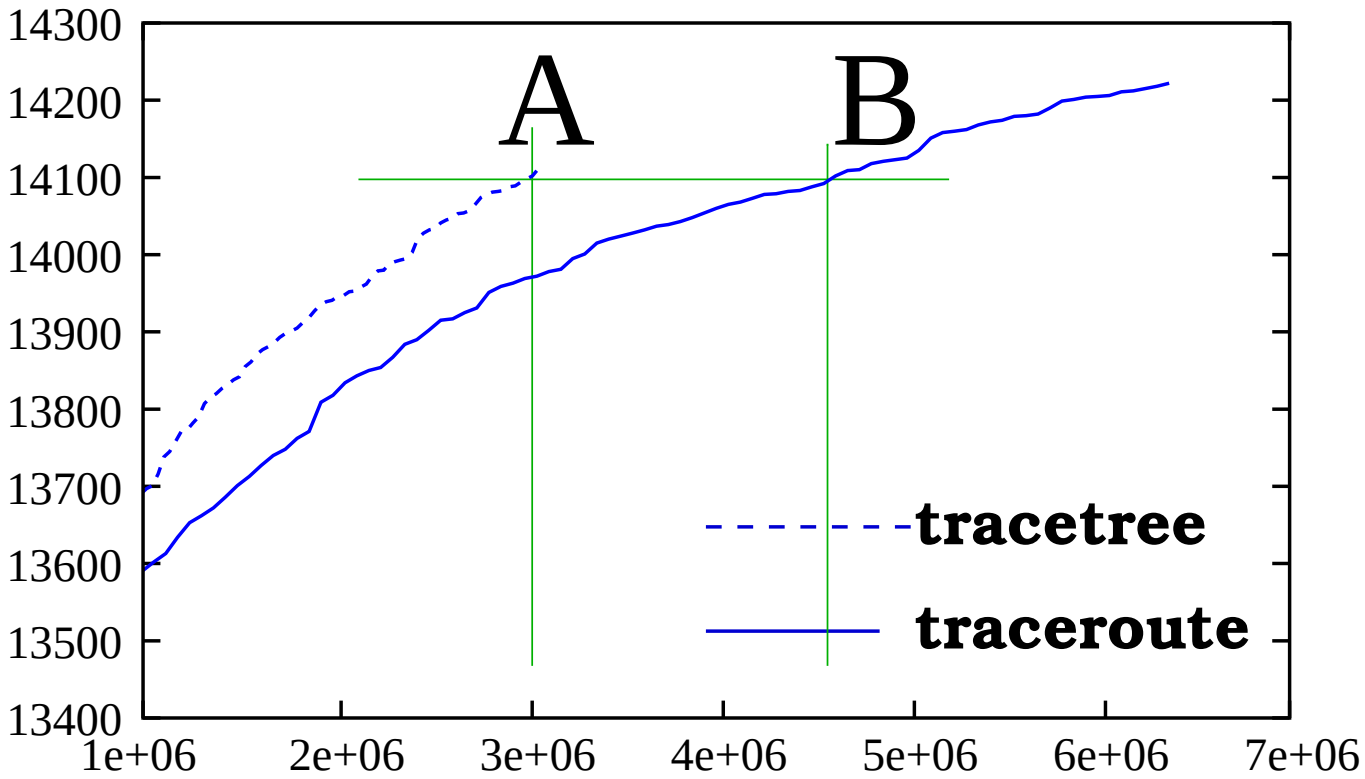
x=nb de passes, *y*=nb d'adresses IP

tracetree vs traceroute : comparaison empirique



x=nb de passes, y=nb d'adresses IP

tracetree vs traceroute : comparaison empirique



x=nb de passes, *y*=nb d'adresses IP

Paramètres

Plusieurs paramètres

Quelles sources / destinations ?
Combien de destinations ?
Délai entre passes ?
Timeout ?
...

Compromis

Haute fréquence
Grande quantité de données
Faible charge sur le réseau

Nos mesures

Deux **ensembles de paramètres** :

- *normal* : 3000 destinations, 10 min. délai entre passes, TTL max 30, ... $\sim$ 100 passes / jour
- *rapide* : 1000 destinations, 1 min. délai entre passes, TTL max 15, ... $>$ 800 passes / jour

Sources : PlanetLab et autres ($>$ 100)

Destinations : Aléatoires, répondant au ping

Plusieurs mois de mesure ininterrompue
Données disponibles pour étude

Nos mesures

Deux **ensembles de paramètres** :

- *normal* : 3000 destinations, 10 min. délai entre passes, TTL max 30, ... $\sim$ 100 passes / jour
- *rapide* : 1000 destinations, 1 min. délai entre passes, TTL max 15, ... $>$ 800 passes / jour

Sources : PlanetLab et autres ($>$ 100)

Destinations : Aléatoires, répondant au ping

Plusieurs mois de mesure ininterrompue
Données disponibles pour étude

Outline

Analyse

Quelle dynamique ?

Pour :

- mieux comprendre
- modéliser, simuler
- détecter des événements
- ...

Comment répondre à cette question ?

Pas de méthode toute faite

Analyse

Quelle dynamique ?

Pour :

- mieux comprendre
- modéliser, simuler
- détecter des événements
- ...

Comment répondre à cette question ?

Pas de méthode toute faite

Étude d'une passe

Variations en fonction :

- de la source
- du moment

Quelques tendances générales

- $\sim$ 12 000 IP
- $\sim$ 12 000 étoiles
- la plupart des nœuds à distance 13-18

On observe toujours le même type de comportements

Étude d'une passe

Variations en fonction :

- de la source
- du moment

Quelques tendances générales

- $\sim$ 12 000 IP
- $\sim$ 12 000 étoiles
- la plupart des nœuds à distance 13-18

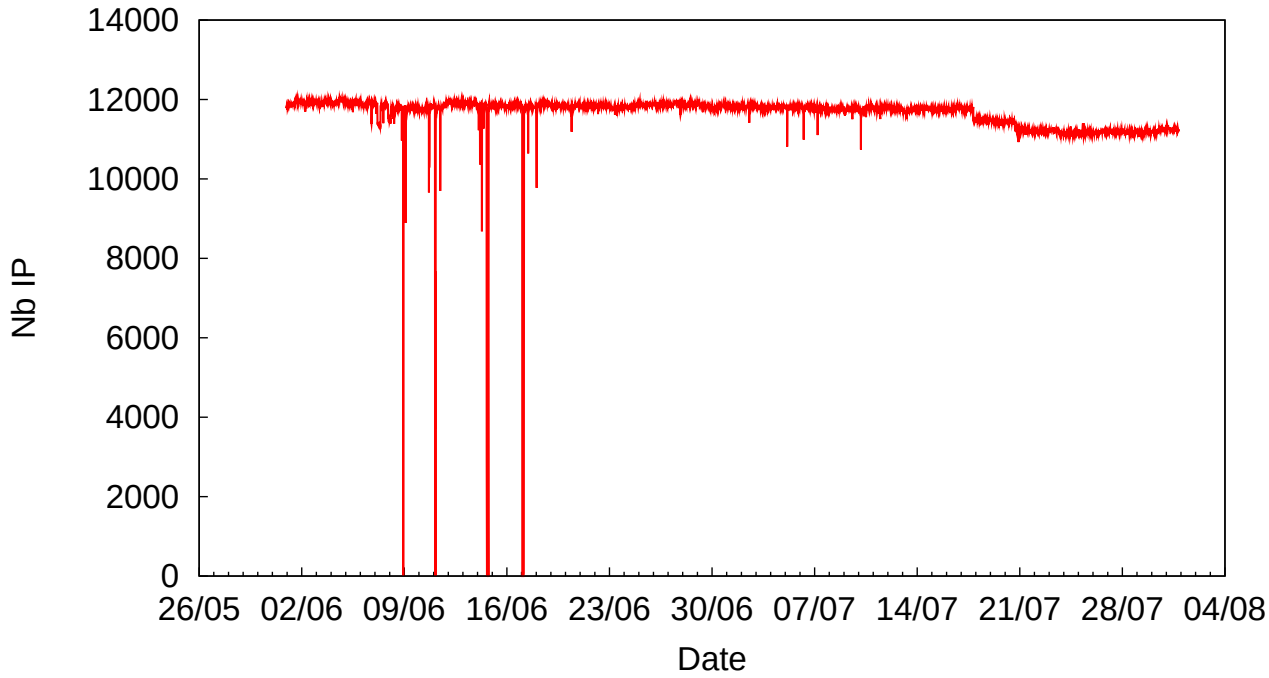
On observe toujours le même type de comportements

Propriétés simples au fil du temps

Première approche :
Évolution de propriétés simples au fil du temps

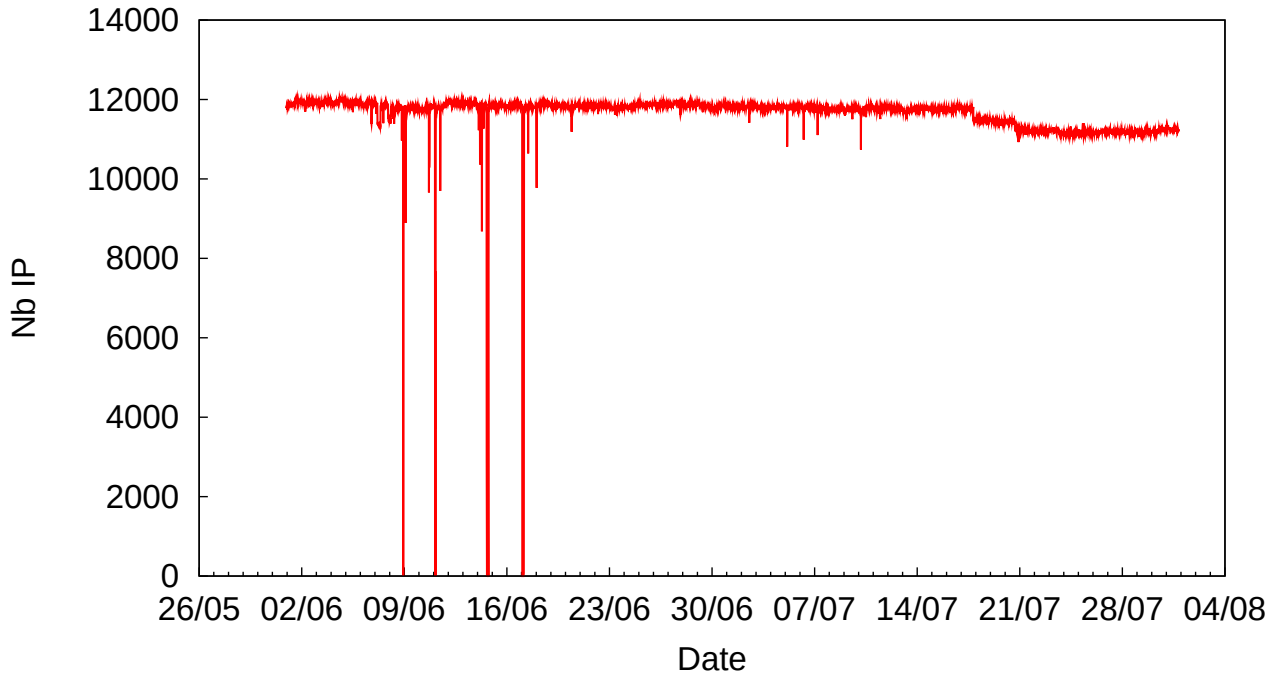
- nombre d'IP
- nombre d'étoiles
- durée des passes
- ...

