Lois d'Échelle et Télétrafic Informatique :

Patrice Abry

SISYPHE — SIgnaux, SYstèmes et PHysiquE,

CNRS, UMR 5672 — Laboratoire de Physique,

École Normale Supérieure de Lyon.

P. Flandrin, S. Roux, SISYPHE, ENS Lyon,

P. Chainais, ISIMA, Clermont-Ferrand.

Darryl Veitch, Nicolas Hohn

ARC Spec. Research Center

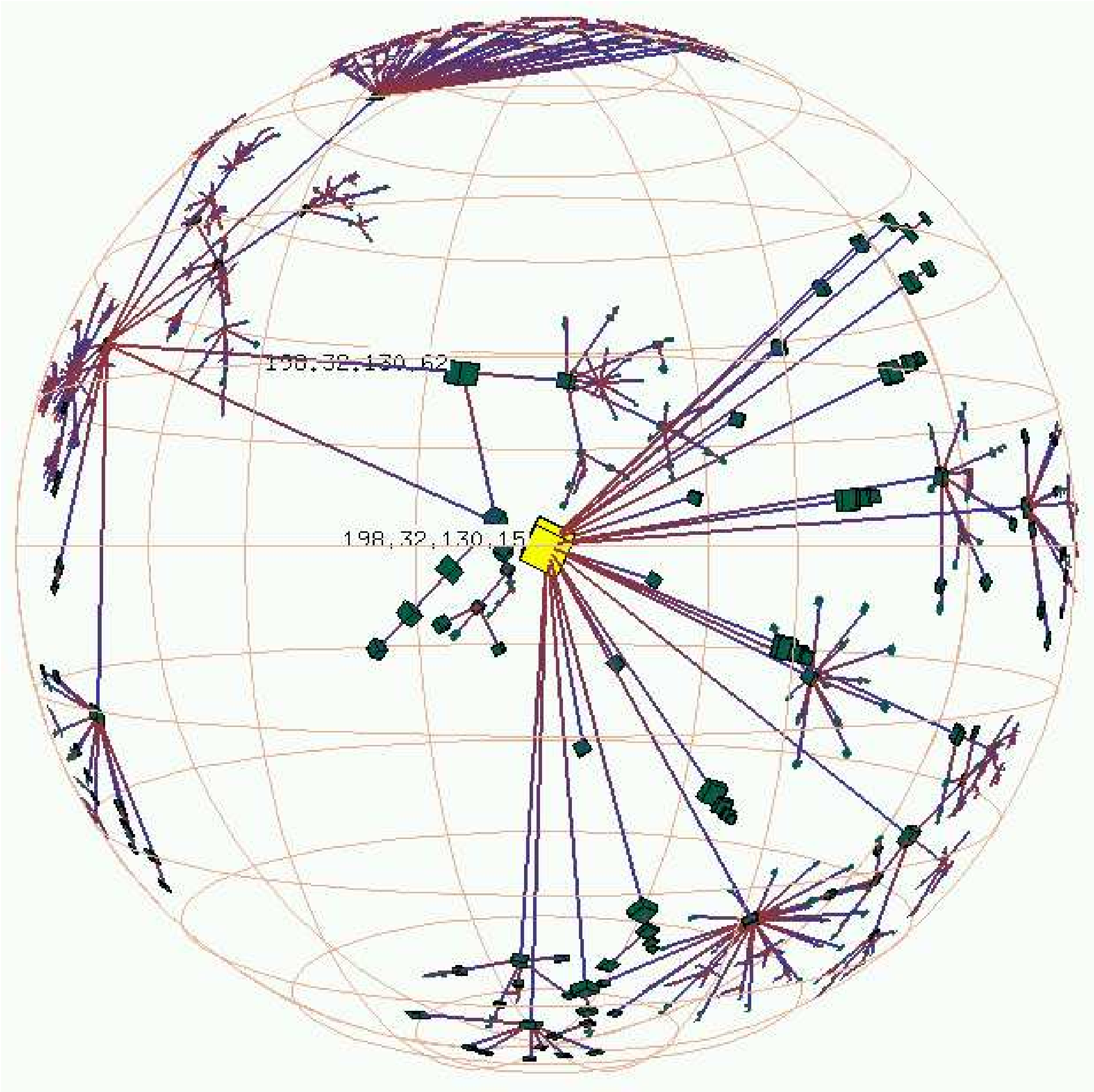
for Ultra-Broadband Information Networks,

Dept. of Elec. Engineering,

Univ. de Melbourne, Australie.

AS Métrologie pour l'Internet - Réunion 1 : 17 Octobre 2002

Télétrafic Informatique



Télétrafic Informatique : Données, Séries

- Données :

  - LAN (Ethernet) vs WAN (IP),

  - Active (Bout-en-bout) vs Passive,

  - Collecte Packet: attributs,

  (TimeStamp, Workload, Direction, 5-uplet...)

