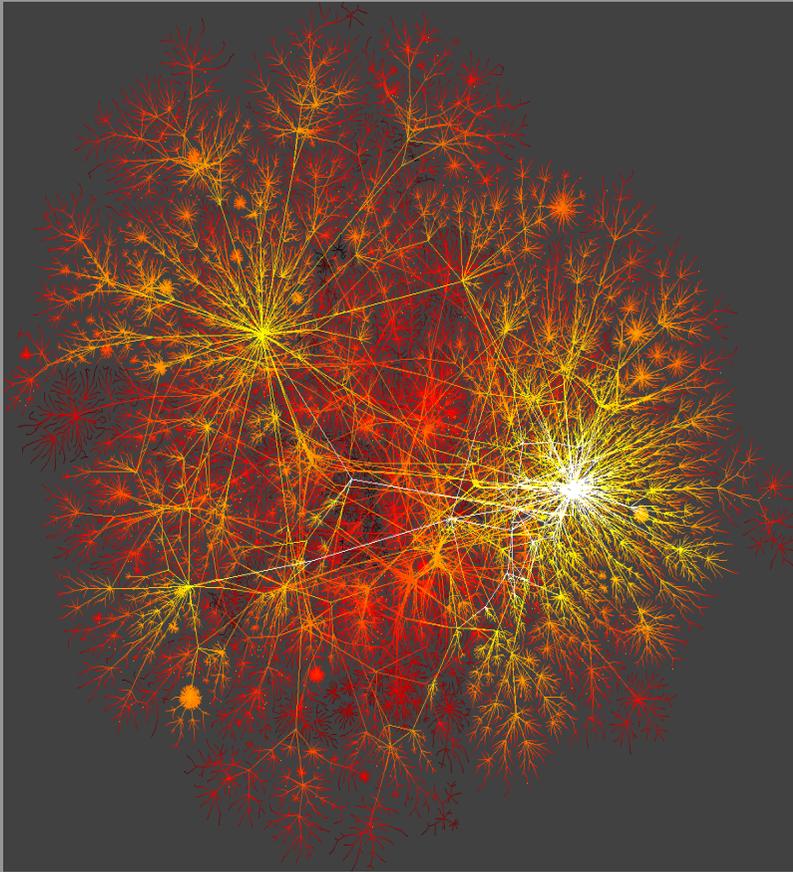


Invariance d'échelle dans l'Internet

P. Abry, P. Flandrin (Cnrs - Éns Lyon)

N. Hohn, D. Veitch (Univ. Melbourne)

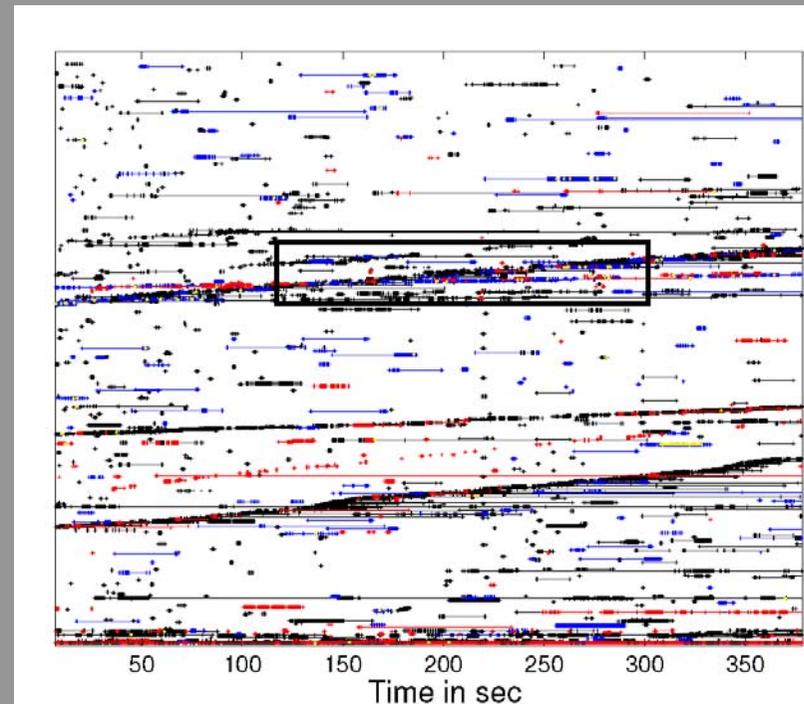
complexité



- hétérogénéité *géographique, topologique et matérielle*
- diversité des *données et des flux*
- diversité des *applications et des usages*

trafic

- *multiplexage et fragmentation*
- *protocoles* : paquets (IP), flots (TCP), sessions
- échelles de temps *multiples* (de la *ms* à plusieurs heures)

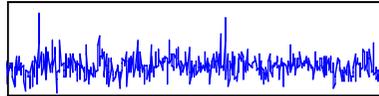


enjeux

- mieux comprendre les « signaux »...
 - quelles propriétés statistiques ?
 - quels mécanismes explicatifs ?
- ...pour mieux maîtriser la circulation des flux d'information
 - dimensionnement
 - contrôle de congestion et QoS
 - conception des protocoles