Propriétés simples au fil du temps



- source au Japon
- deux mois de mesures
- $\sim$ 6 000 passes

Propriétés simples au fil du temps



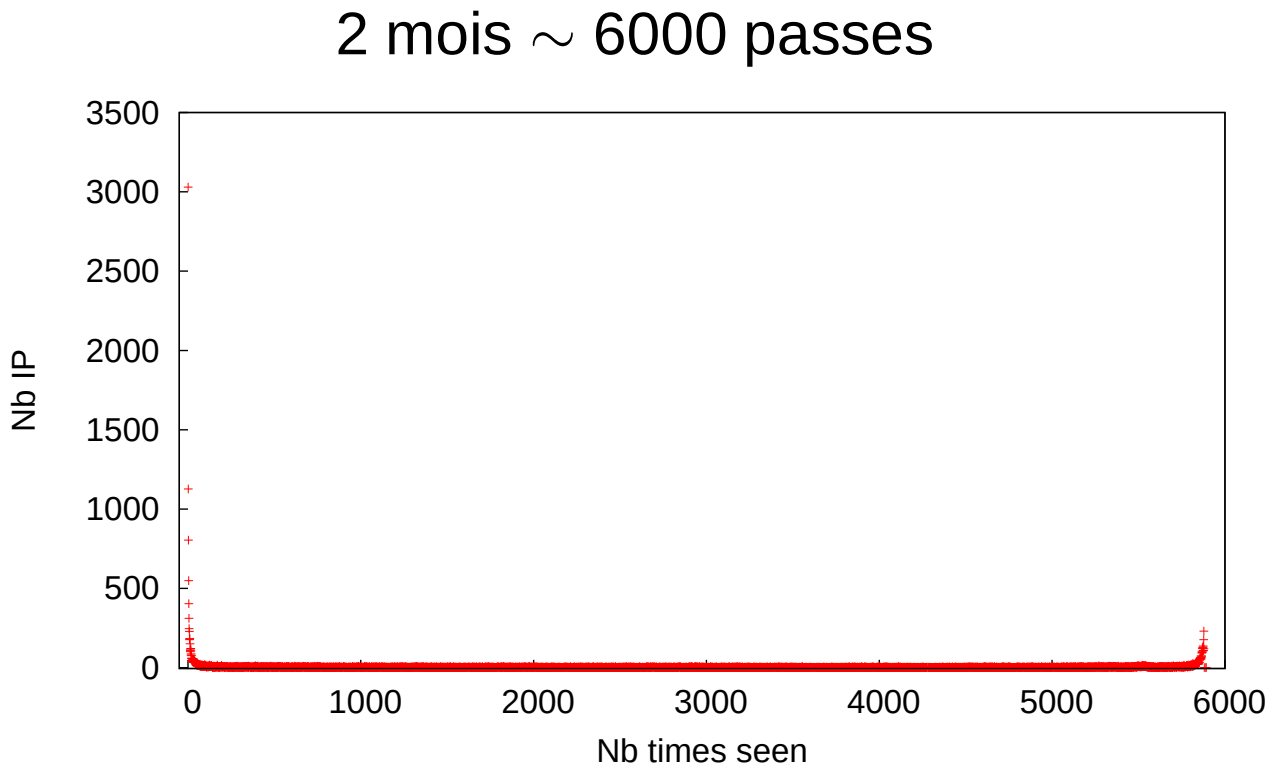
- Plus ou moins constant
- Pics vers le bas → déconnections ?
- Pas de pics vers le haut

Présence des IP

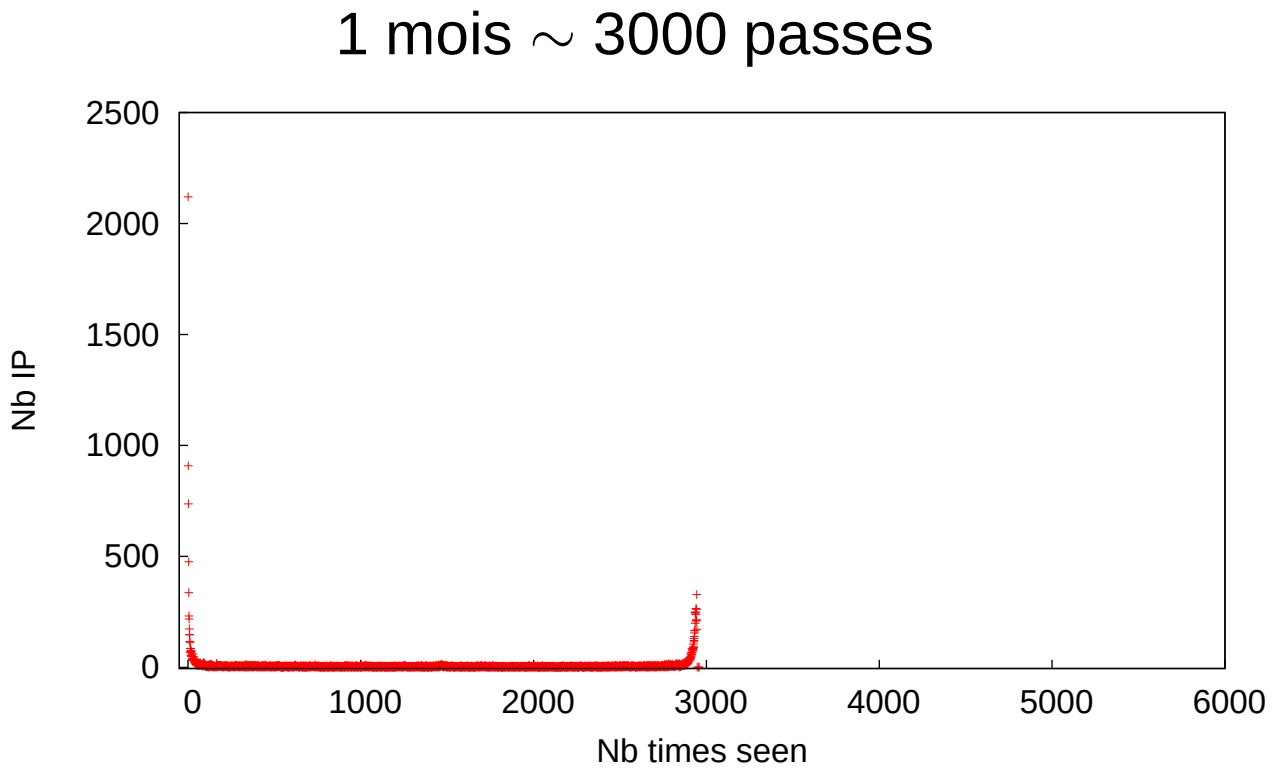
Distribution du nombre de présences

Toutes les IP vues pendant la mesure ($\sim 29\,000$)
Pour chaque IP : nombre de passes où on l'a vue
$\longrightarrow$ Distribution

Présence des IP

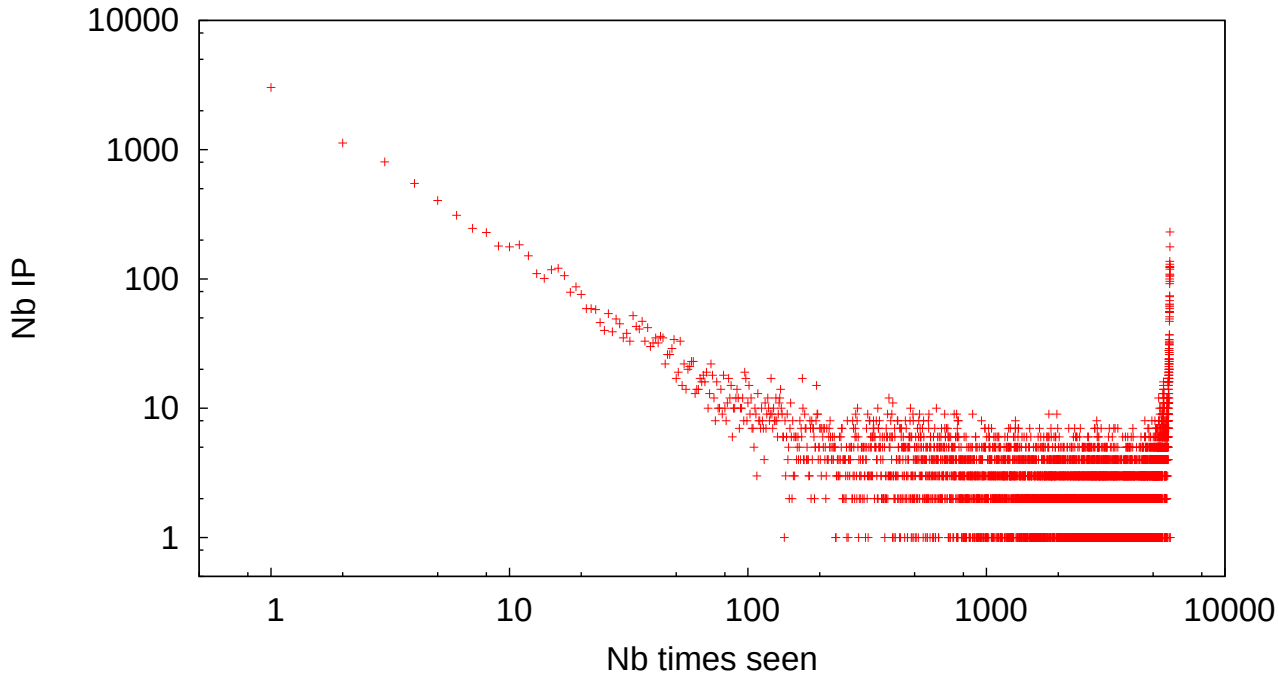


Présence des IP



Présence des IP

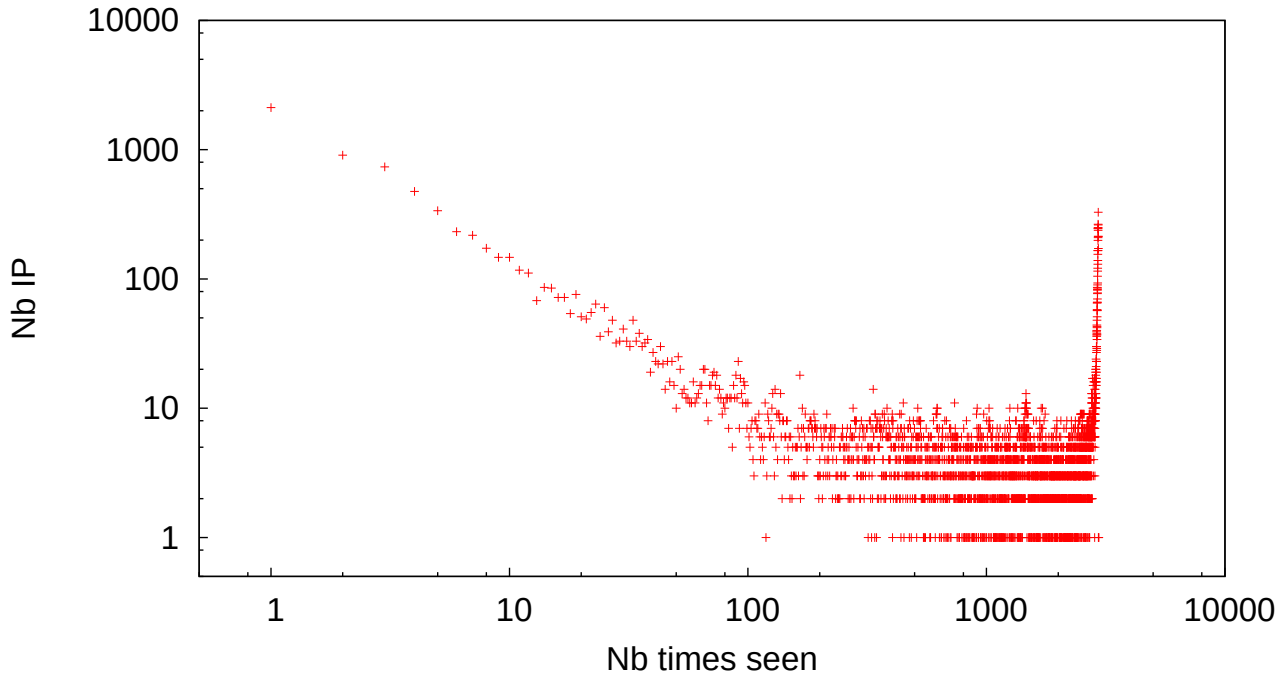
2 mois $\sim$ 6000 passes — Échelle log-log