  - Analyses : Niveau Packet (IP) vs Niveau Flow (TCP),

- Séries :

  - Temps Discret - Listes de nombres,

  (Interarrivées (Pkt, Flow), Volume, Durée,...)

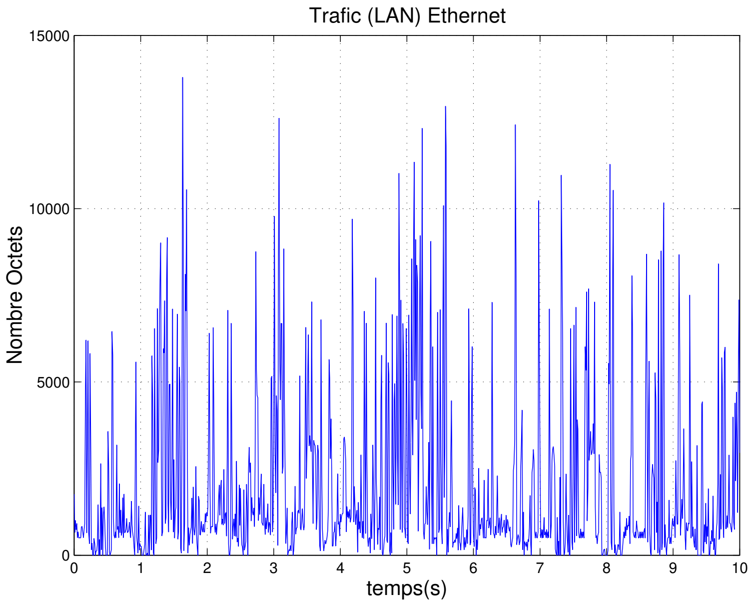
  - Temps Continu - Flux - Fluctuations,

  (nb de flows actifs, débit de pkts,...)

Télétrafic Informatique :
Exemples de Séries temporelles

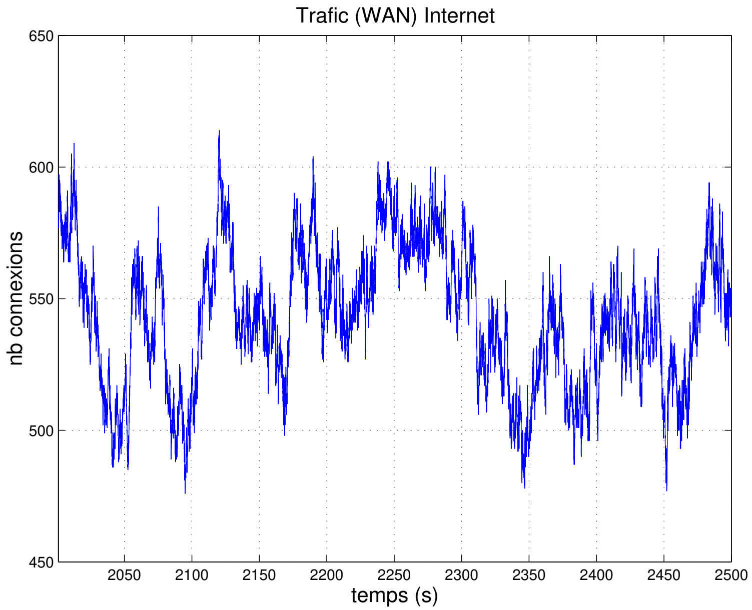
Ethernet (LAN)

Nb de paquets (bloc 10 ms)



Internet (WAN)

Nb de connexions actives (bloc 10 ms)



Télétrafic Informatique : Lois d'Échelle ?

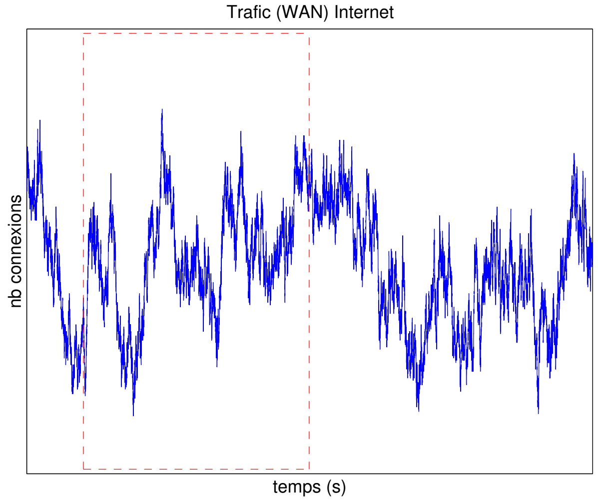
- Objectif : - Descriptions Statistiques Fines,