invariance d'échelle

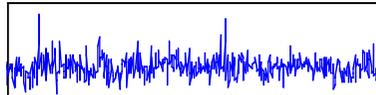
données originales



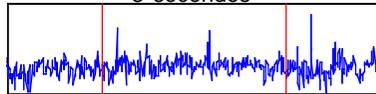
3 secondes

invariance d'échelle

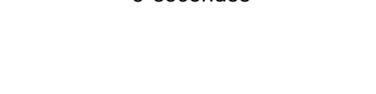
données originales



3 secondes

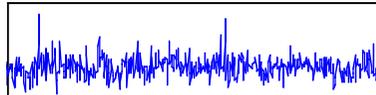


6 secondes

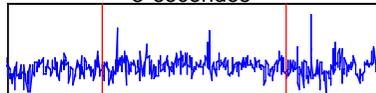


invariance d'échelle

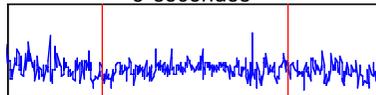
données originales



3 secondes



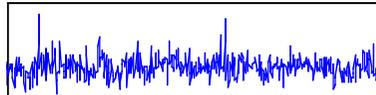
6 secondes



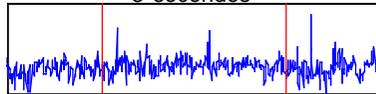
12 secondes

invariance d'échelle

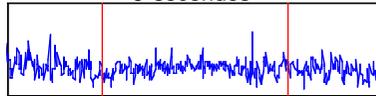
données originales



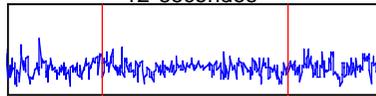
3 secondes



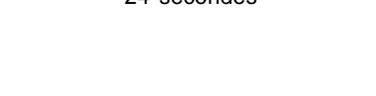
6 secondes



12 secondes

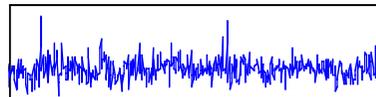


24 secondes

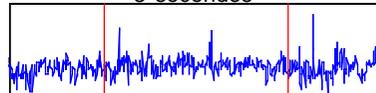


invariance d'échelle

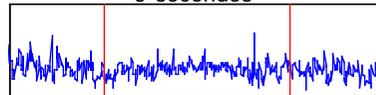
données originales



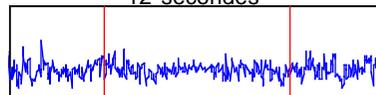
3 secondes



6 secondes



12 secondes



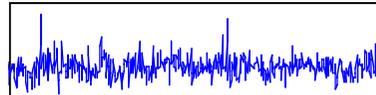
24 secondes



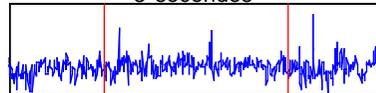
48 secondes

invariance d'échelle

données originales



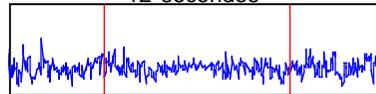
3 secondes



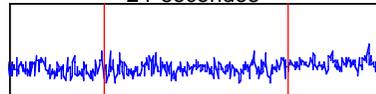
6 secondes



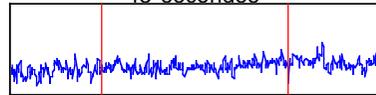
12 secondes



24 secondes



48 secondes



96 secondes



invariance d'échelle 1. auto-similarité



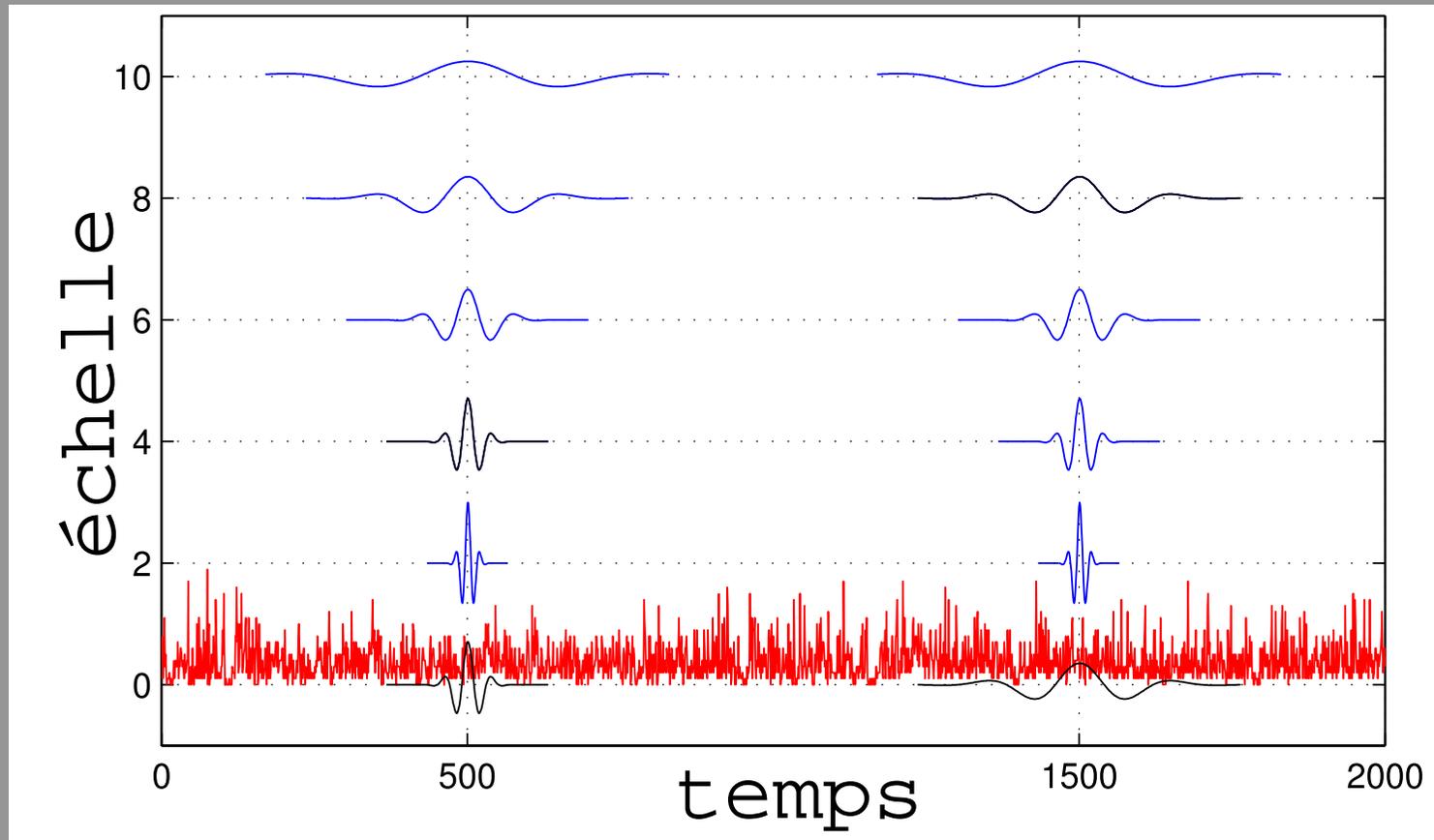
© R. Green

invariance d'échelle 1. auto-similarité

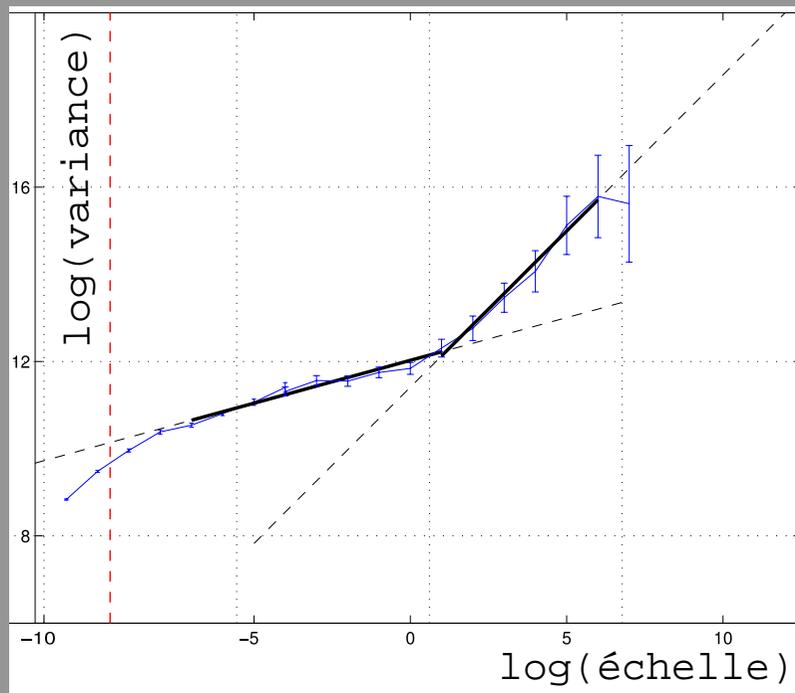


- pas d'échelle caractéristique
- structure « fractale » (aléatoire)
- modèles standard (Markov) inadaptés
- besoin d'outils d'analyse spécifiques (**ondelettes**)