hétérogène $\rightarrow$ pas de valeur typique

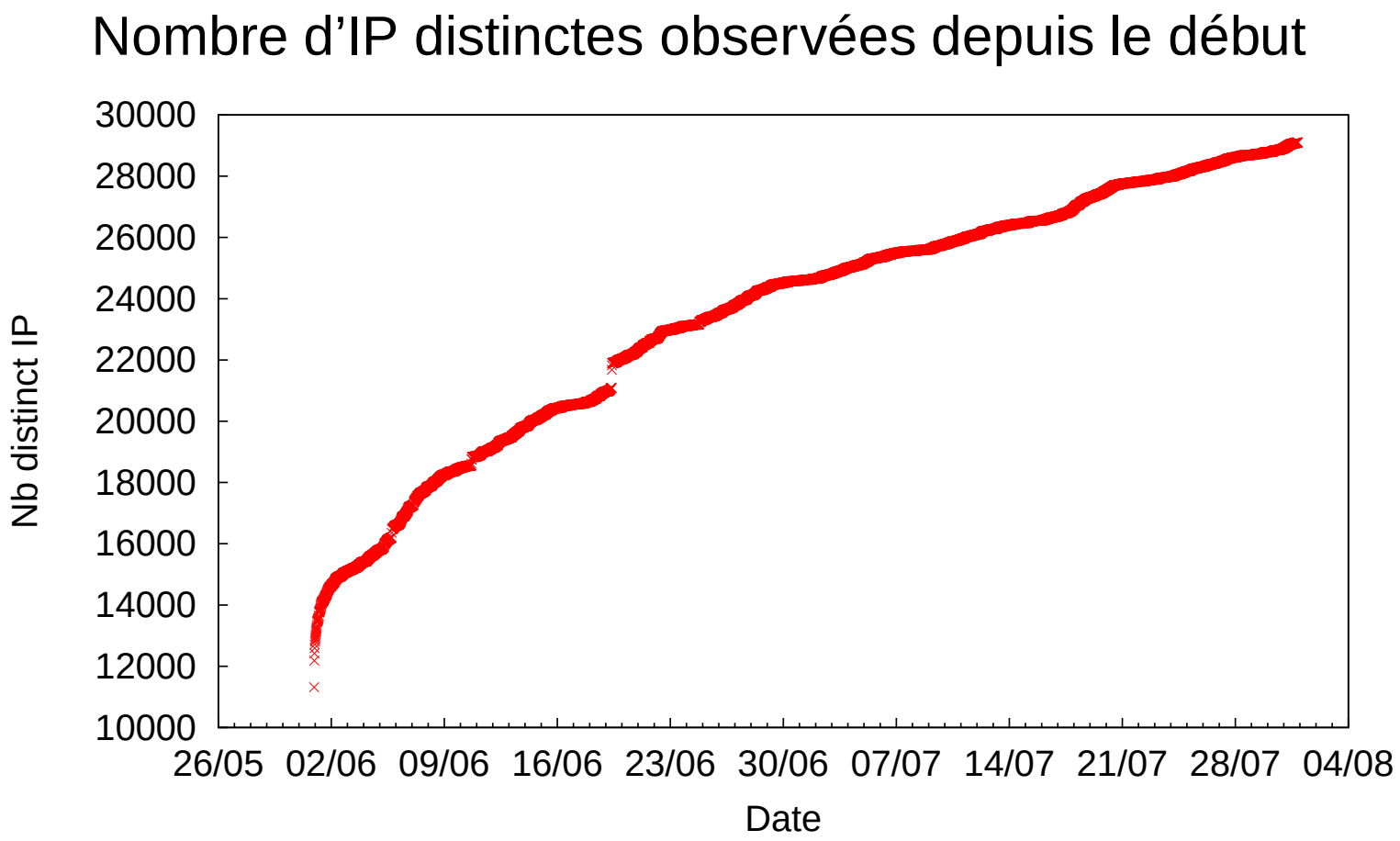
Présence des IP

1 mois $\sim$ 3000 passes — Échelle log-log



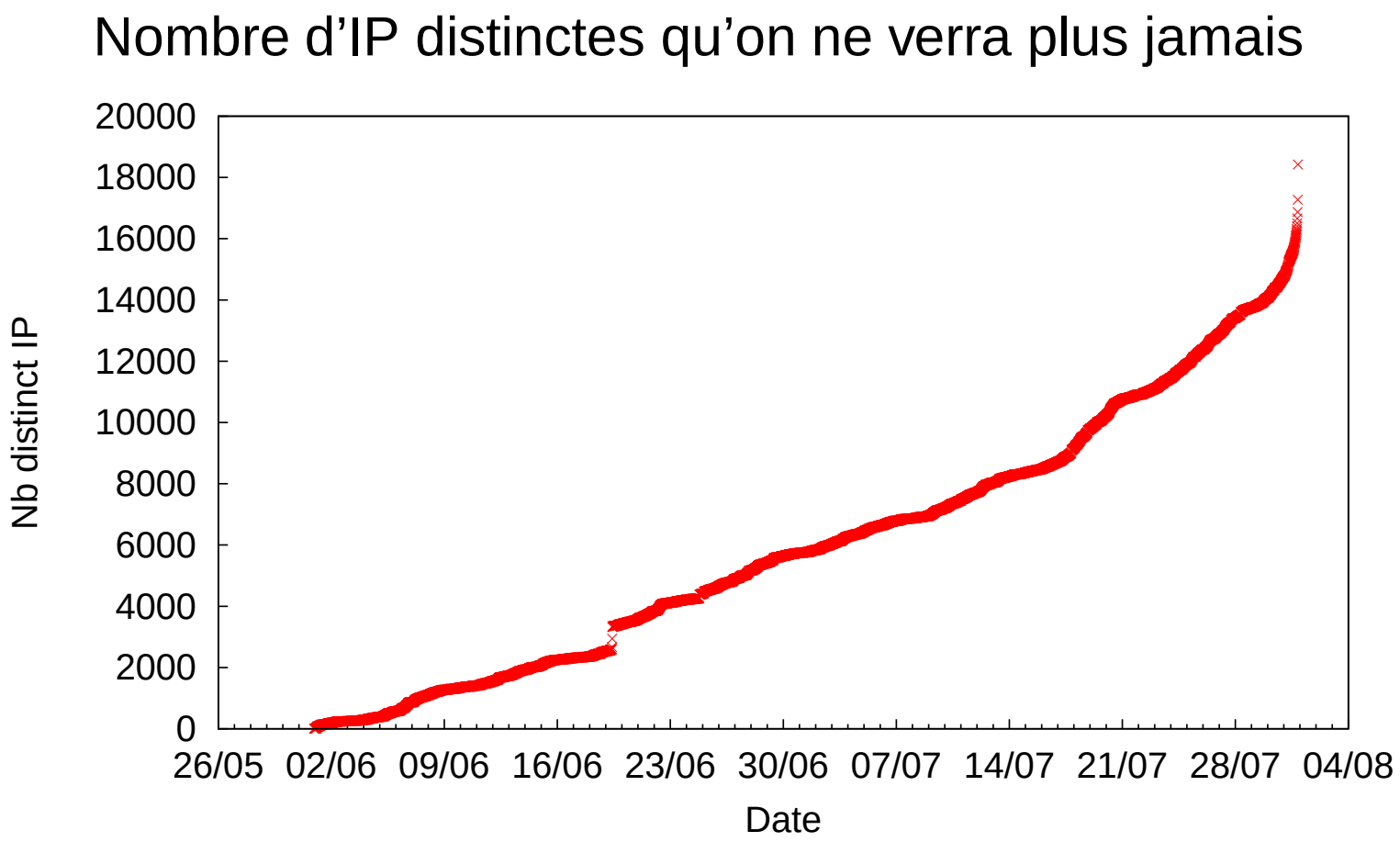
hétérogène $\rightarrow$ pas de valeur typique

Dynamique : stabilisation ?