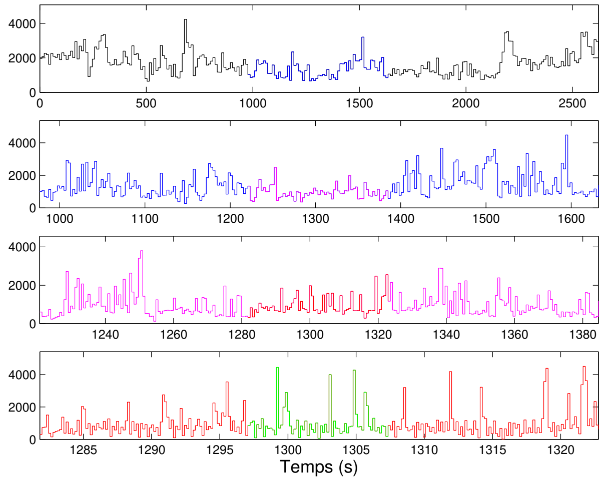
- Enjeux : - Contrôler (admissions, congestions, Tarification),
  - Concevoir (Dimensionnement, Performances).

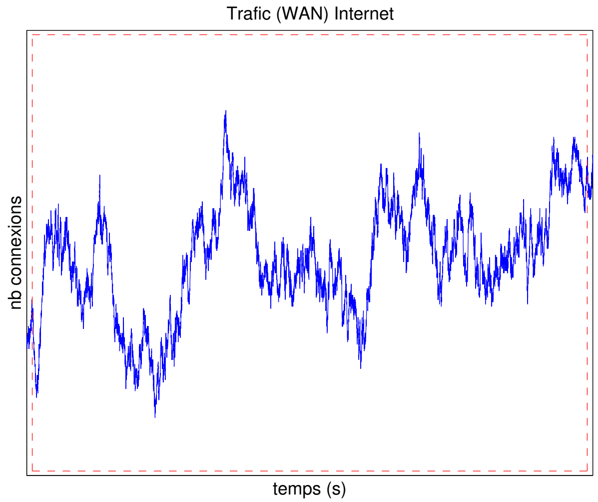
- Observations : Phénomènes d'Invariance d'Échelle,
  - ISDN (91), - LAN Ethernet (91,93,98), - WAN (94),
  - Variable Bit Rate (95), - Internet end-to-end (98), - Internet (98).

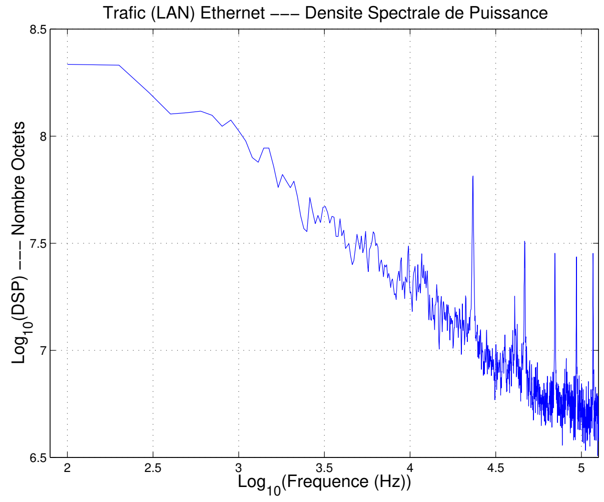
- Impacts :
  - Dégradations des performances,
  - Efficacité moindre des règles de contrôle et gestion des réseaux,
  - Inefficacité du surdimensionnement du réseau,
  - Abandon des modèles *téléphone* (Poisson, Gauss, Markov).

Comportements en Lois d'Échelle ?









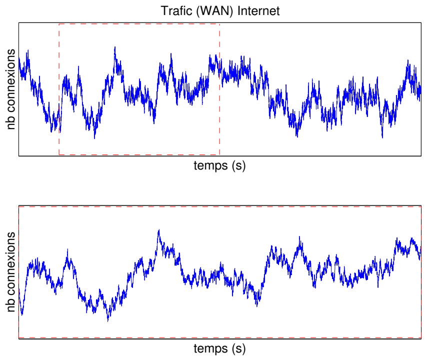
Lois d'Échelle !

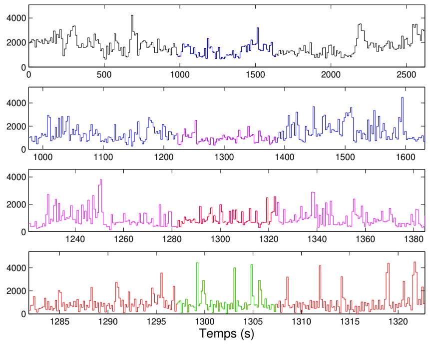
- **Définition :**

  Non-Propriété : Non-Existence d'Échelle(s) caractéristique(s).