ondelettes

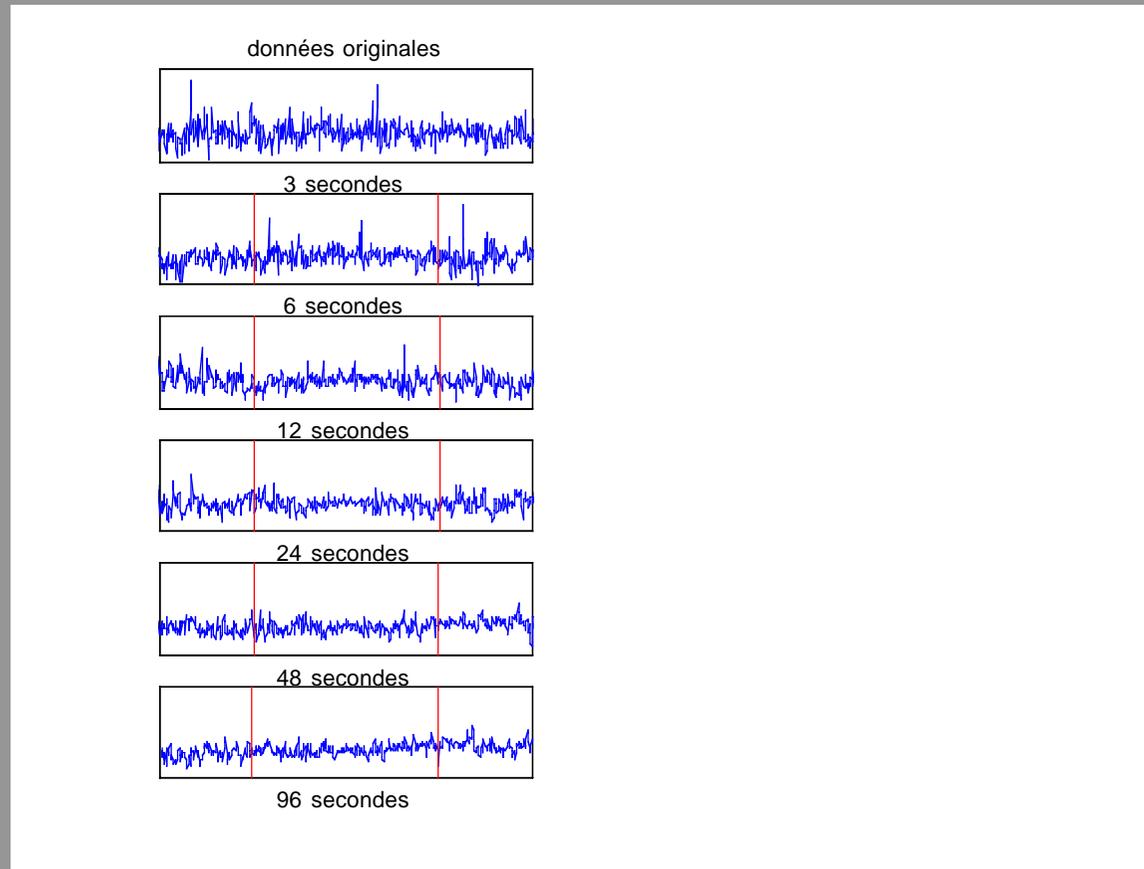


quantifier l'invariance d'échelle

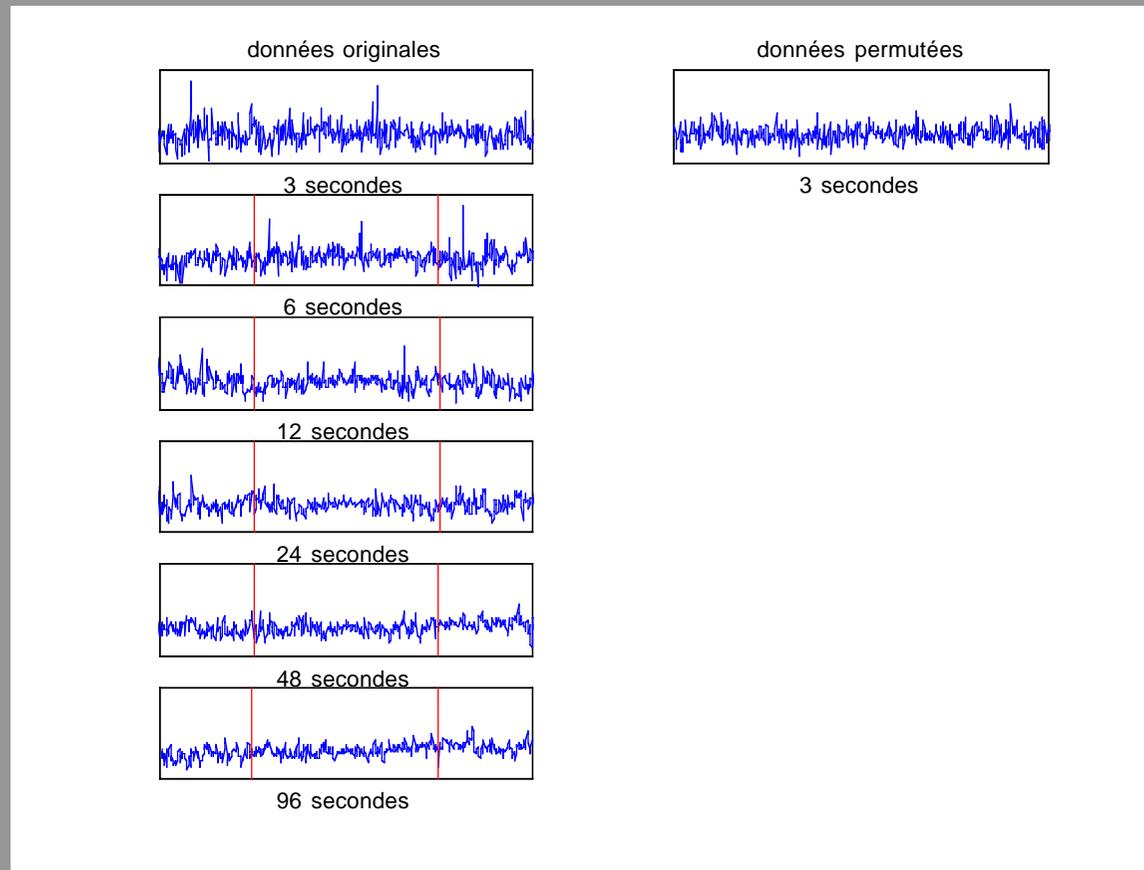


- « loi de puissance = droite dans un diagramme log-log »
- 2 régimes d'invariance d'échelle
- Grandes échelles :
 $H = 0.7$
(longue mémoire)