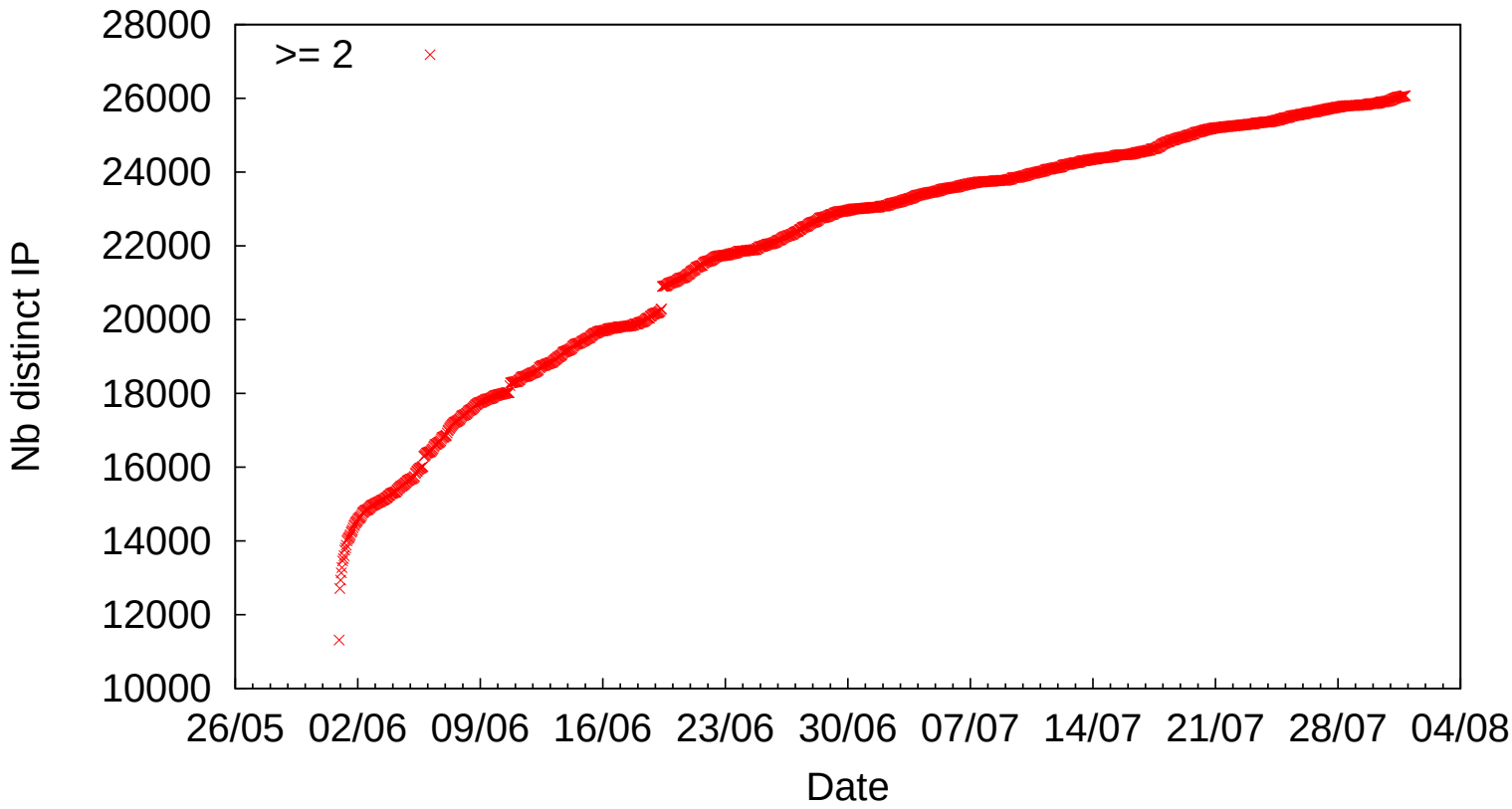
nouvelles IP observées en permanence

Disparitions

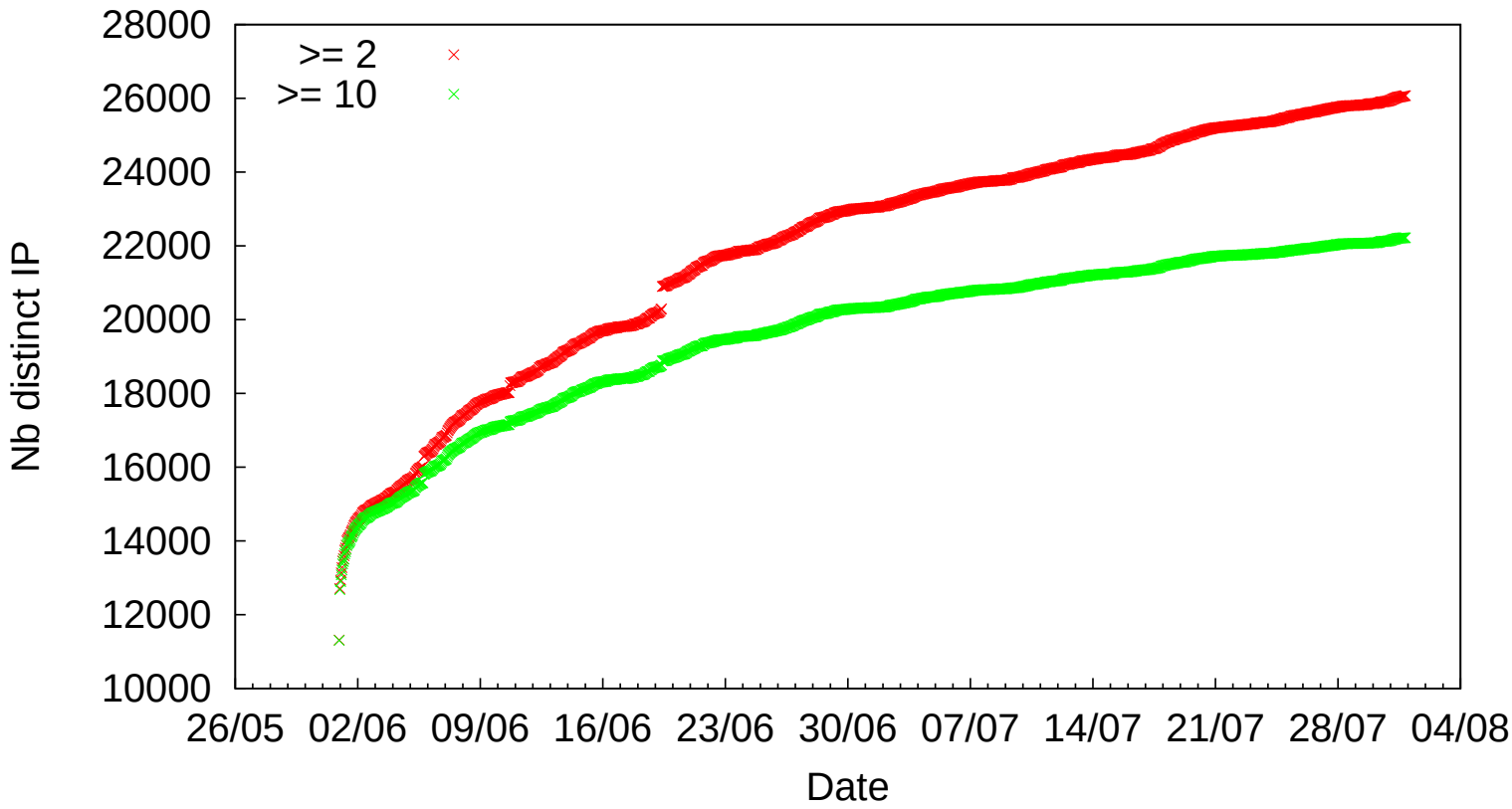


Renouvellement continu des IP observées

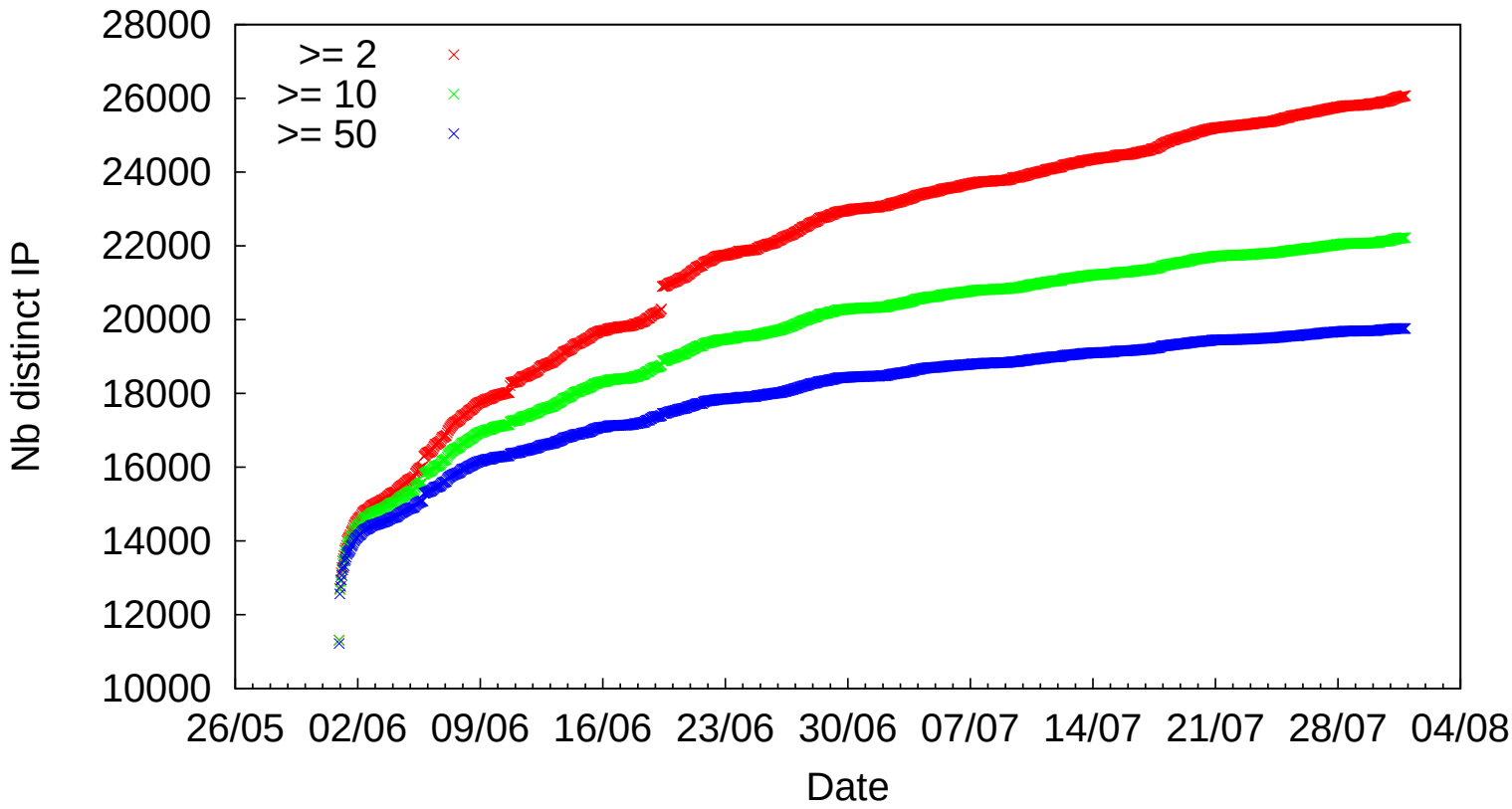
Influence des IP vues une seule fois ?



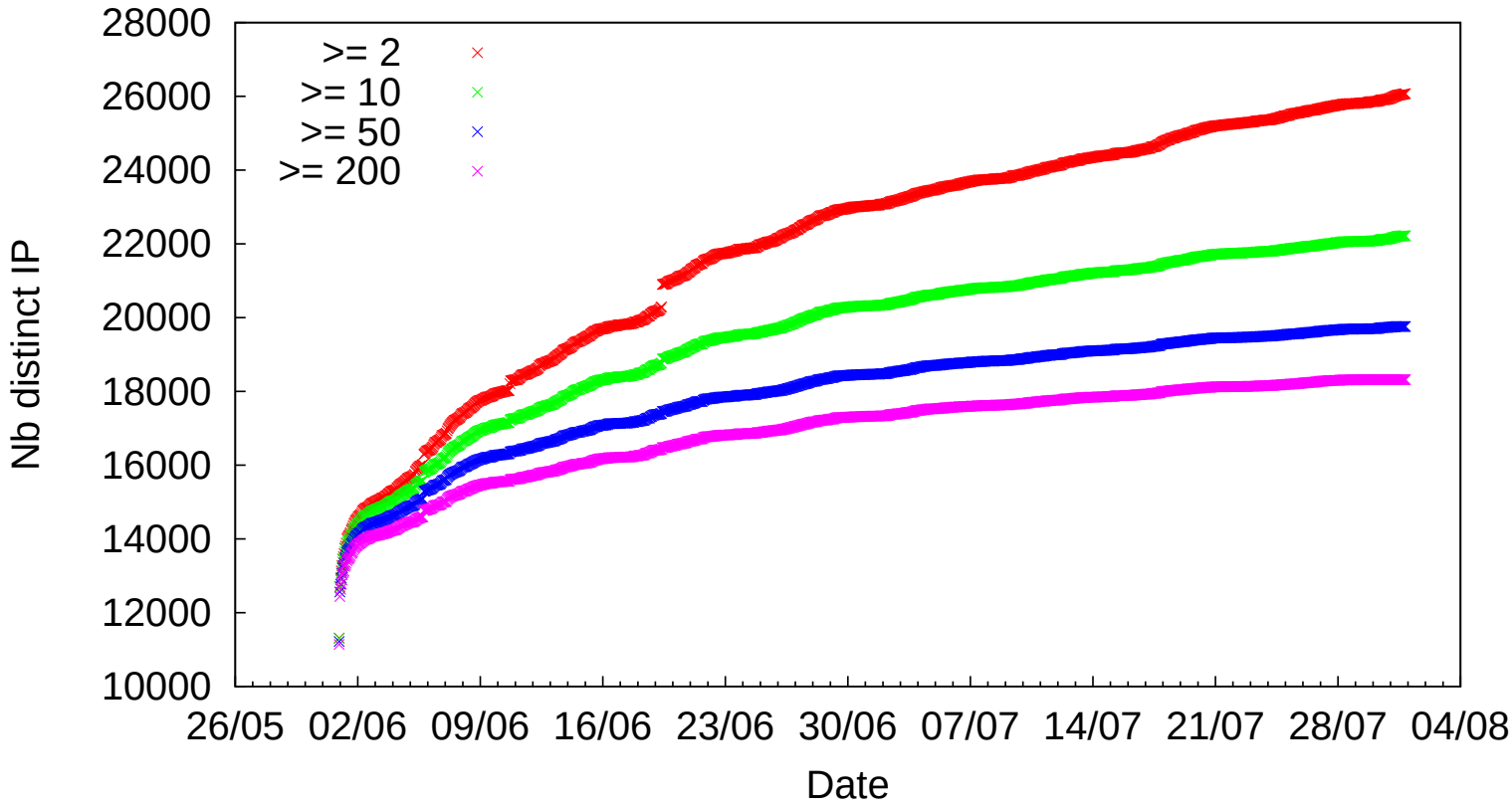
Influence des IP vues une seule fois ?



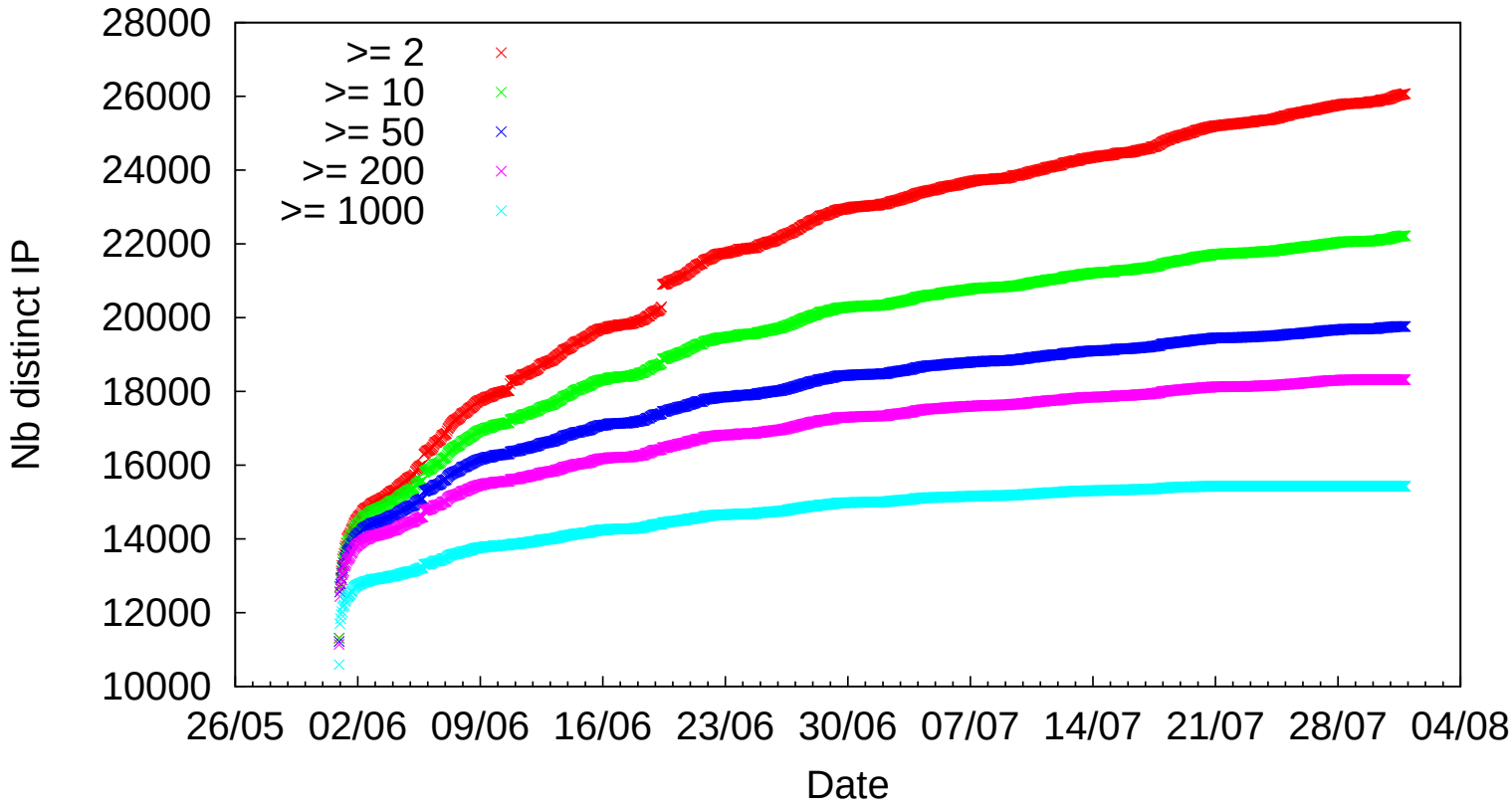
Influence des IP vues une seule fois ?



Influence des IP vues une seule fois ?



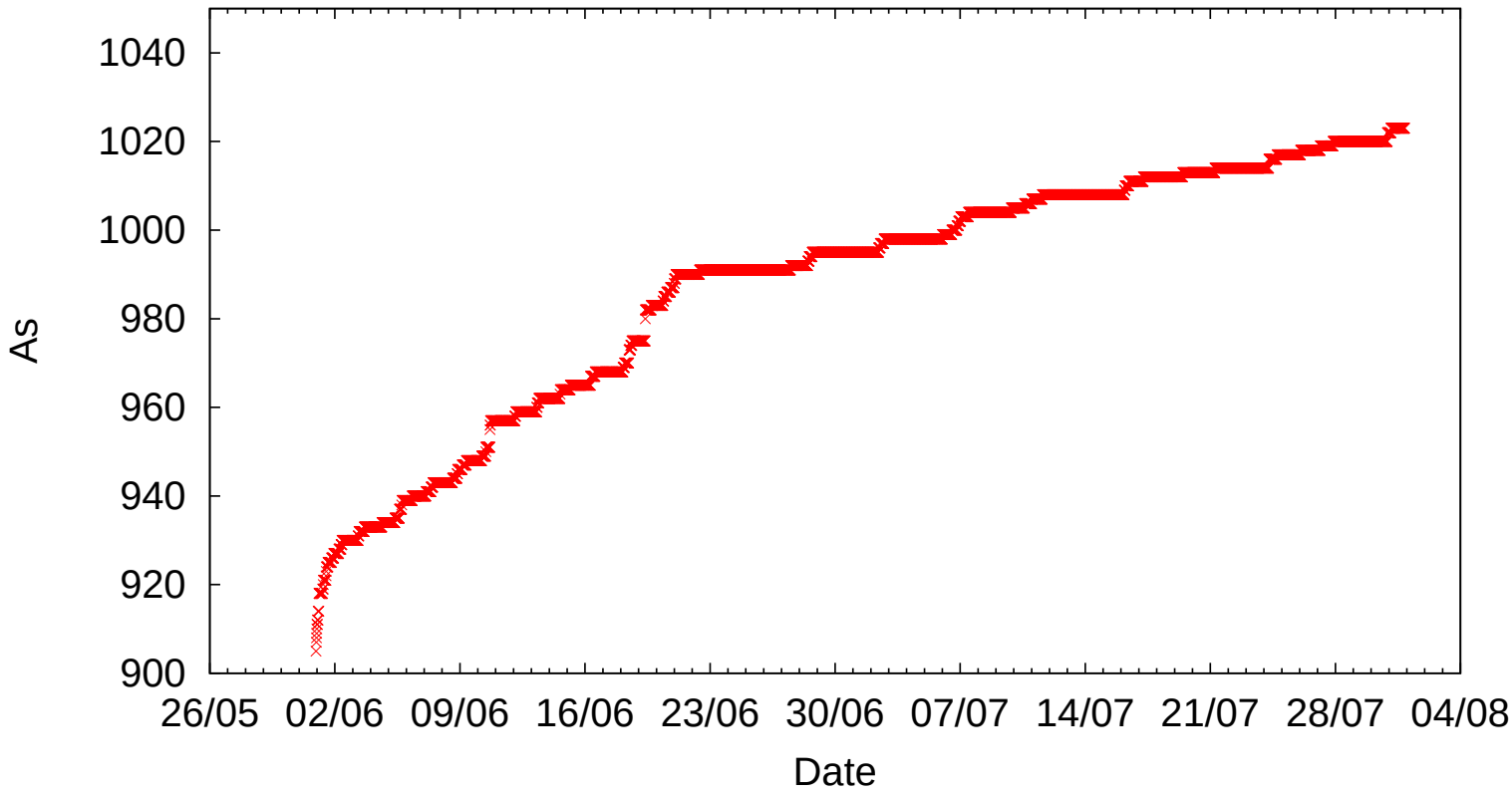
Influence des IP vues une seule fois ?