- **Manifestation :**

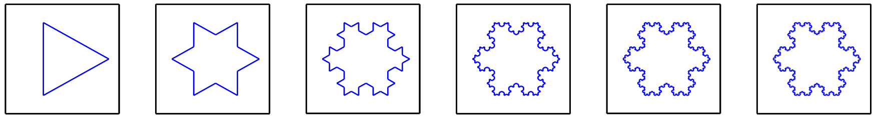
  Le tout ressemble à la partie, la partie ressemble au tout.





- **Analyse :** Plutôt qu'une échelle caractéristique,

rechercher une relation, un mécanisme, une cascade entre échelles.



Lois d'Échelle : Considérations Statistiques

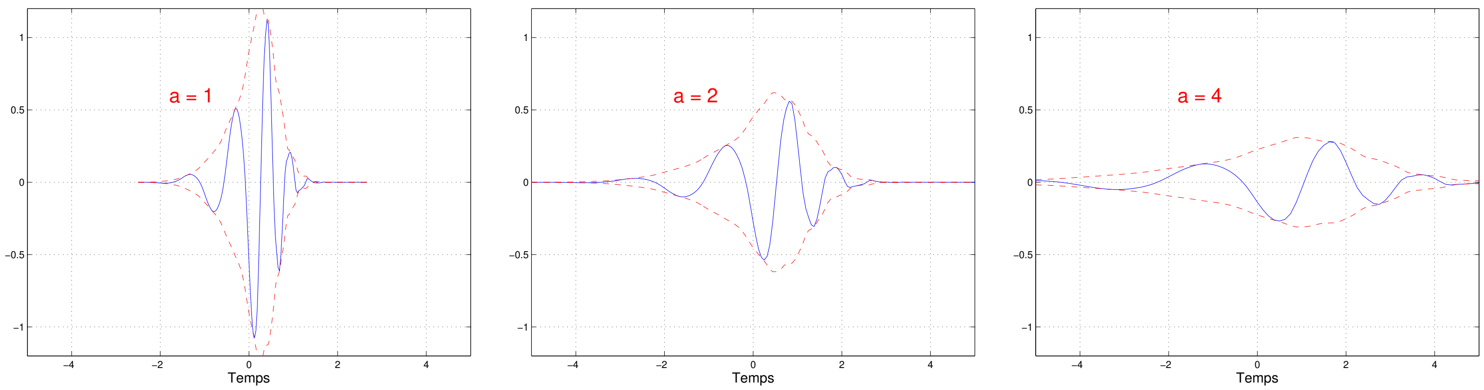
- Modèles :
  - AutoSimilarité : $\mathbb{E}|X(t+\tau)-X(t)|^q = C_q|\tau|^{qH}$
  - MultiFractal : $\mathbb{E}|X(t+\tau)-X(t)|^q = C_q|\tau|^{H(q)}$
  - Cascades Infiniment Divisibles :

$$\mathbb{E}|X(t+\tau)-X(t)|^q = C_q \exp\left(H(q)n(|\tau|)\right)$$

- Difficultés :
  - Dépendance à longue portée, longue mémoire,
  - Non-Stationnarité.
- Analyses :
  - Détection, - Identification, - Estimation,
  - Robustesse, - Algorithmie, - ...
- Synthèses :