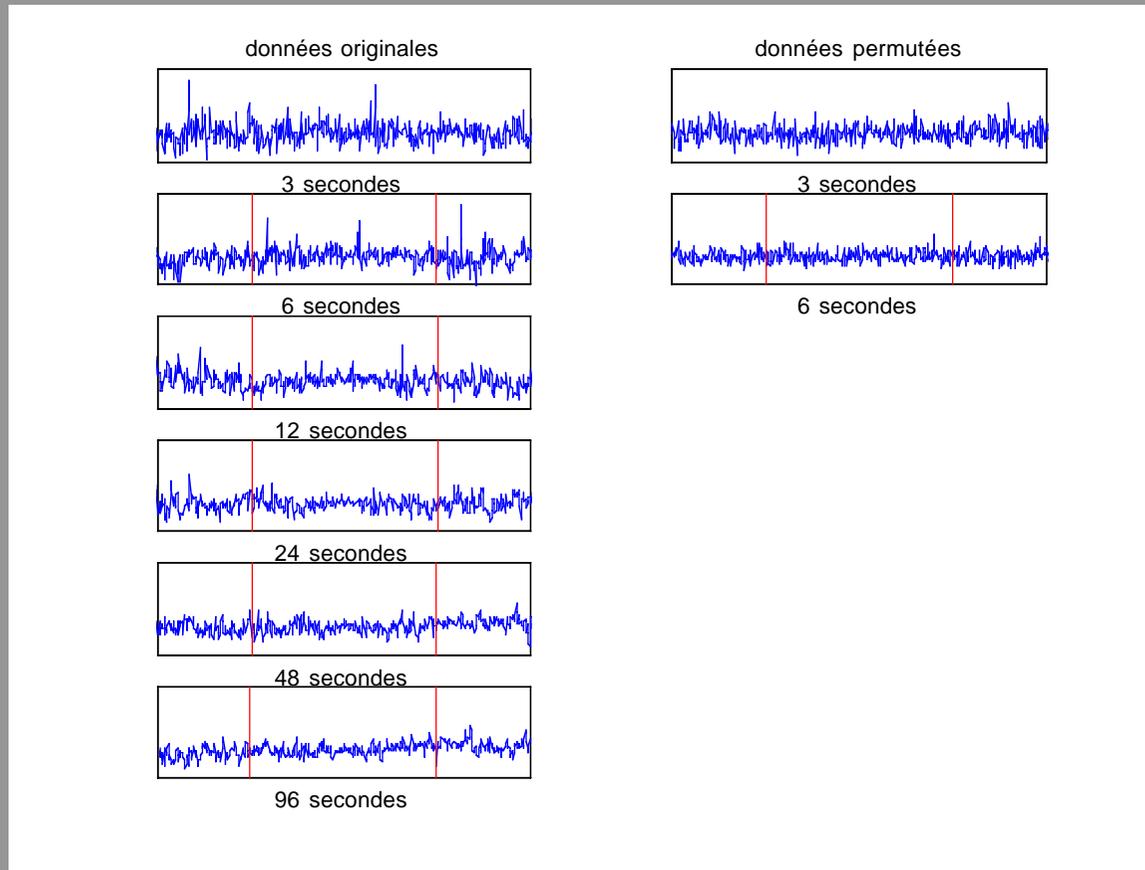
invariance d'échelle 2. longue mémoire



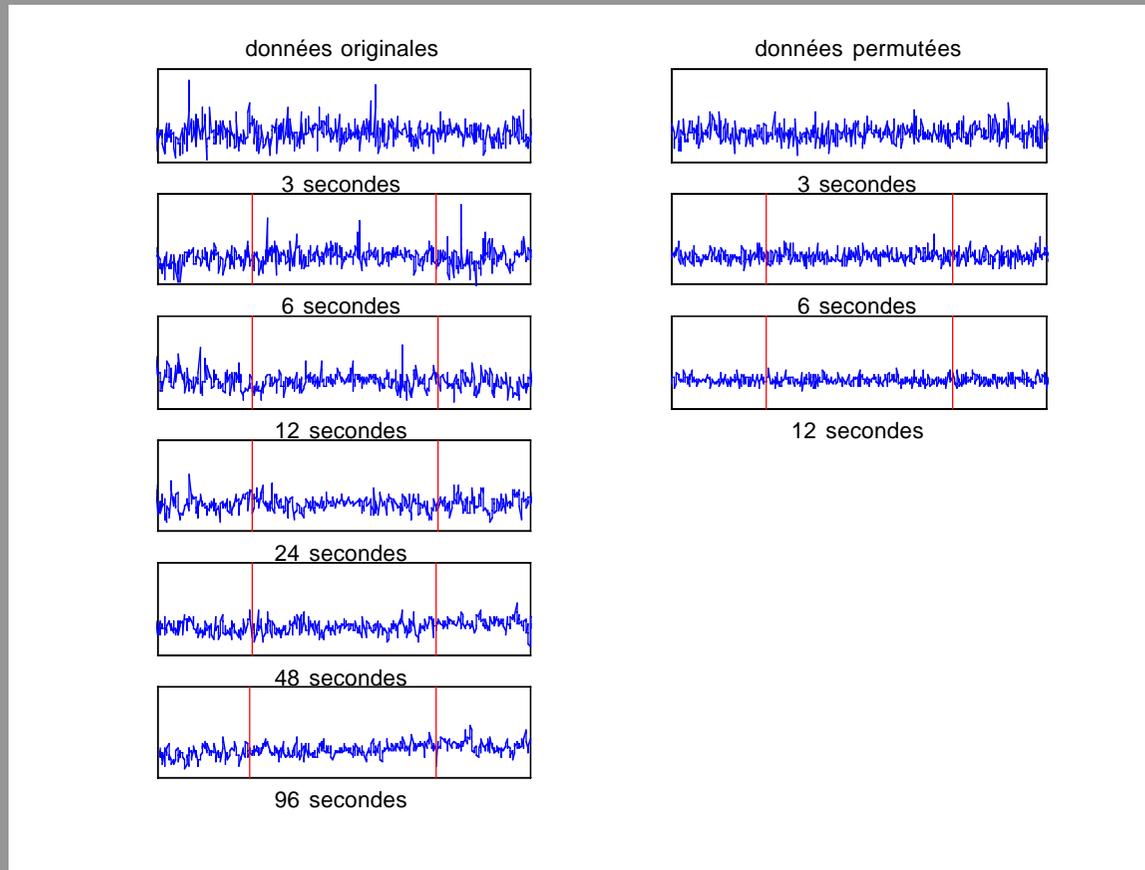
invariance d'échelle 2. longue mémoire



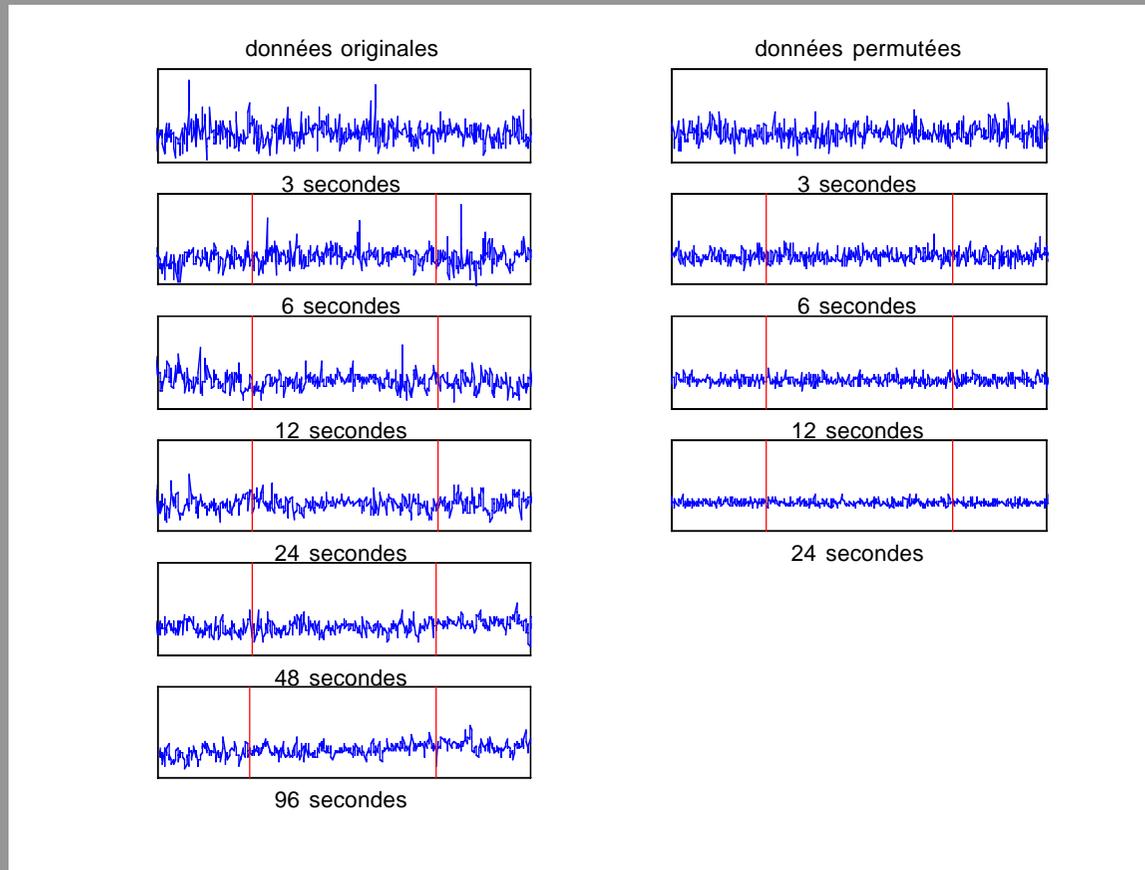
invariance d'échelle 2. longue mémoire



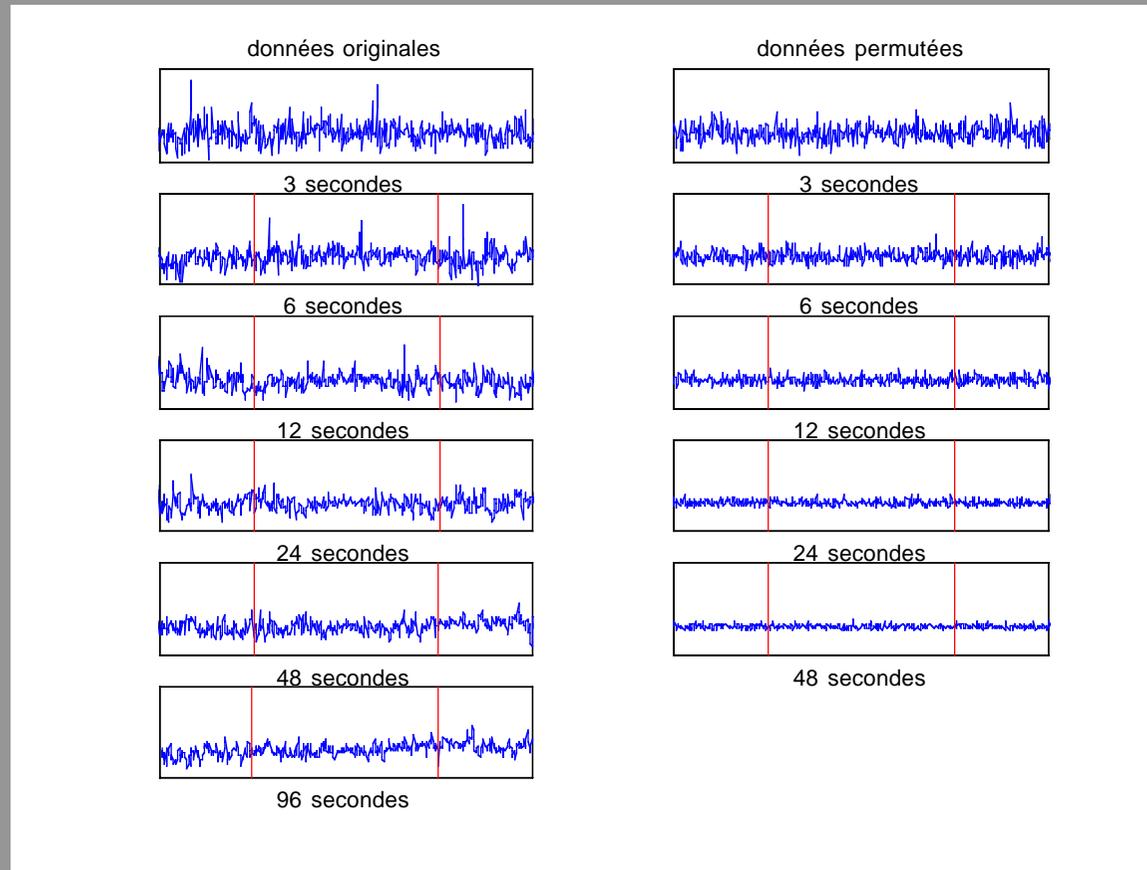
invariance d'échelle 2. longue mémoire



invariance d'échelle 2. longue mémoire

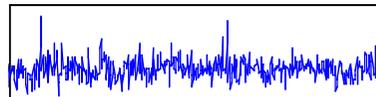