Autonomous Systems

Autonomous System (AS) : institution indépendante
Chaque IP est dans un AS
$\longrightarrow$ Nombre d'AS vus depuis le début de la mesure

Autonomous Systems



Routeviews

Projet Routeviews

Nombreux moniteurs

Historique des tables de routage

Routeviews

Simulation du radar au niveau AS

Moniteur proche de la source

Table de routage

4.23.112.0/24	4777 2516 215 17132
	7500 2497 215 17132
4.23.113.0/24	4777 2516 324 21889
	7500 2497 324 21889
	2497 174 21889
4.23.114.0/24	4812 3015 174 5313
	7500 2497 174 5313

Routeviews

Simulation du radar au niveau AS
Moniteur proche de la source
Destination $\longrightarrow$ préfixe

Table de routage

4.23.112.0/24	4777 2516 215 17132
	7500 2497 215 17132
4.23.113.0/24	4777 2516 324 21889
	7500 2497 324 21889
	2497 174 21889
4.23.114.0/24	4812 3015 174 5313
	7500 2497 174 5313

Routeviews

Simulation du radar au niveau AS

Moniteur proche de la source

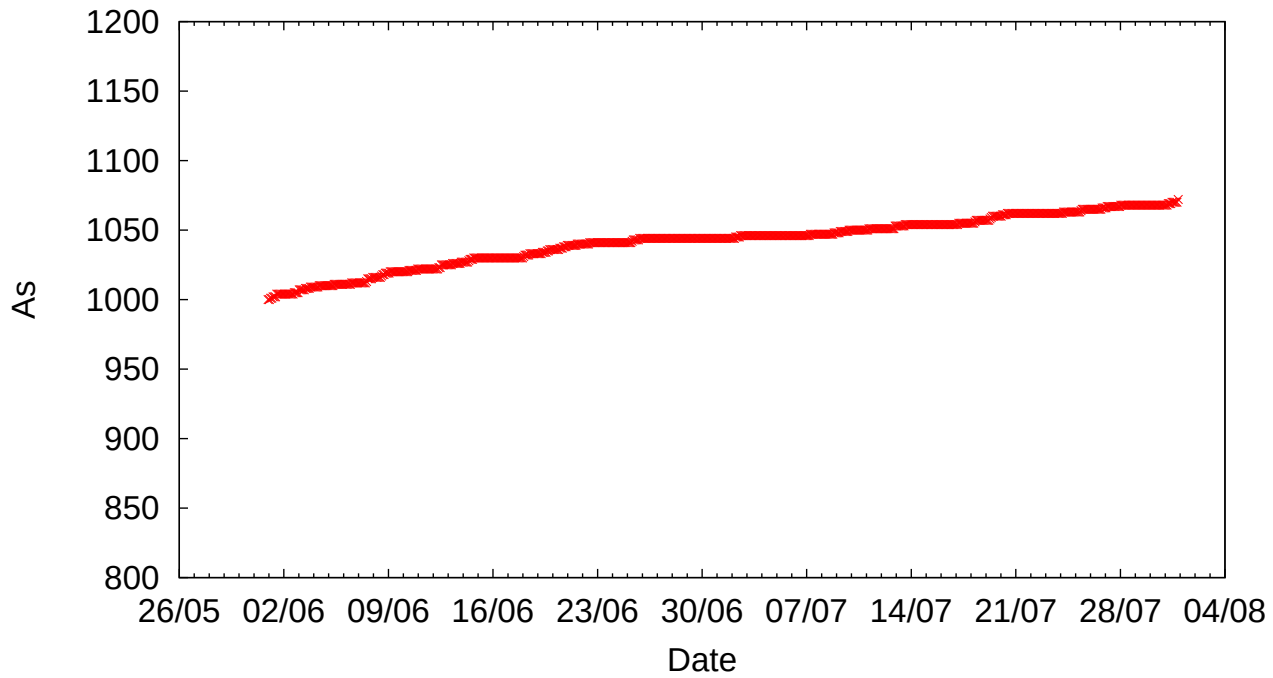
Destination $\rightarrow$ préfixe

$\rightarrow$ensemble de chemins d'AS

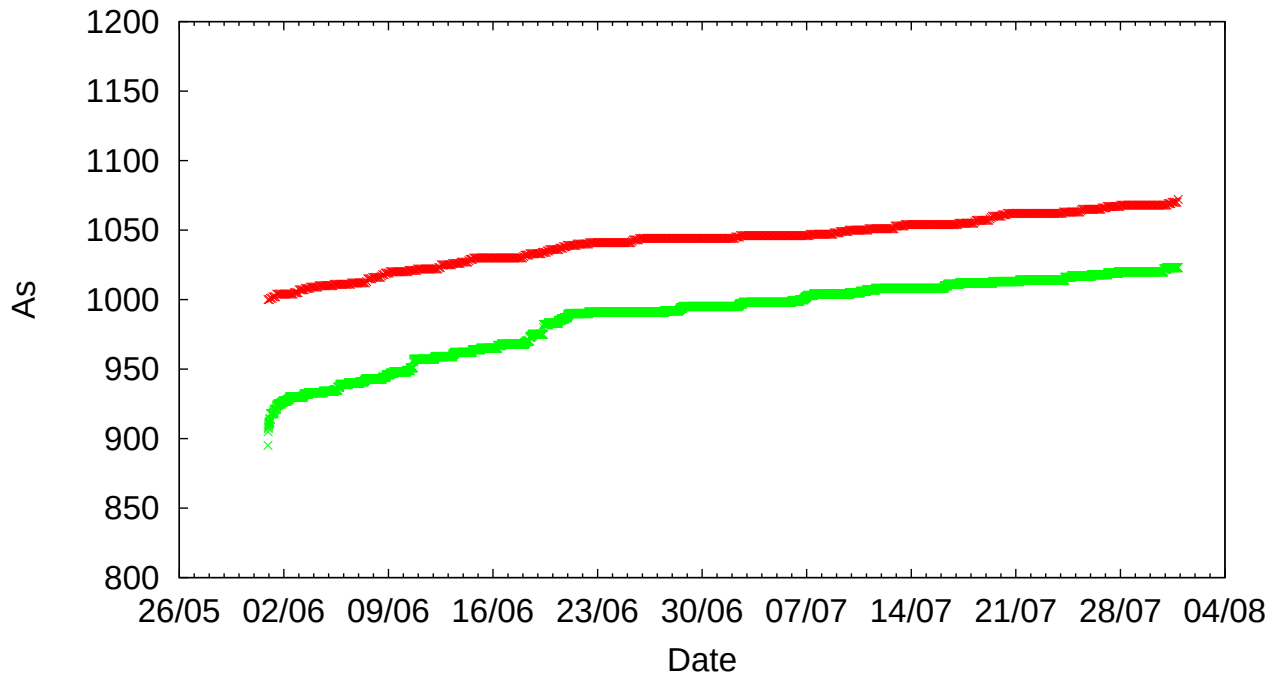
Table de routage

4.23.112.0/24	4777 2516 215 17132
	7500 2497 215 17132
4.23.113.0/24	4777 2516 324 21889
	7500 2497 324 21889
	2497 174 21889
4.23.114.0/24	4812 3015 174 5313
	7500 2497 174 5313

Routeviews


1200
1150
1100
1050
1000
950
900
850
800
As
26/05
02/06
09/06
16/06
23/06
30/06
07/07
14/07
21/07
28/07
04/08
Date

Routeviews


1200
1150
1100
1050
1000
950
900
850
800
As
26/05
02/06
09/06
16/06
23/06
30/06
07/07
14/07
21/07
28/07
04/08
Date

Nouveaux AS ?

AS observés après le début de la mesure (72)

$\longrightarrow$ Nouveaux ?

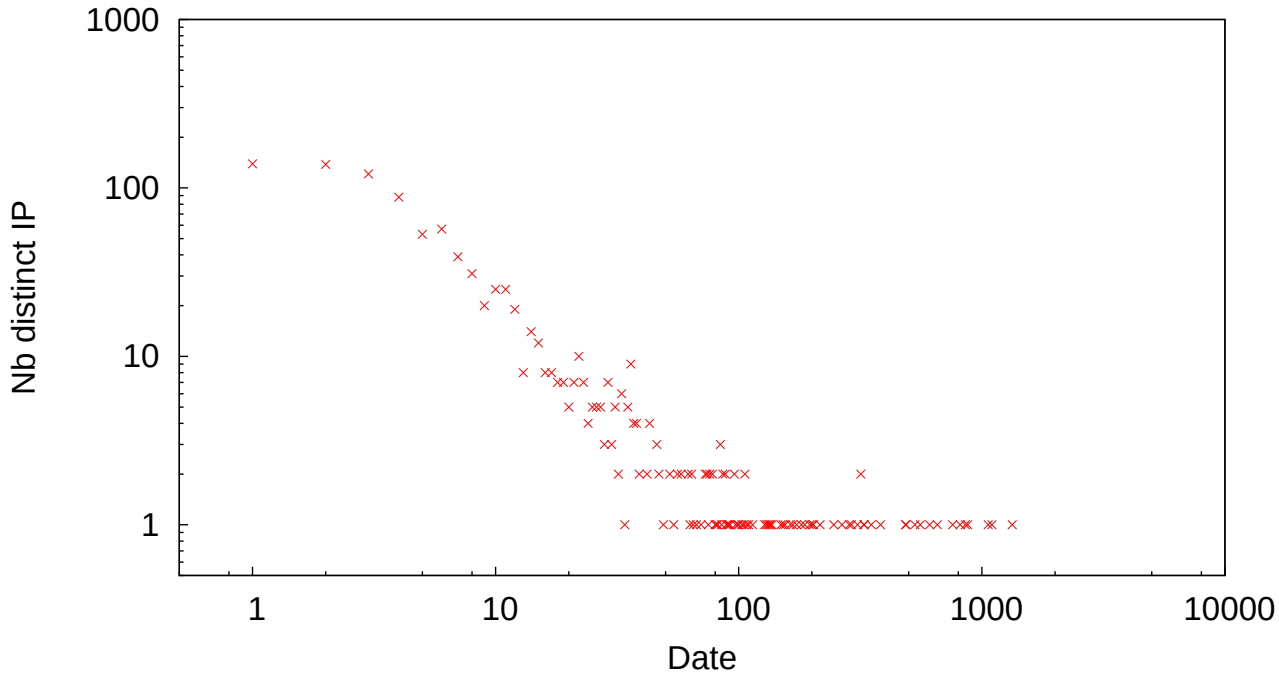
Historique des tables de routage

70 AS dans la première table de routage

Observations dûes à la dynamique BGP

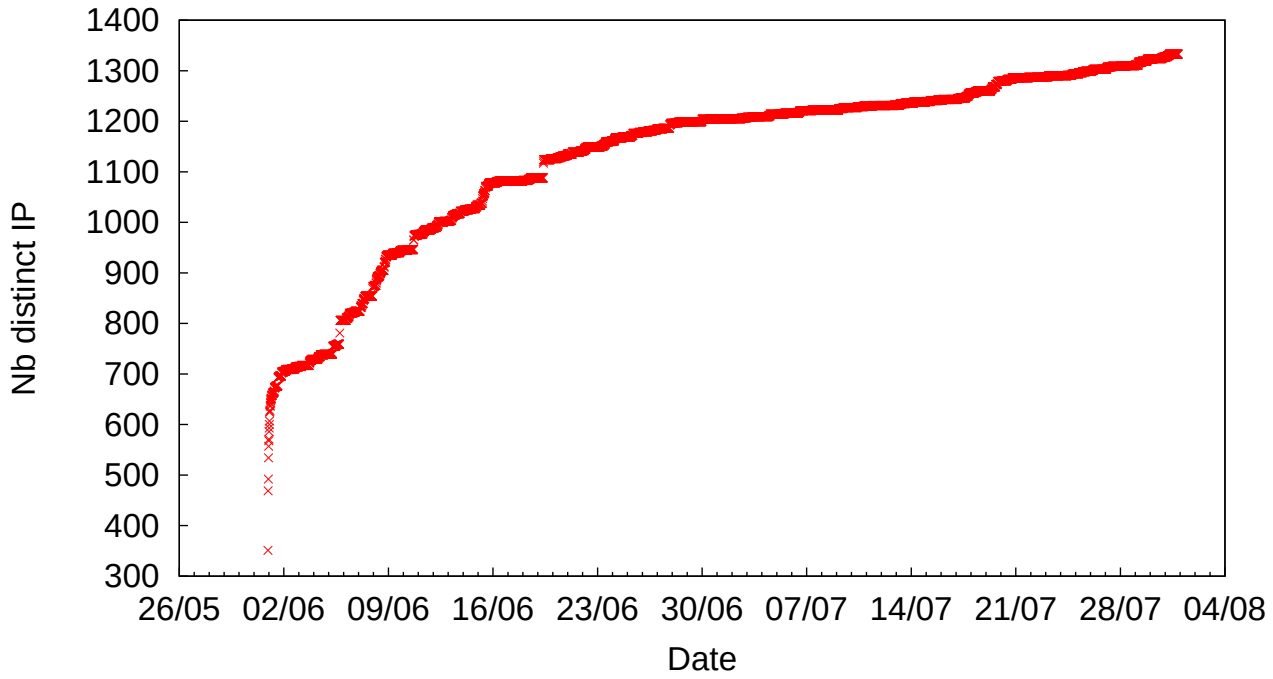
Tous les AS sont-ils équivalents ?