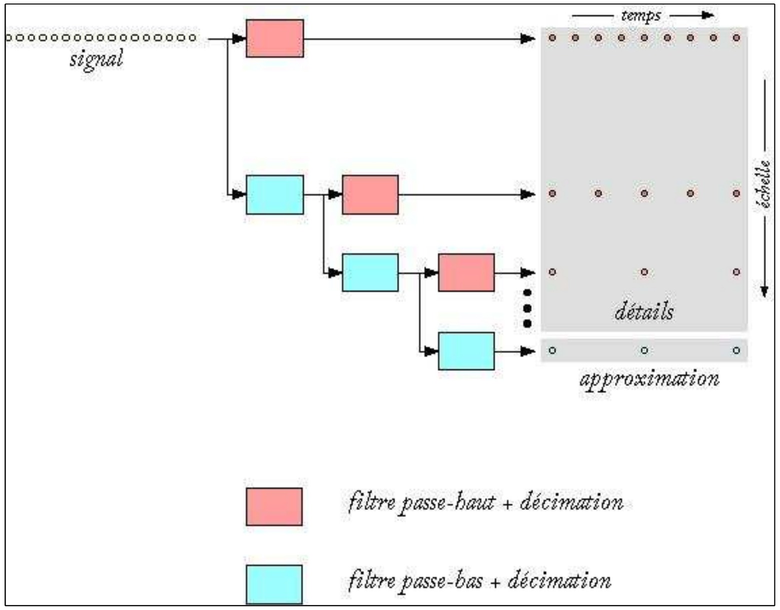
Transformée en Ondelettes : Définition

- Coefficients d'Ondelettes : $T_X(a,t) = \langle X, \psi_{a,t} \rangle$
- "Base" d'Ondelettes : $\psi_{a,t}(u) = \frac{1}{|a|}\psi_0(\frac{u-t}{a})$
- Ondelette-Mère : $\int \psi_0(u)du = 0$



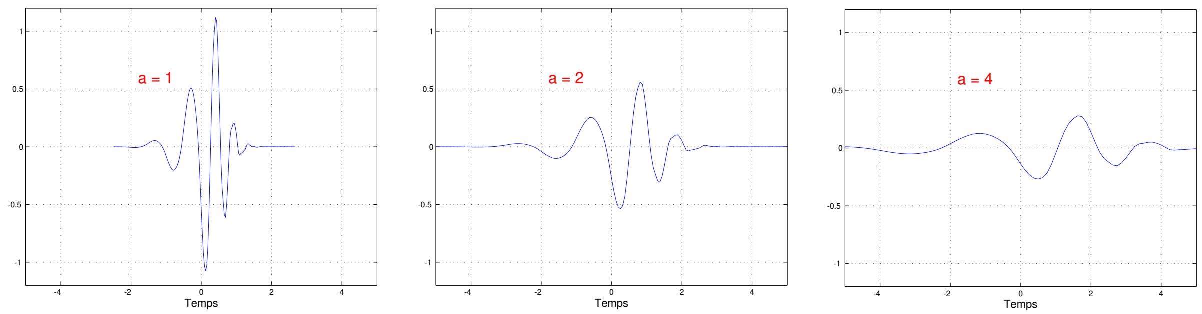
Transformée Discrète en Ondelettes :

$$
\begin{aligned}
(j,k) &\Leftarrow (a=2^j, t=k2^j)\\
d_X(j,k) &= T_X(a=2^j, t=k2^j)\\
&= \langle X, \psi_{j,k}\rangle\\
\psi_{j,k}(u) &= 2^{-j}\psi_0(2^{-j}u-k)
\end{aligned}
$$



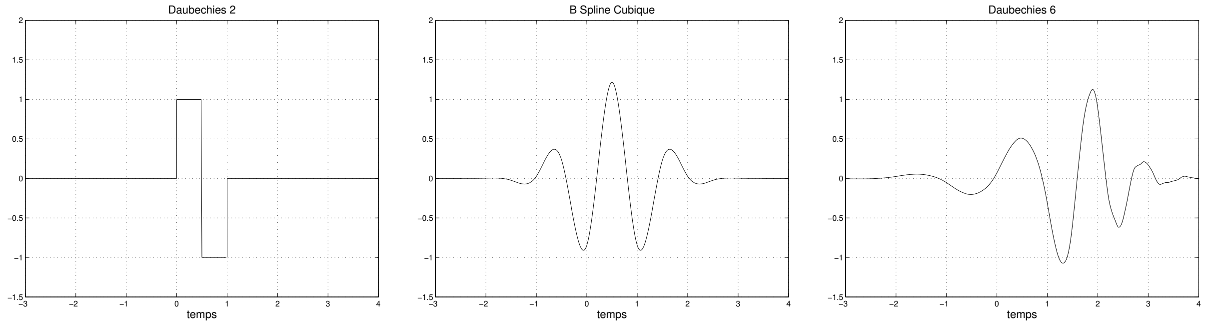
Transformée en Ondelettes :
Deux Ingrédients Fondamentaux

- Changement d'échelle, Dilatation, $\frac{1}{|a|}\psi_0(\frac{t}{|a|})$



- $N \geq 1$, Nombre de moments nuls,

$$\int t^k \psi_0(t)dt \equiv 0,\ \ k = 0, 1, \ldots, N-1,$$



Ondelettes et Lois d'Echelle

Les Coefficients d'Ondelettes :

- **P2 :** forment des Séries Stationnaires.
- **P3 :** forment des Séries à Courte Dépendance Statistique
- **P1 :** reproduisent les lois d'échelles,
  - ∗ Autosimilarité :

$$\mathbb{E}|d_X(j,k)|^q = C_q (2^j)^{qH} = C_q \exp\left(qH \ln(2^j)\right)$$

  - ∗ Multi-Scaling :

$$\mathbb{E}|d_X(j,k)|^q = C_q (2^j)^{H(q)} = C_q \exp\left(H(q) \ln(2^j)\right)$$