invariance d'échelle 2. longue mémoire

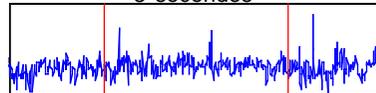


invariance d'échelle 2. longue mémoire

données originales



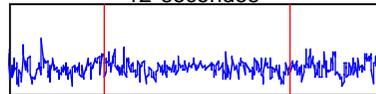
3 secondes



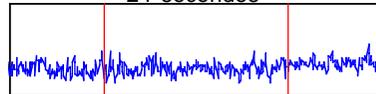
6 secondes



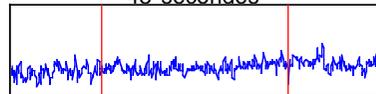
12 secondes



24 secondes

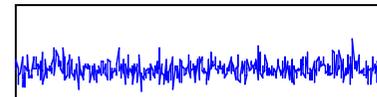


48 secondes



96 secondes

données permutées



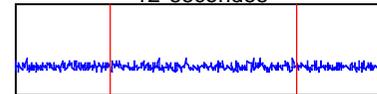
3 secondes



6 secondes



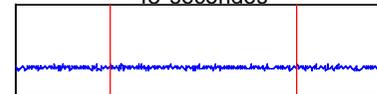
12 secondes



24 secondes

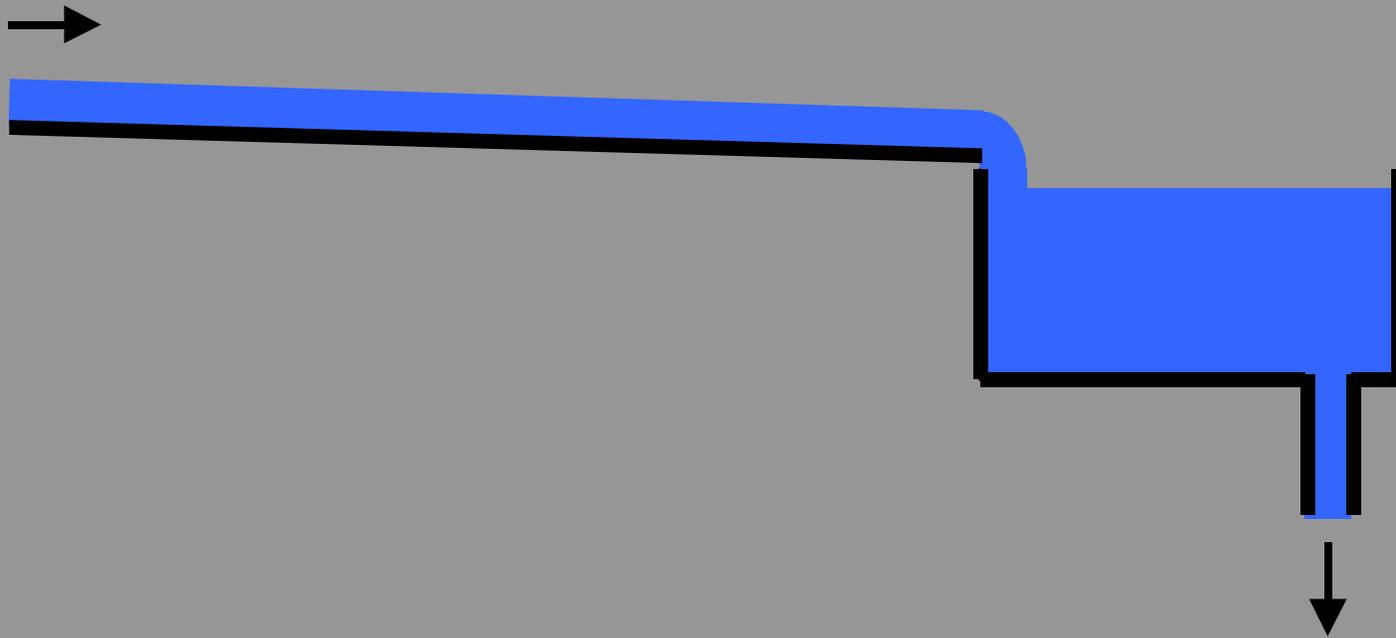


48 secondes

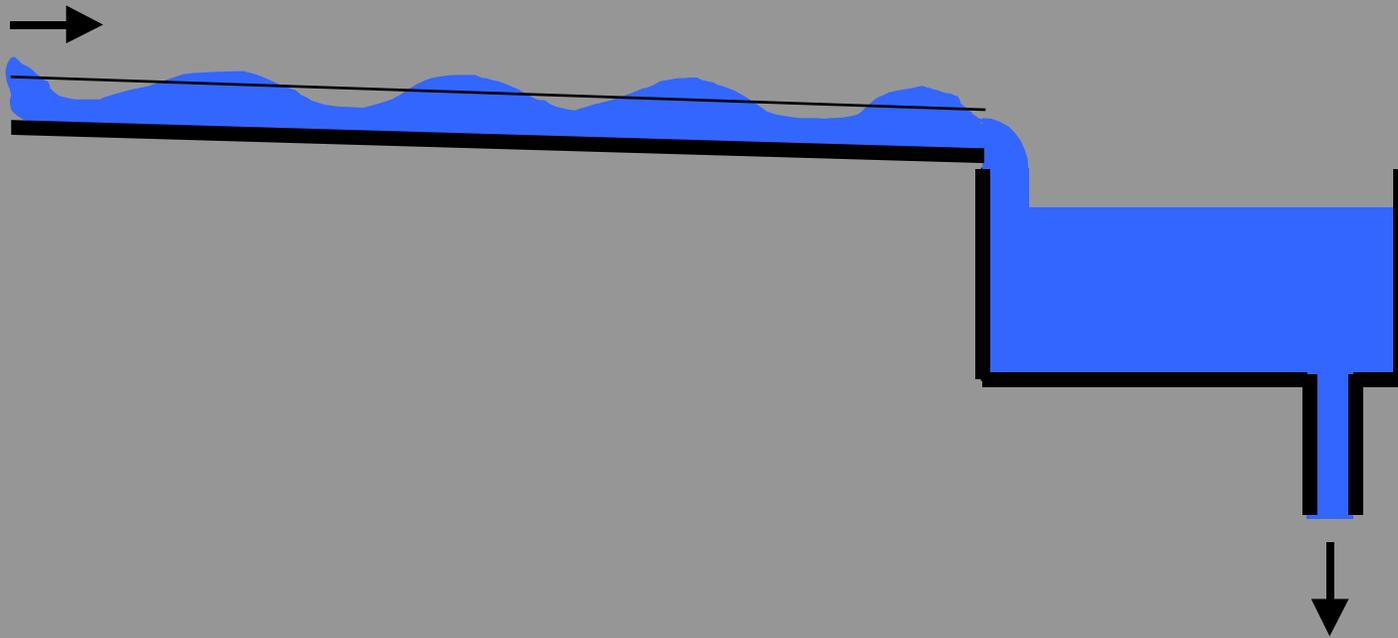


96 secondes

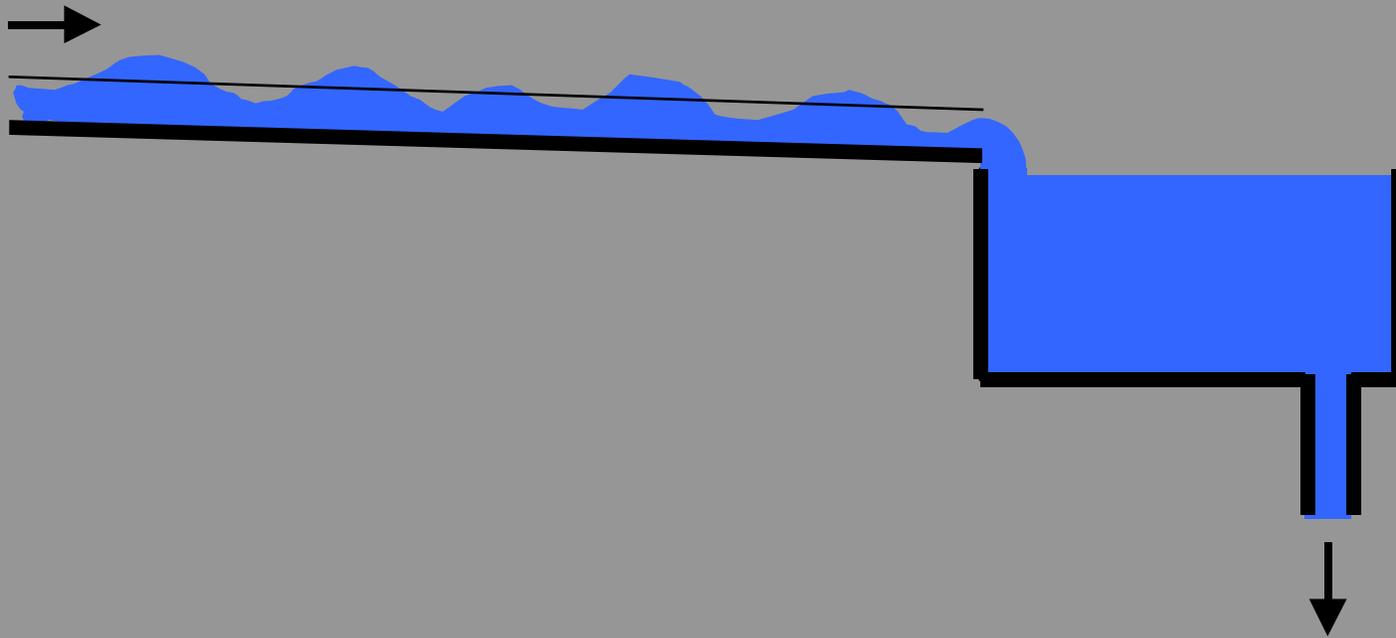
longue mémoire et pertes



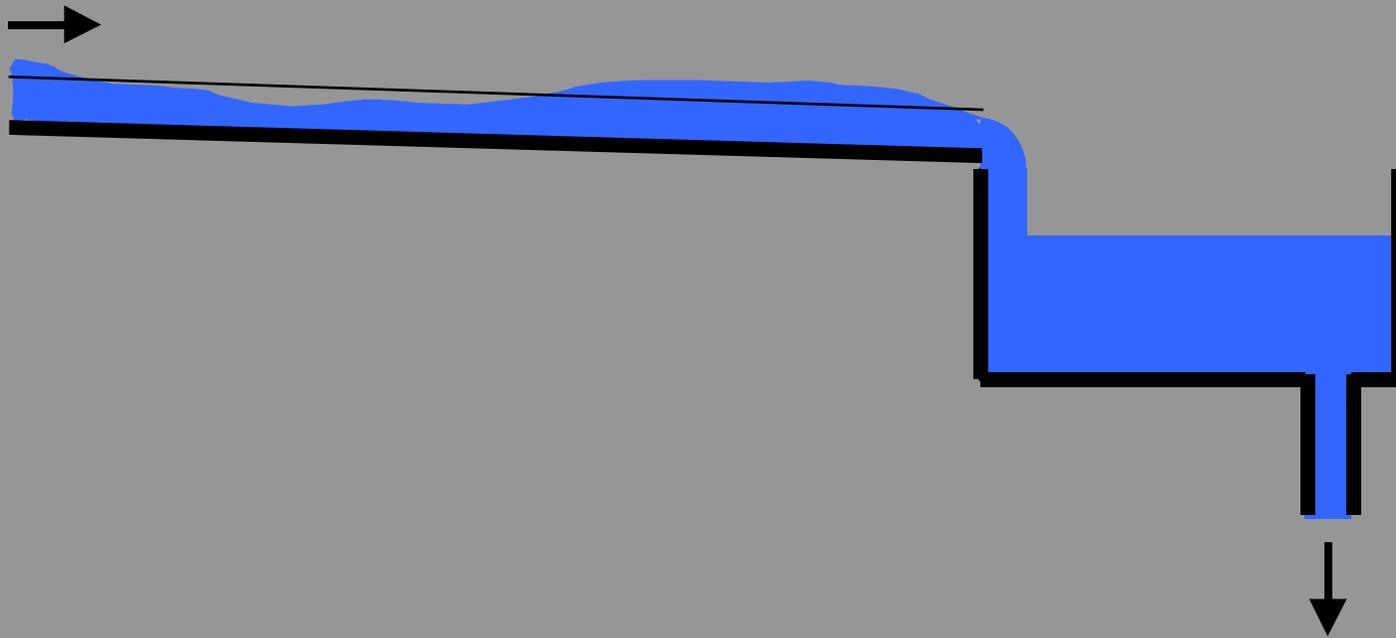
longue mémoire et pertes



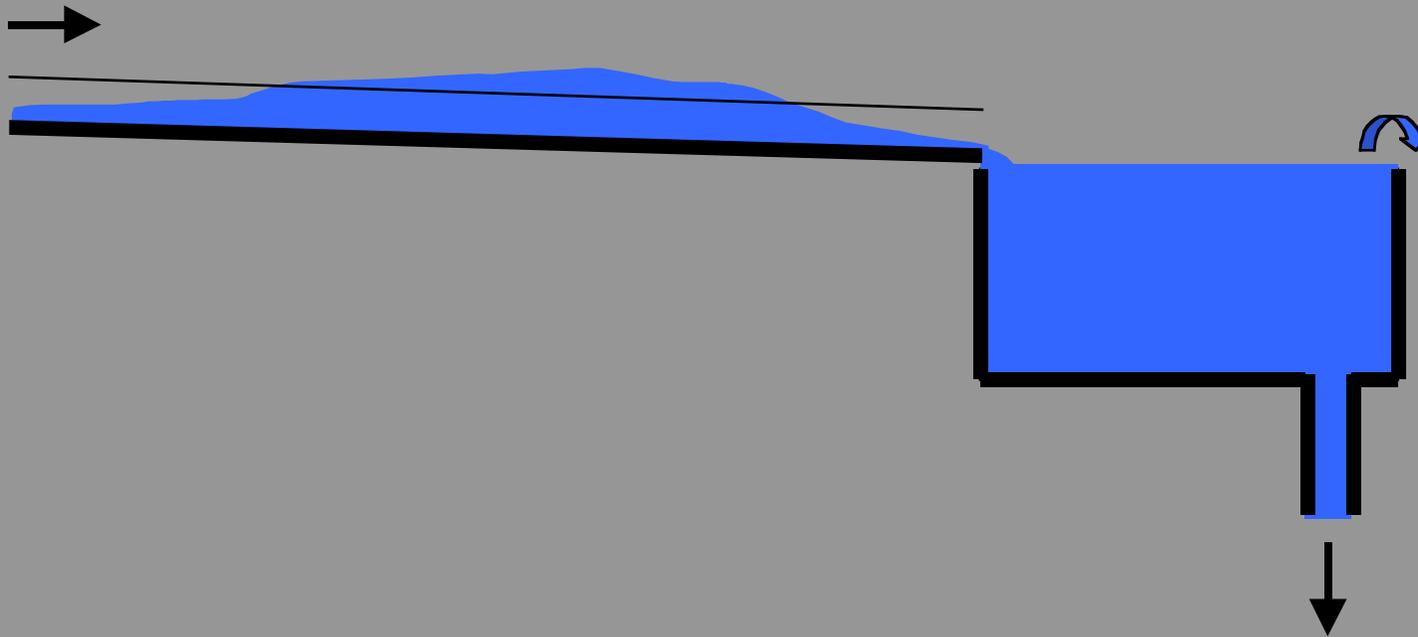
longue mémoire et pertes



longue mémoire et pertes