Distribution de la taille observée



Nouveautés à l'intérieur des AS ?

Plus gros AS : 1333 IP



Conclusion sur les apparitions d'IP

Renouvellement continu des IP observées

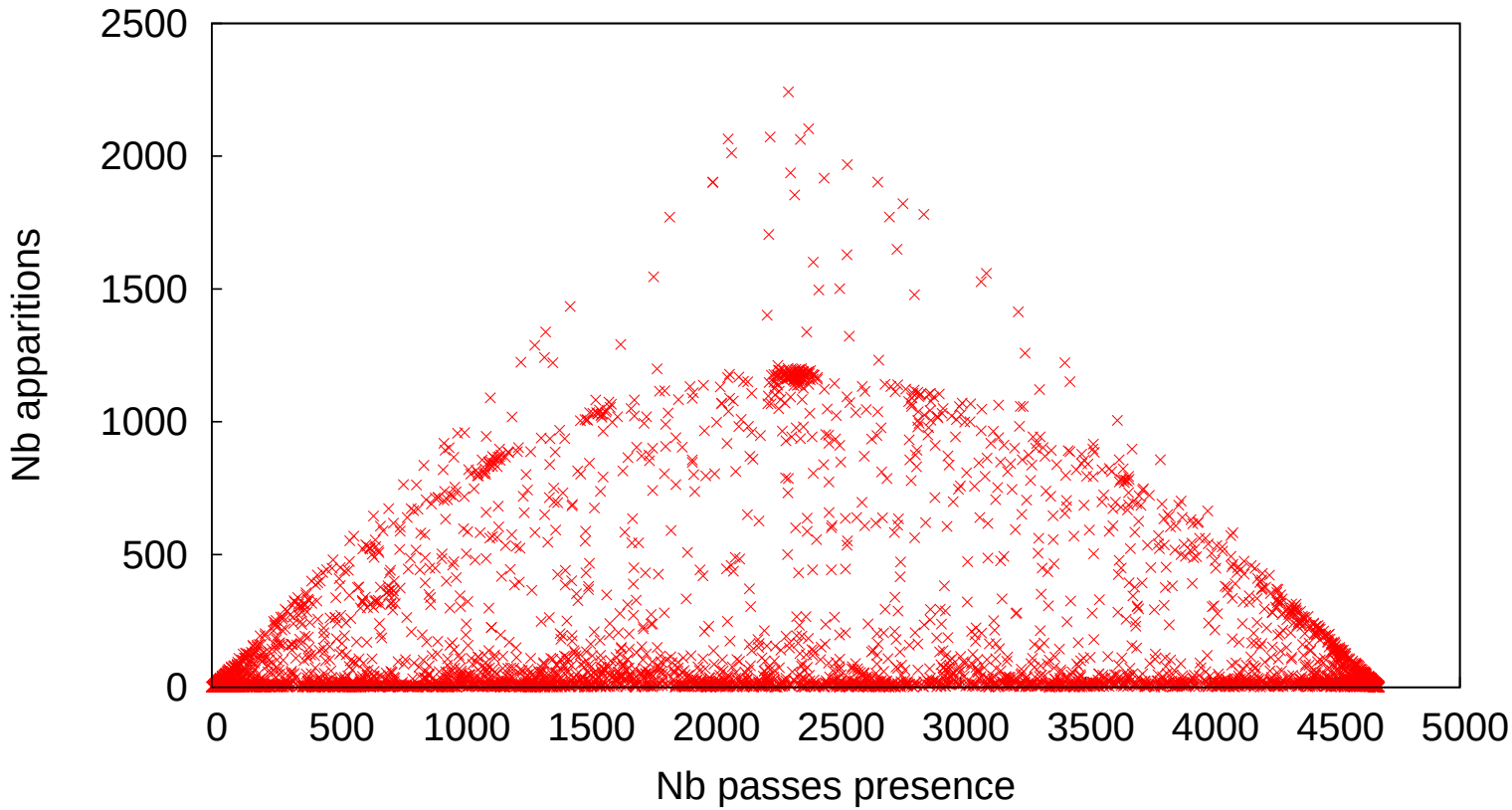
- pour les IP volatiles
- pour les IP stables

Nouvelles IP observées

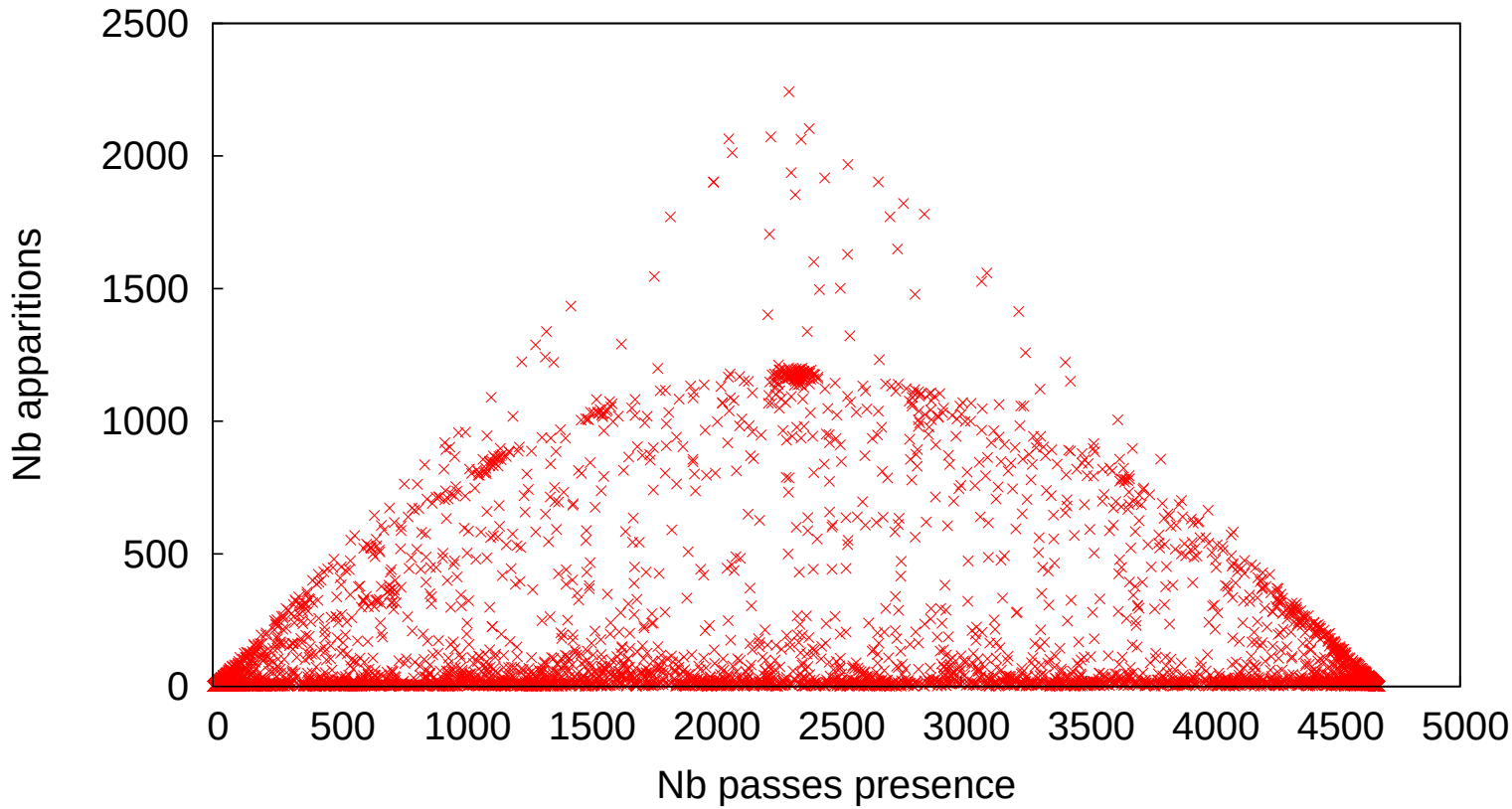
- à l'intérieur des AS déjà vus
- dans des AS nouvellement observés

Observation de nouveaux AS ← dynamique BGP

Présences vs apparitions

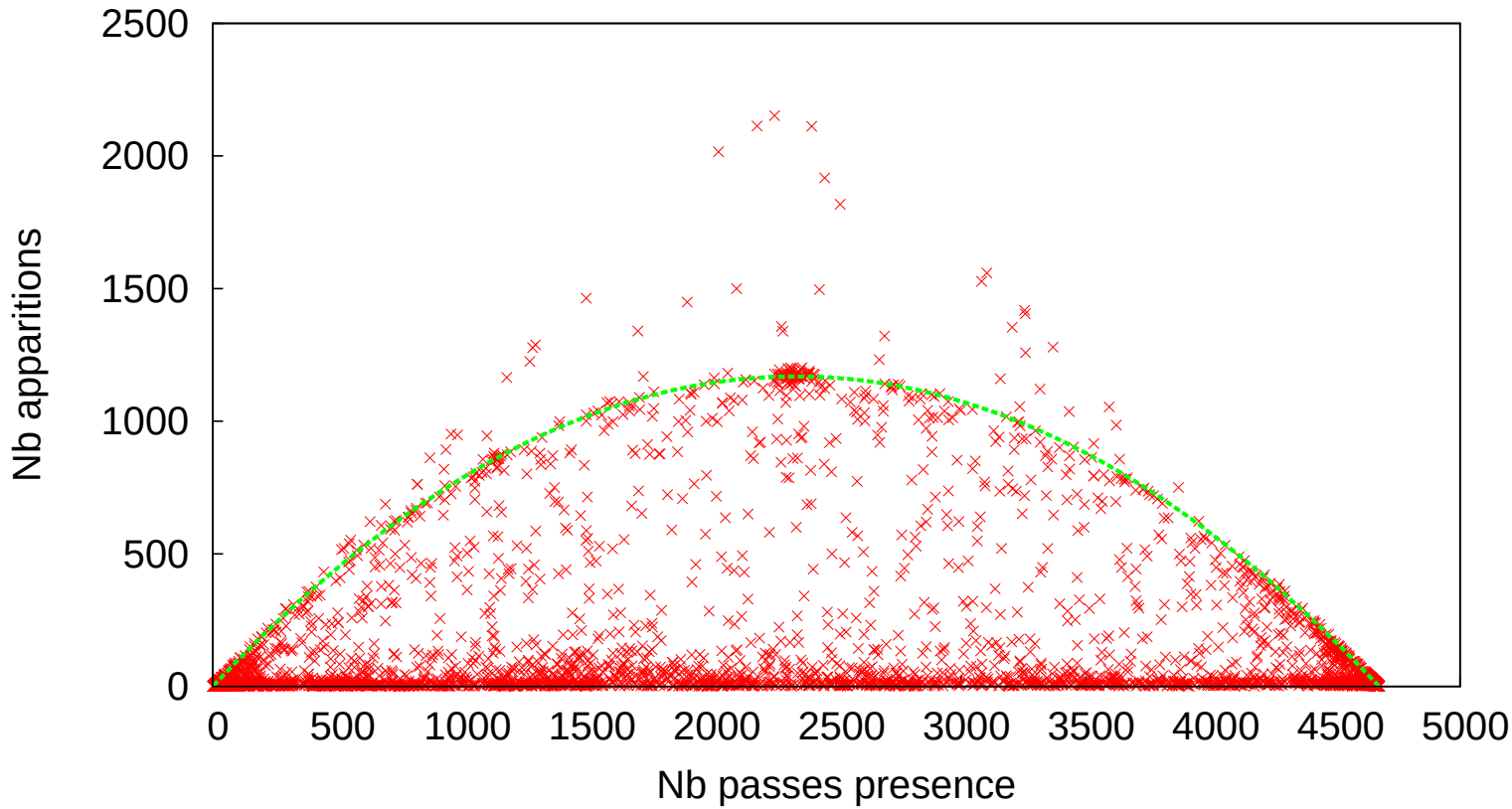


Présences vs apparitions



Triangle : Nb apparitions $\leq$ max(nb présences, nb absences)