  - ∗ Cascades Infiniment Divisibles :

$$\mathbb{E}|d_X(j,k)|^q = C_q \exp\left(H(q) n(2^j)\right)$$

Ondelettes et Lois d'Echelle : Diagrammes Log-Échelle

- **Principe :**

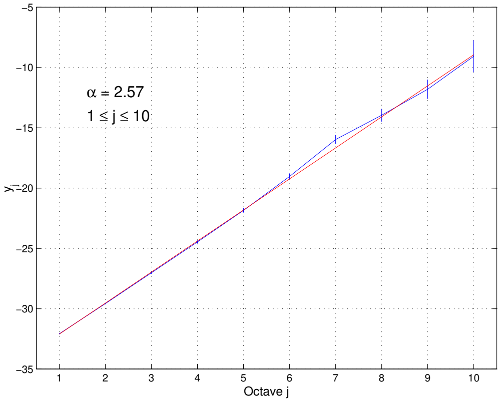
  - Idée : $\mathbf{P1} \Rightarrow \mathbb{E}|d_X(j,k)|^q = \mathbb{E}|d_X(0,k)|^q 2^{jqH}$

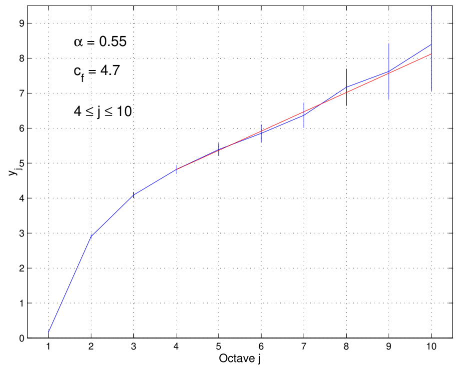
    $\mathbf{P1} \Rightarrow \log_2 \mathbb{E}|d_X(j,k)|^q = jqH + \beta_q,$

  - Problème : Estimer $\mathbb{E}|d_X(j,k)|^q$?

  - Solution : $\mathbf{P2\ et\ P3} \Rightarrow S_q(j) = (1/n_j)\sum_{k=1}^{n_j} |d_X(j,k)|^q$

- **Diagramme Log-Échelle :** $\log_2 S_q(j)$ *vs* $\log_2 2^j = j$





Boîte à Outils Matlab :

www.emulab.ee.edu.au/~darryl

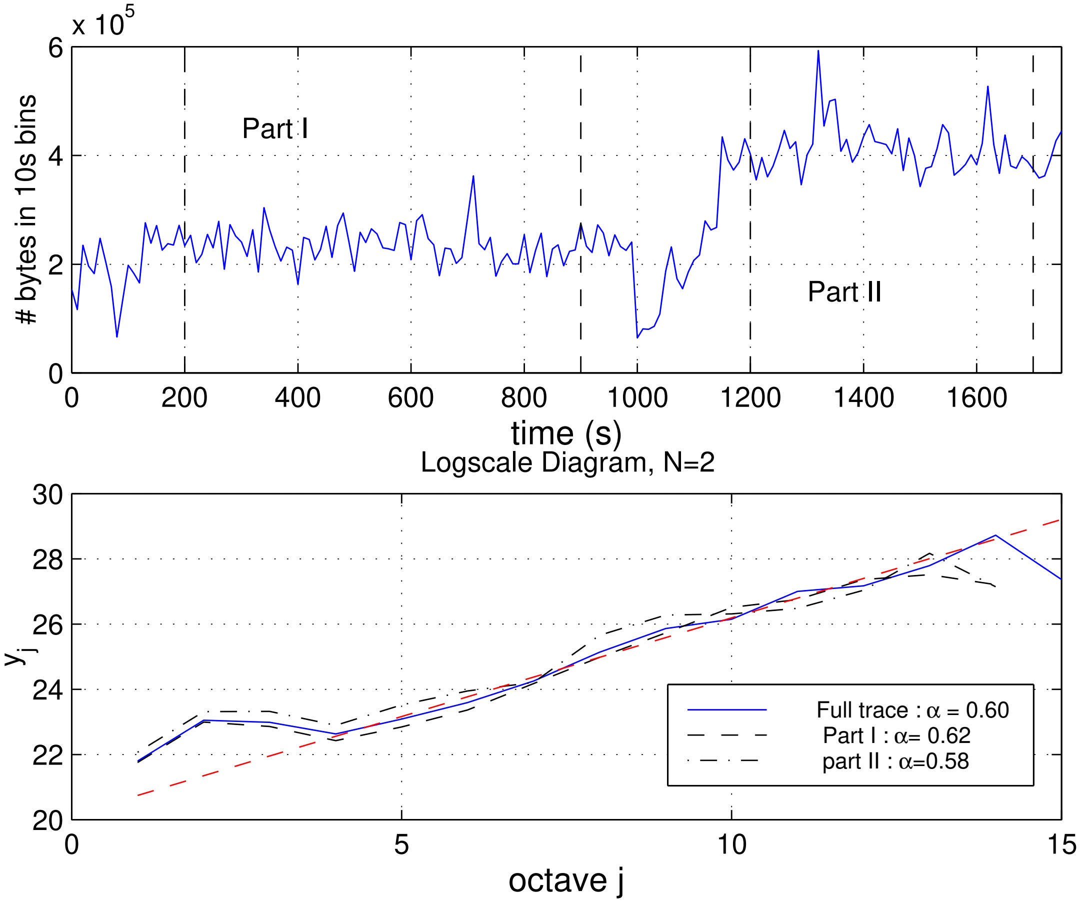
- Outils :