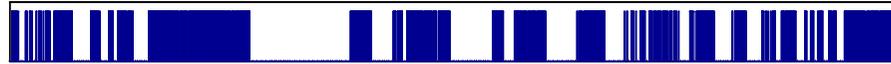
longue mémoire et pertes



et alors ?

- invariance d'échelle : dépassements de *toutes tailles*, débordements
- saturation des serveurs, congestion, *pertes de paquets*
- quelle(s) origine(s) pour la longue mémoire dans l'Internet ?

modèle « on-off »



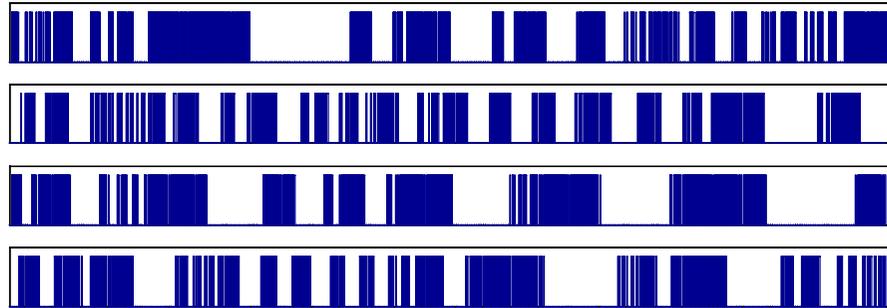
modèle « on-off »



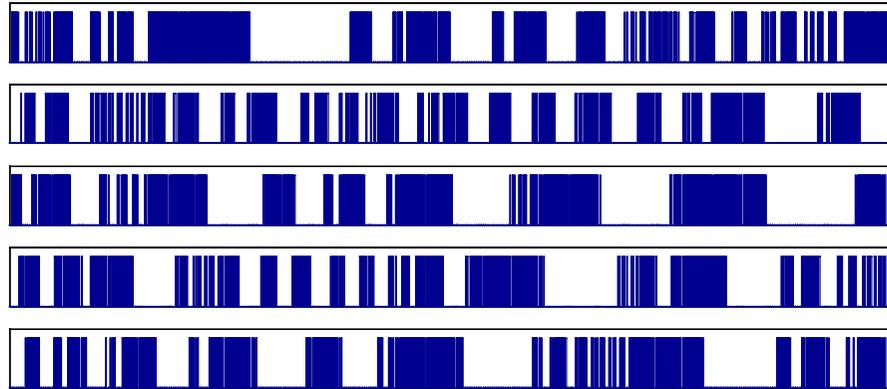
modèle « on-off »