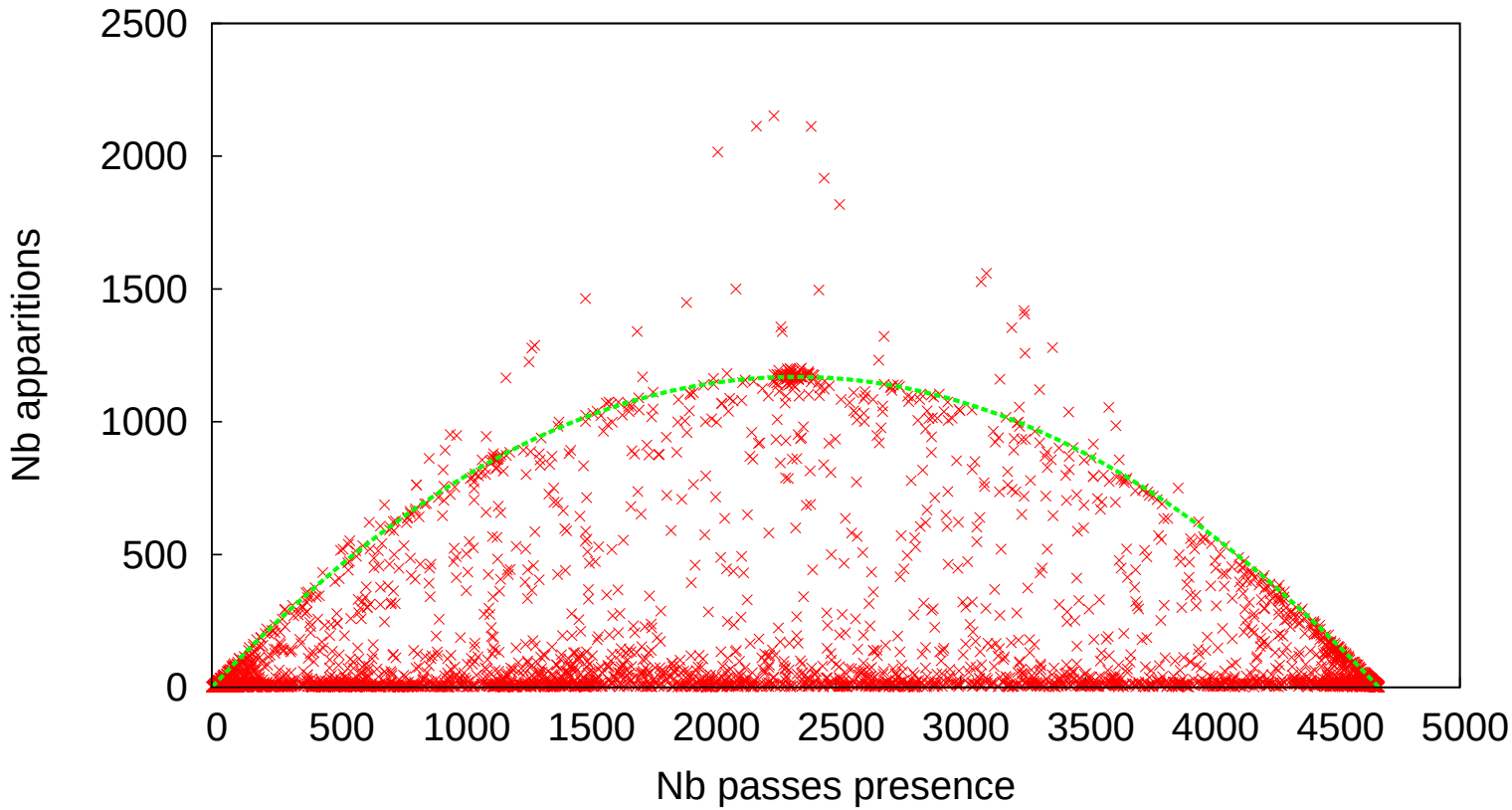
Présences vs apparitions



Parabole : Nombre d'apparitions attendues en moyenne pour ce nombre de présences

$$x(1-x)$$

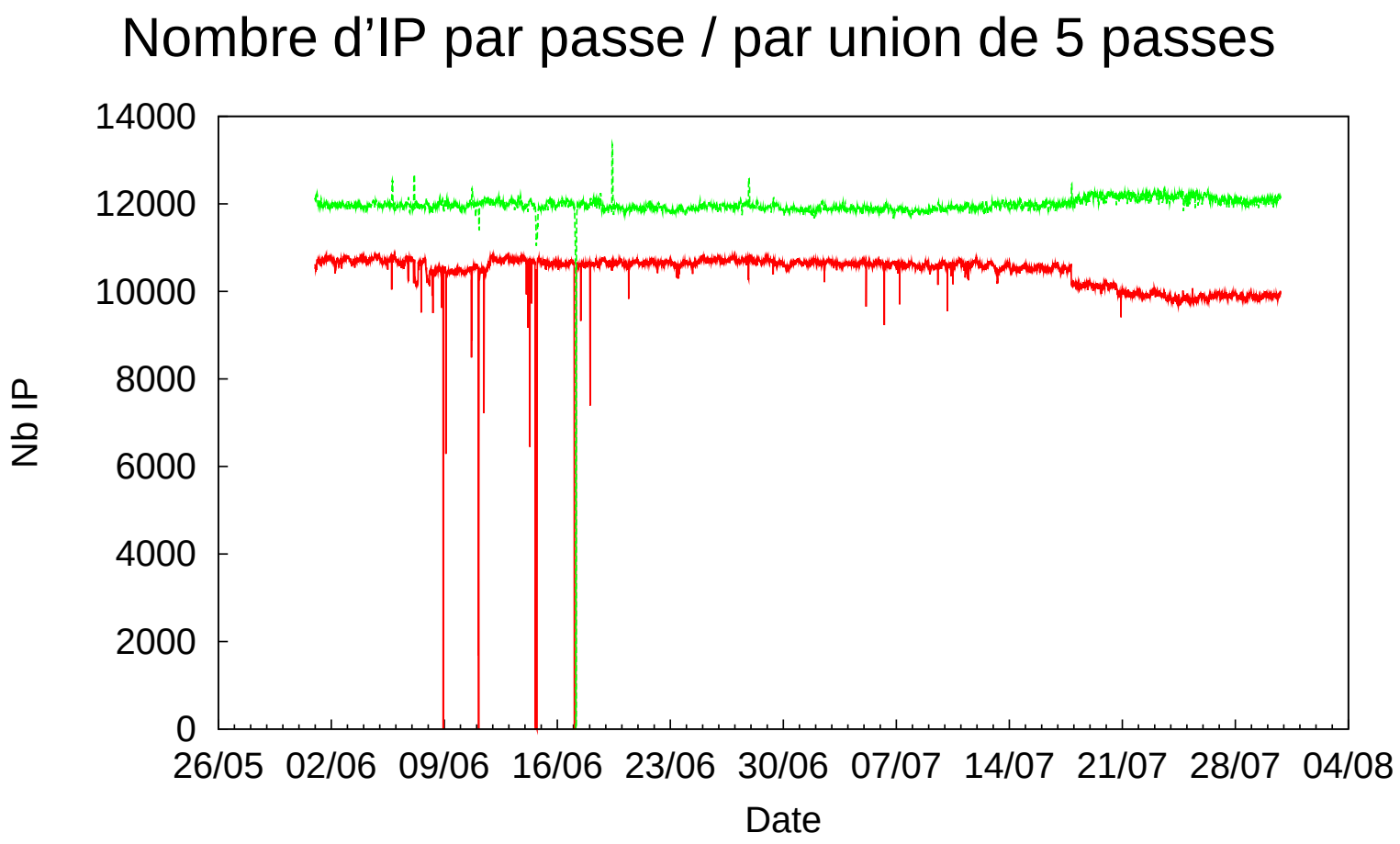
Présences vs apparitions



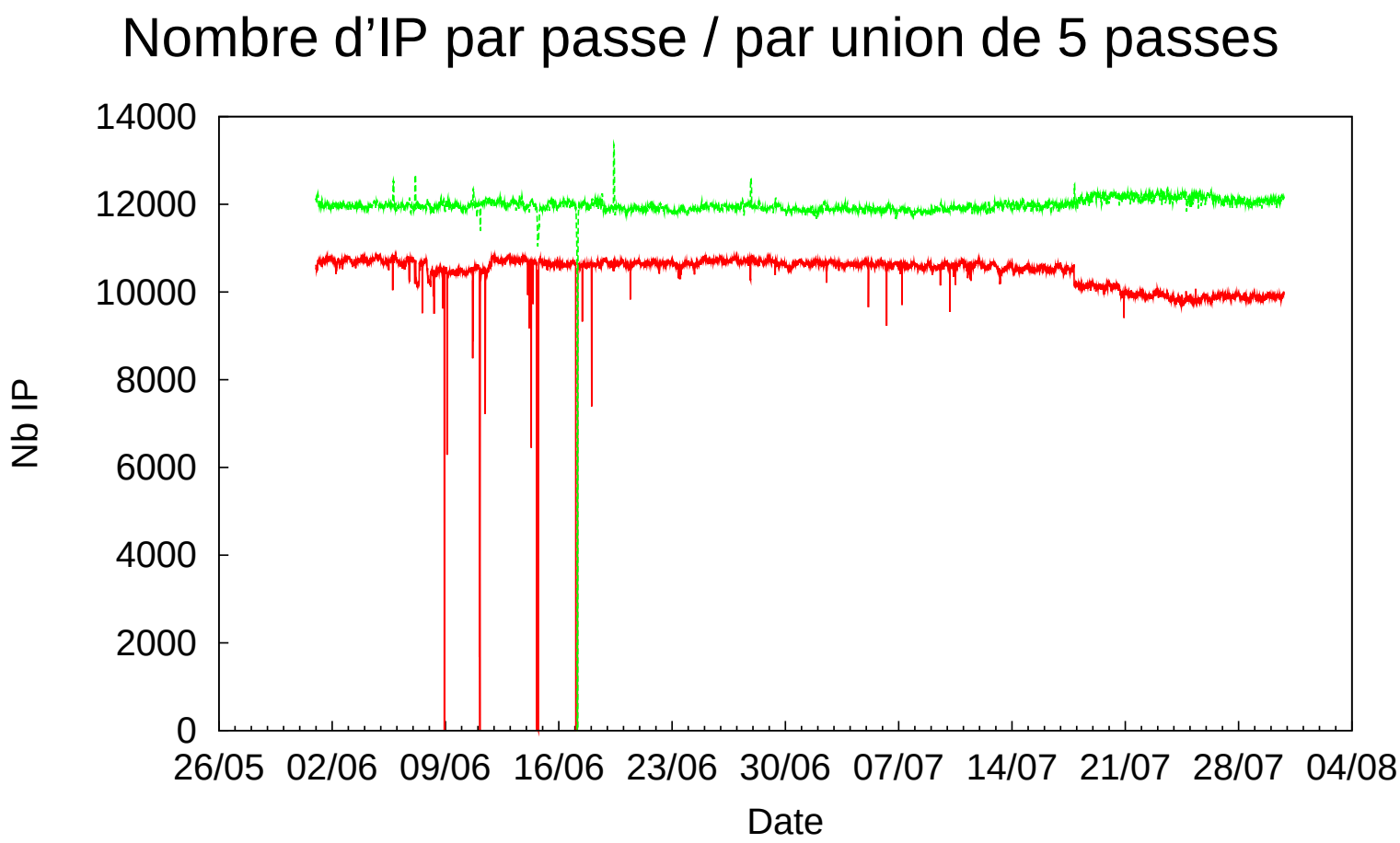
Trois classes d'IP

clignotent || aléatoires || majorité de stables

Détection d'événements



Détection d'événements

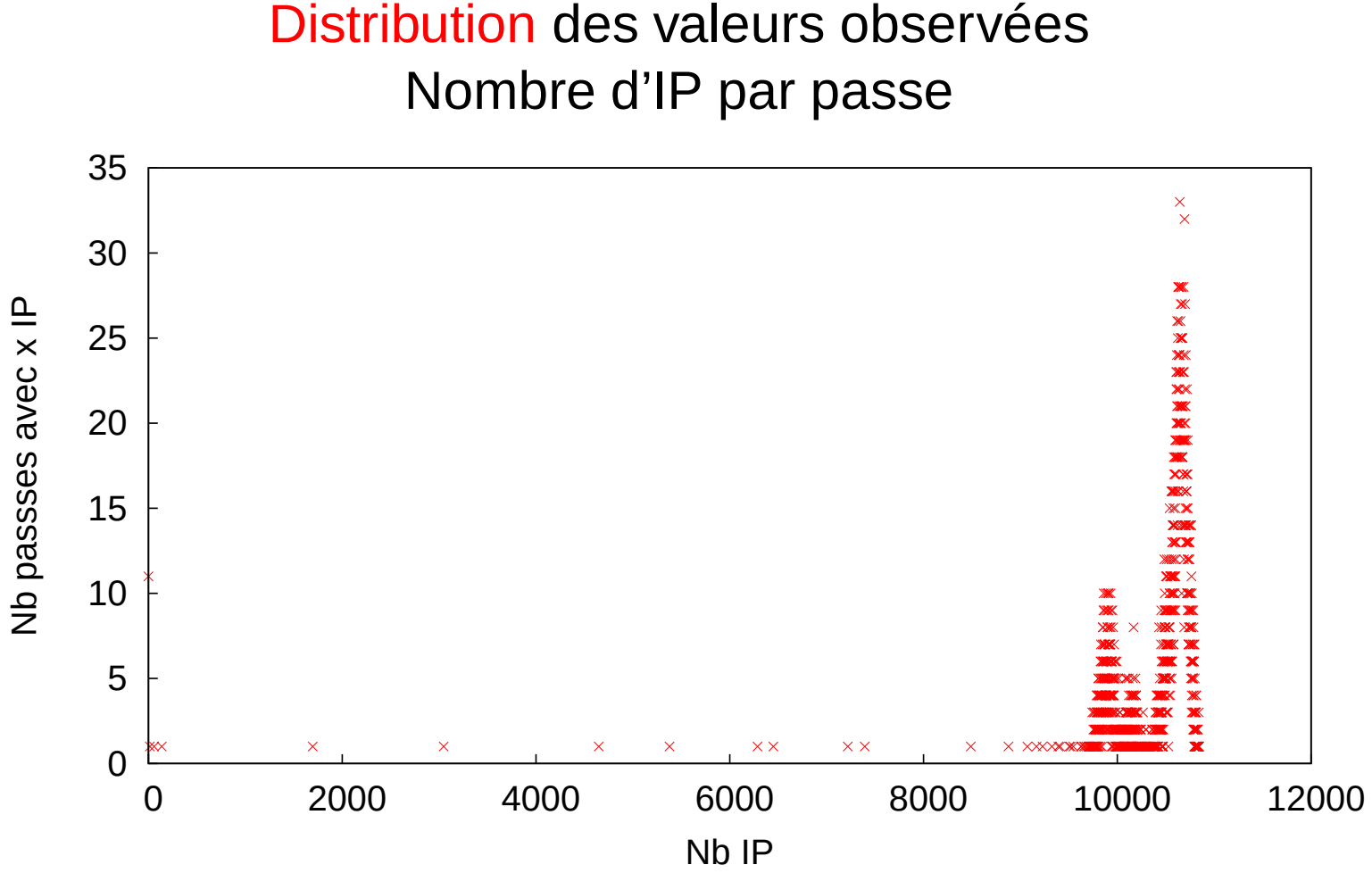


pics → identification d'événements

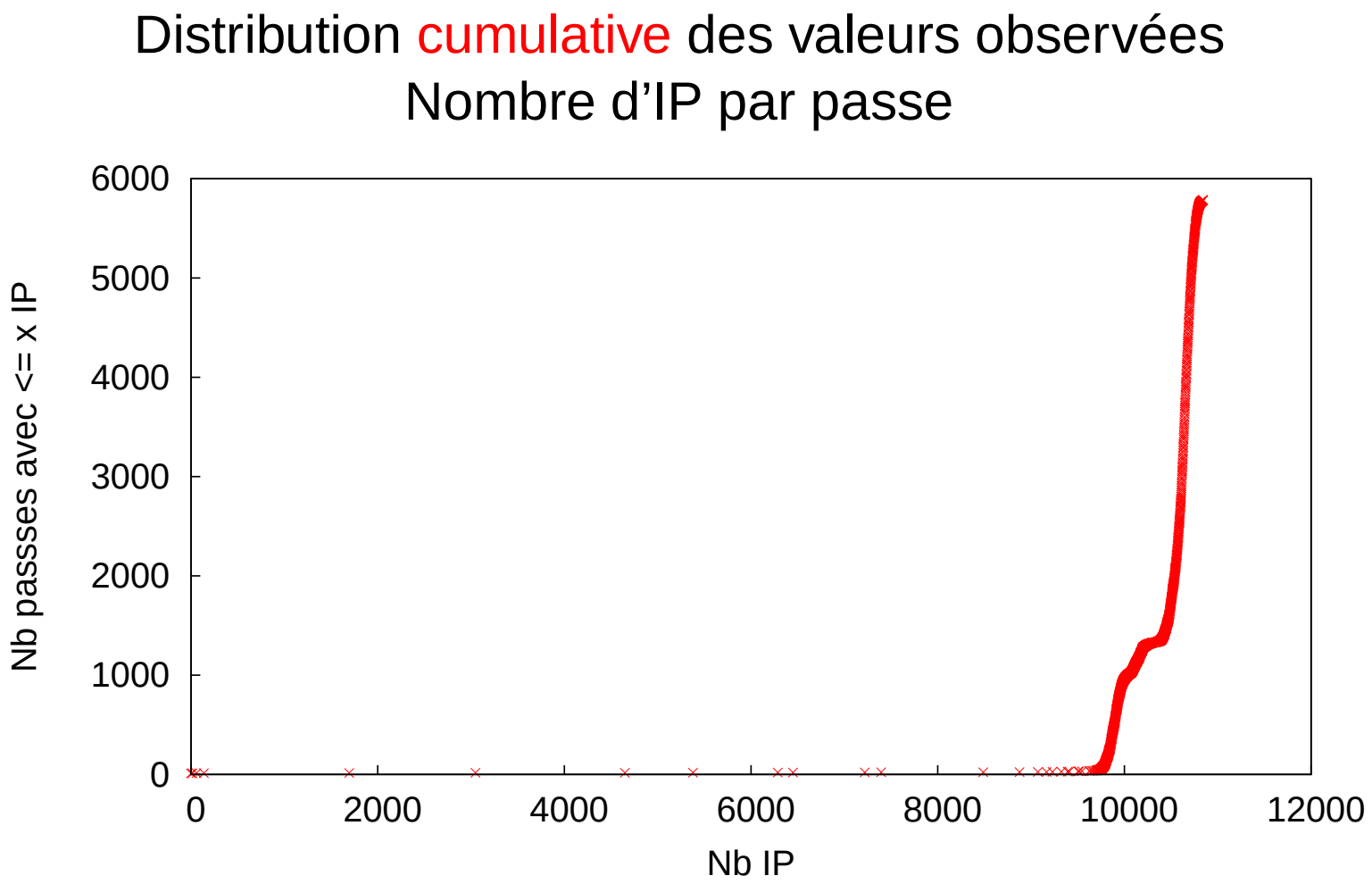
Identificiation formelle des pics ?

Pic $\longrightarrow$ valeur significativement plus grande que les autres.
Moyen de les identifier formellement ?

Identificiation formelle des pics ?

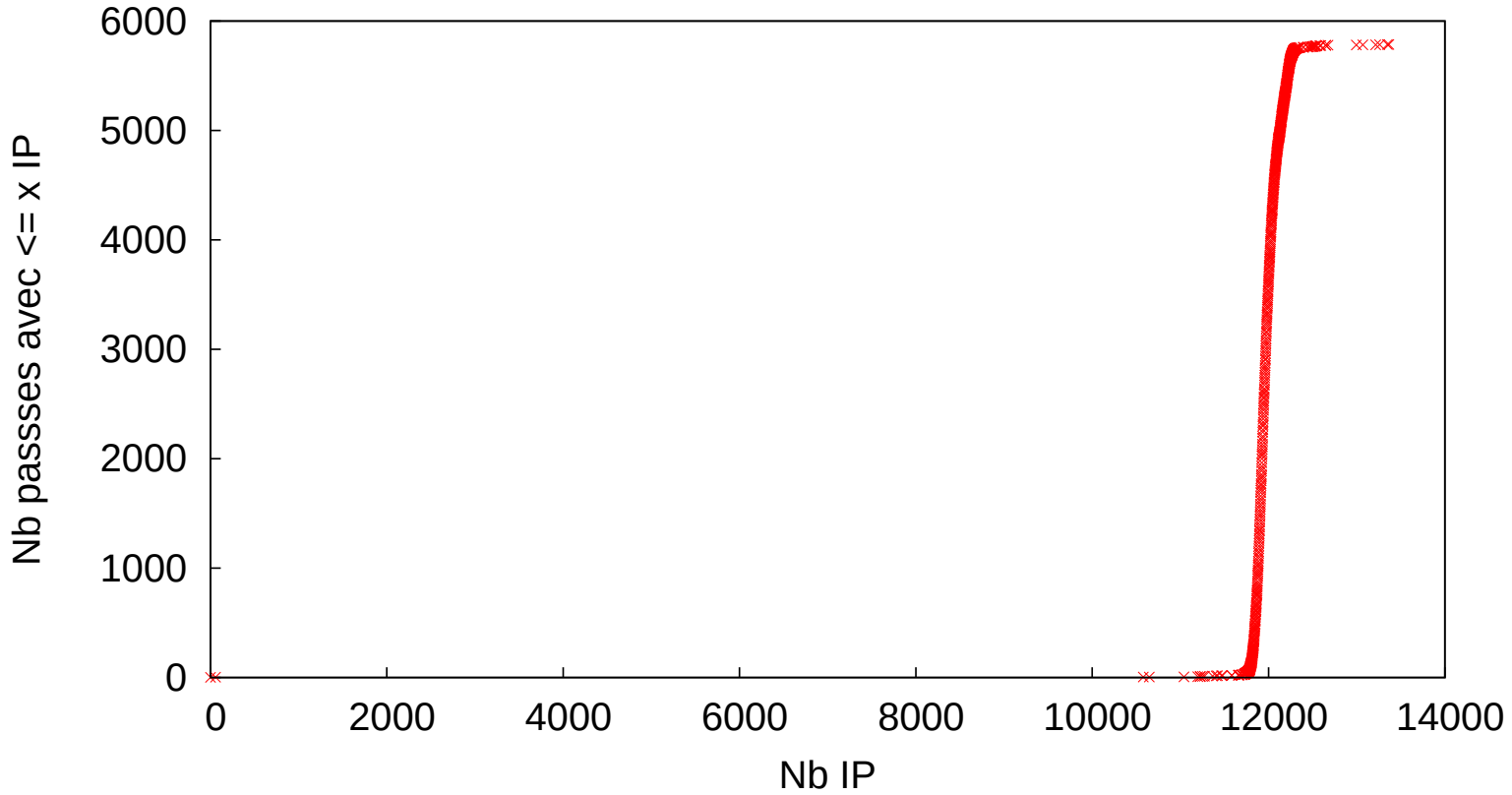