- Décomposition en Ondelettes Discrètes,
- Variation du Nombre de Moments Nuls,
- Statistiques d'Ordre Supérieurs,
- Détection de lois d'échelle, - Identification de modèle,
- Régressions Linéaires,
- Test de Constance en Temps (de stationnarité).

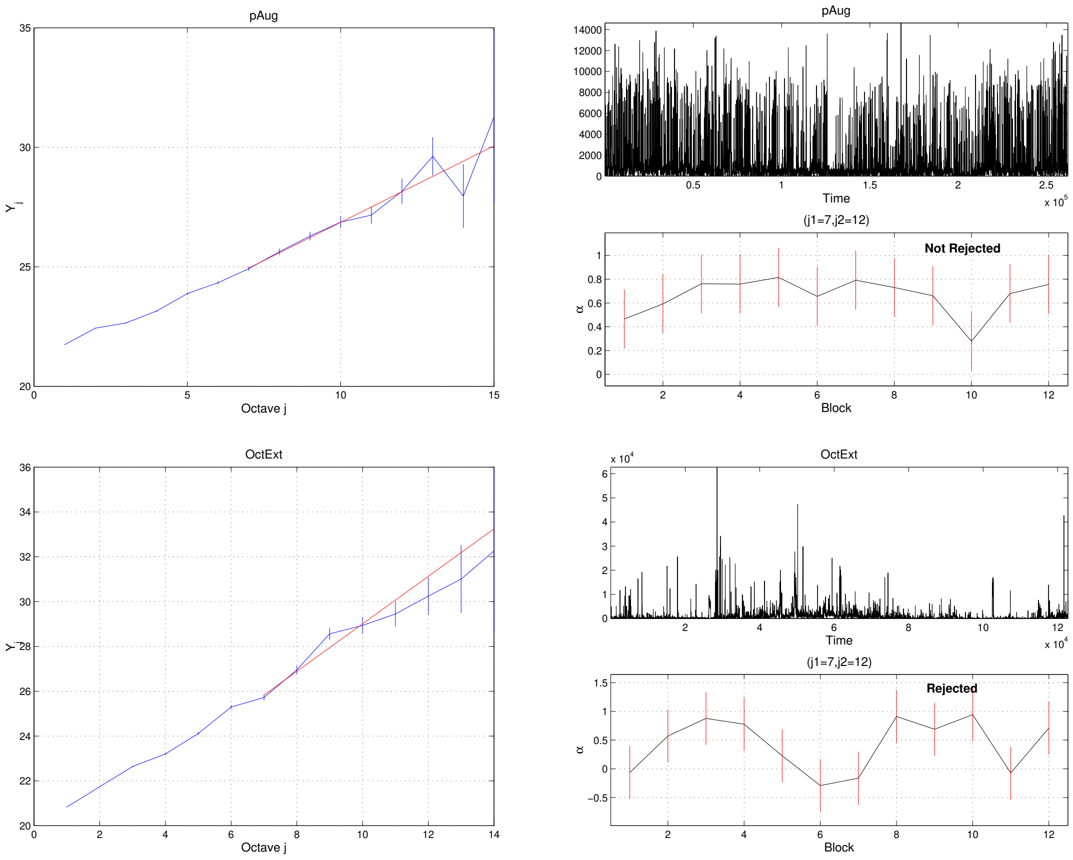
- Qualités et Performances :

- Tous types de séries temporelles (temps continu ou discret),
- Evaluation Analytique des Performances d'estimation,
- Coût de calcul $\Rightarrow$ temps-réel, en ligne,
- Robustesse (Lois d'échelle *vs* Non Stationnarités).