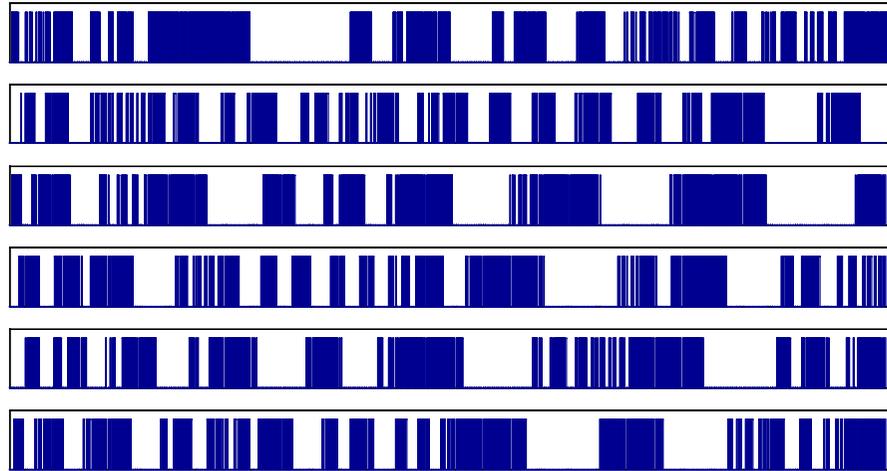
modèle « on-off »



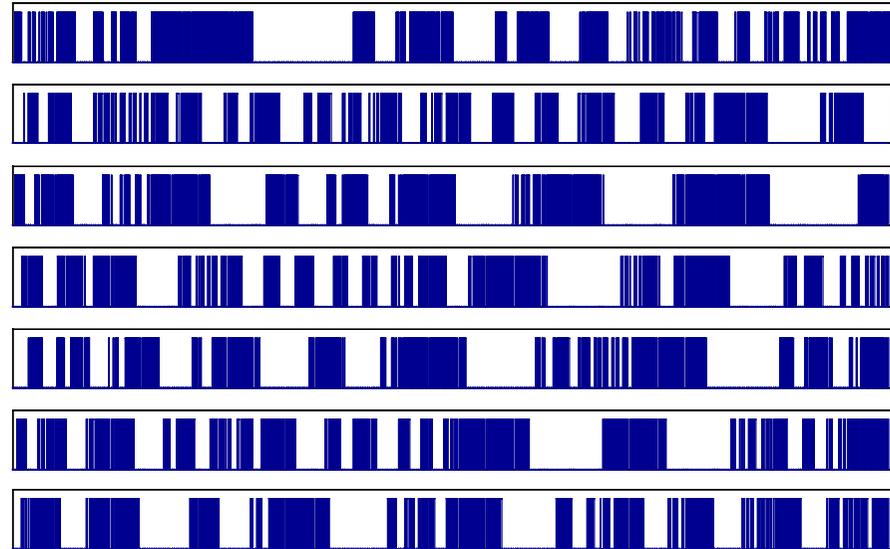
modèle « on-off »



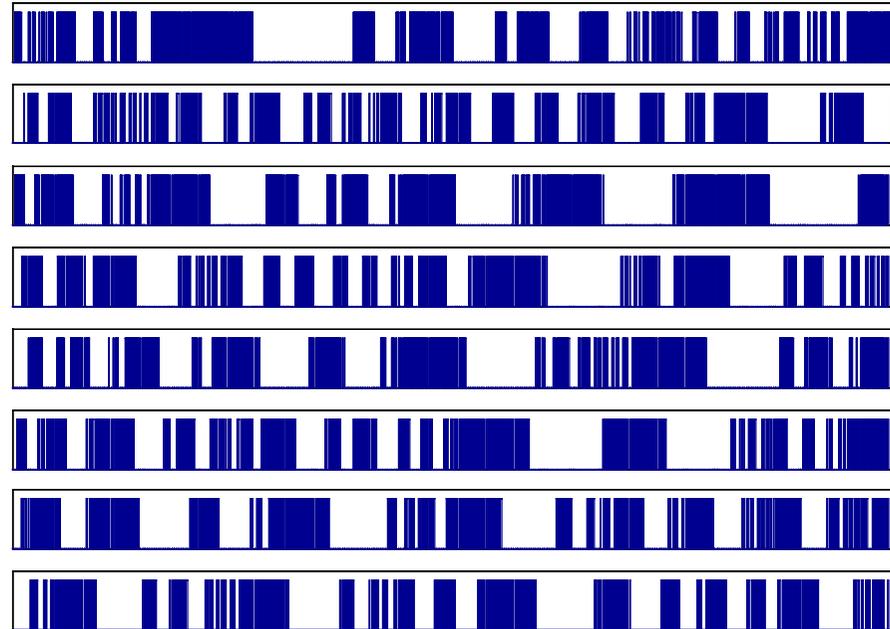
modèle « on-off »



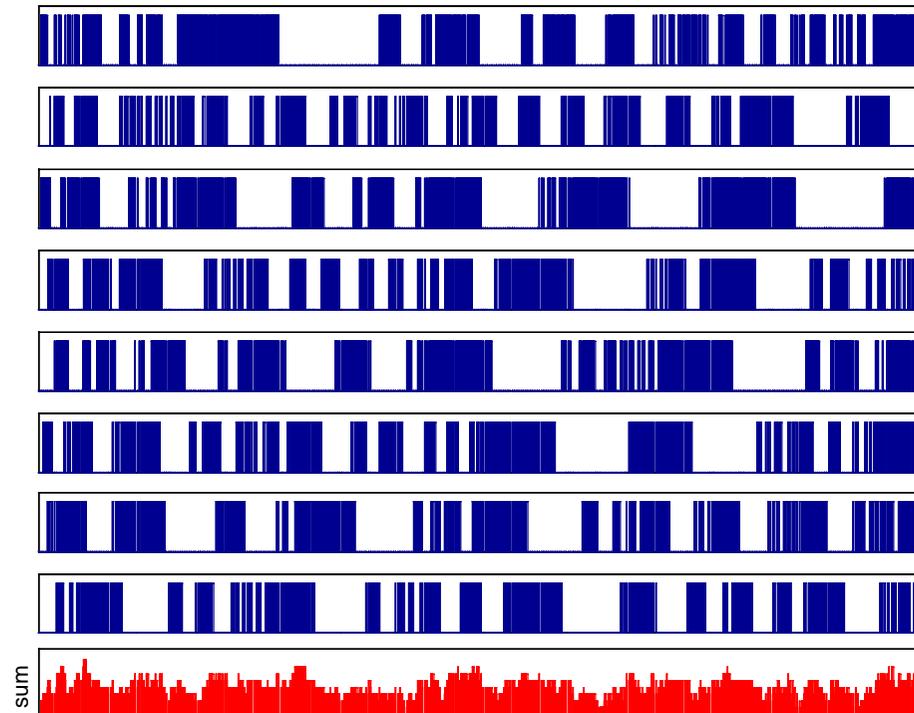
modèle « on-off »



modèle « on-off »



modèle « on-off »



un bon modèle ?

- sessions *indépendantes* + instants d'activation/désactivation *aléatoires* (Poisson) + durées on-off « à queues lourdes » = trafic cumulé invariant d'échelle (Brownien fractionnaire) à grande échelle
- au-delà ? (non gaussien, petites échelles, dynamique des protocoles)

pour conclure

- **invariance d'échelle dans l'Internet**
 - caractéristique « *universelle* » (paquets, durées, etc.) et « *robuste* » (évolution du réseau)
 - modèles plus élaborés, études d'impacts ?
- **similarité avec des « systèmes complexes » *naturels* (turbulence, etc.)**
 - analyses comparées
 - caractère fortuit ou profond ?

www.ens-lyon.fr/~pabry

www.ens-lyon.fr/~flandrin

www.emulab.ee.mu.oz.au/~darryl