Identificiation formelle des pics ?



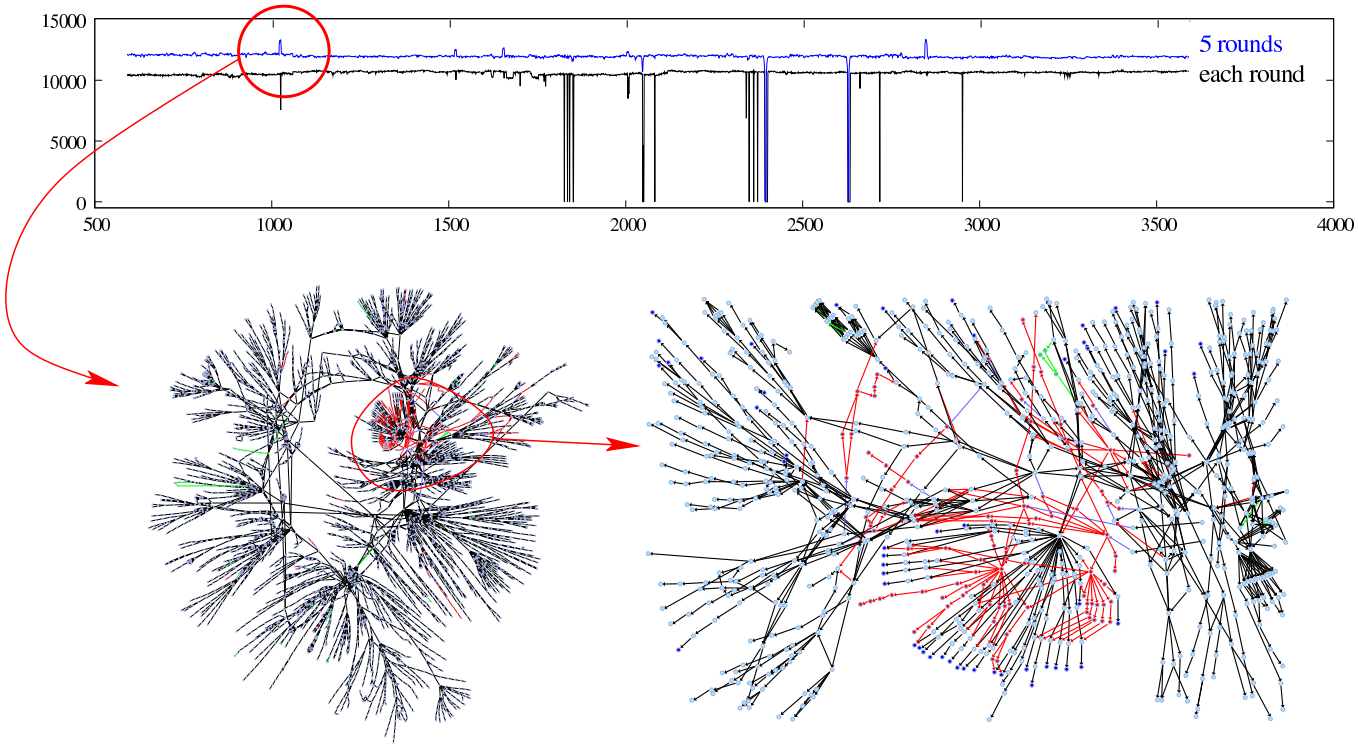
Identificiation formelle des pics ?

Distribution cumulative des valeurs observées
Nombre d'IP dans 5 passes consécutives



Valeurs hautes atypiques

Visualisation d'un événement



Conclusion

- méthodes pour comprendre la **dynamique**
- propriétés inattendues, complexes
- identification d'événements

- propriétés de la dynamique, analyse
- normal vs événement
- échelle(s) de temps pertinente(s)
- visualisation(s)
- modélisation
- ...

Conclusion

- méthodes pour comprendre la **dynamique**
- propriétés inattendues, complexes
- identification d'événements

- propriétés de la dynamique, analyse
- normal vs événement
- échelle(s) de temps pertinente(s)
- visualisation(s)
- modélisation
- ...