Robustesse : tendances Superposées
Données Ethernet



Robustesse : Constance des Lois d'Échelle Données Ethernet



Données

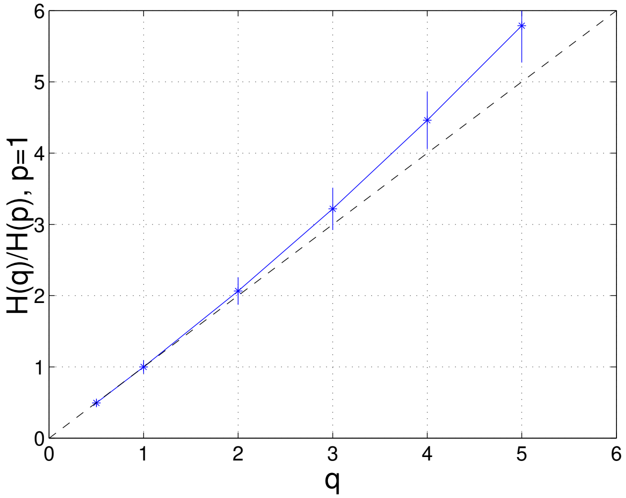
- LAN : Ethernet – InterArrivée, Volume des paquets (Bellcore, 1989-1990).

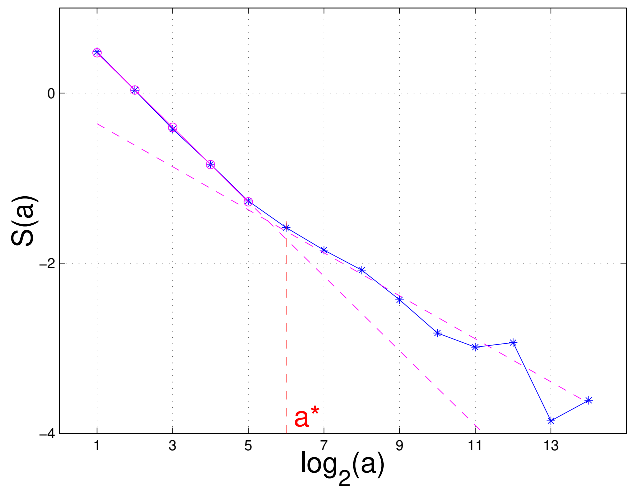
- WAN : Internet (IP)

Traces	Date	Local Time	Rate (Mbps)	Link
MelbISP-1	20000425	19:00 to 22:00	0.03	Unknown
AUCK-a0	19991201	13:00 to 16:00	1.5	OC3
AUCK-c0	20010402	02:00 to 05:00	0.4	OC3
AUCK-d0	20010402	13:00 to 16:00	3.7	OC3
UNC-a0	20000927	19:30 to 20:30	178	OC12
Abilene	20020814	10:00 to 10:10	418	OC48c

Principaux Résultats (Internet)

- Identification de Modèles, Gammes d'échelle, Paramètres.
- BiScaling : (Ecart à l'AutoSimilarité Exacte)





- paramètres *physiques* vs paramètres *modèles*
- Cluster Point Process
- Flows vs Packets

Développements et Perspectives

- Universalité ou Spécificité des résultats
  - Protocoles,
  - Types de trafic (applications, type de données),
  - Topologie du réseau,
- Impacts des lois d'échelle sur les *performances* (qualité de service,. . .),
- Impacts des lois d'échelle sur le *contrôle*, sur la *conception* des réseaux,
- Synthèse numérique de processus à lois d'échelle prescrites,
- Mécanismes à l'origine de l'existence, de la nature, des paramètres des lois d'échelle,
- Relations avec les lois d'échelles observées dans d'autres systèmes.

Autres Directions en Traitement du Signal

- Etudes des lois d'Echelles

- Prédiction :

  - des Séries Temporelles,
  - des caractéristiques du réseau,
  - des performances du réseau.

- Tomographie Internet

  - Inférences de caractéristiques du réseau,
  - Techniques de Problèmes Inverses.

RÉFÉRENCES

• PAGES WEB : (Articles et Codes MATLAB)

www.ens-lyon.fr/~pabry

www.emulab.ee.edu.au/~darryl

• MÈL : Patrice.Abry@ens-lyon.fr

• ARTICLES : P. ABRY ET AL.

* WAVELETS FOR THE ANALYSIS, ESTIMATION AND SYNTHESIS OF SCALING DATA,
Self Similar Network Traffic Analysis and Performance Evaluation,
K. Park and W. Willinger, Eds., Wiley, pp. 39–88, 2000.

* MULTISCALE NATURE OF NETWORK TRAFFIC,
Proc. of the IEEE, *network traffic: scaling and Complexity*, 19(3):28–46, Mai 2002.