
Éléments de caractérisation des environnements des systèmes Pair à Pair

Georges Da Costa — Corine Marchand — Olivier Richard — Jean-Marc Vincent

Projet APACHE - INRIA

Laboratoire ID-IMAG

ZIRST 51, avenue Jean Kuntzmann

38330 MONTBONNOT SAINT MARTIN

{Corine.Marchand,Georges.Da-Costa,Olivier.Richard,Jean-Marc.Vincent}@imag.fr

RÉSUMÉ. Pour évaluer les systèmes Pair à Pair, il est nécessaire de comprendre les influences qui s'exercent sur eux. Dans cet article nous avons étudié certaines de ces influences d'un point de vue client contrairement au point de vue serveur usuel. Une caractérisation d'un certain nombre de ces facteurs influents tels que l'activité des utilisateurs ou la présence de différents types de fichiers ainsi que leurs distributions a été réalisée. En particulier, l'étude caractéristique des requêtes dans les systèmes de partage Pair à Pair et celle de la puissance de calcul dans les systèmes de calcul Pair à Pair sont abordées. Enfin, nous avons explicité la méthodologie suivie pour obtenir le profil de présence des utilisateurs.

ABSTRACT. In order to evaluate Peer to Peer systems, it became necessary to understand the external influences that occur on them. In this article we studied some of this influences from the client point of view, contrary to the usual server one. A characterization of several of those influent factors like the user's activity, or the repartition and size of files have been realized. In particular, the characteristics of requests in Peer to Peer file sharing systems and the computer power of the volunteers of Peer to Peer computing systems are approached. Finally we explain the methodology followed to obtain the availability of Peer to Peer systems volunteers computers.

MOTS-CLÉS : Systèmes Pair à Pair, Caractérisation, Disponibilité, Partage de documents, Méthodologie d'analyse

KEYWORDS: Peer to Peer, Characterization, Availability, File-Sharing, Analyze Methodology

1. Introduction

L'étude des systèmes Pair à Pair [ORA 01] est un domaine encore récent et leur comportement à grande échelle (plusieurs millions de machines) est encore mal connu [NEI 03]. Ces systèmes réagissent à un grand nombre de facteurs (dont notamment le nombre d'utilisateurs, leur comportement, le type d'infrastructure) et, à l'heure actuelle, il y a un manque de modélisation ou d'expérimentation qui permettrait de les étudier. La caractérisation de l'environnement de ces systèmes - environnement représenté par l'ensemble des facteurs influents - est nécessaire à leur compréhension. Or, les trois grandes méthodes d'analyses que sont la modélisation, la simulation et l'émulation, ont en commun la nécessité de caractériser cet environnement.

Face à la complexité de cet environnement, il semble impossible de faire une liste exhaustive des facteurs influents. Cependant de nombreux travaux ont cherché à évaluer certains facteurs particuliers, tels que par exemple le trafic TCP [PAD 98], ou le trafic HTTP au niveau des serveurs [ARL 96, SIL 98, BRE 99, BAR 98, CUN 95]. De même, le thème de la topologie sous-jacente de l'Internet a été fréquemment abordé [FLO 01, MED 00], ainsi que le thème du trafic de fond présent dans l'Internet [ABR 02, CRO 97].

Or, contrairement aux travaux cités précédemment qui d'un point de vue global abordent la problématique du côté serveur, nous nous sommes intéressés aux paramètres influents du point de vue des clients. Pour ce faire, l'approche retenue afin de caractériser certains facteurs particuliers est l'analyse de traces. Ainsi l'étude proposée s'est basée à la fois sur les traces de trafic Internet [WEB], sur les traces spécifiques extraites du système Pair à Pair Gnutella [GNU] et sur celles du projet coopératif d'évaluation de la qualité du réseau ADSL La Grenouille [GRE].

Nous avons donc focalisé nos travaux sur la caractérisation de trois ensembles de facteurs importants. D'une part, l'évolution des systèmes de partage de documents étant dirigée par les requêtes, l'étude des facteurs liés à ces requêtes paraît indispensable. D'autre part, la puissance de calcul étant la ressource critique des systèmes de calcul Pair à Pair, la modélisation de sa répartition est nécessaire à l'optimisation de l'exploitation de cette ressource. Enfin, les facteurs influençant la disponibilité des machines dans les systèmes Pair à Pair sont étudiés car ils conditionnent la dynamique de ces systèmes.

Aussi, nous présenterons tout d'abord notre étude des paramètres influents sur les systèmes de partage de fichiers Pair à Pair. Puis nous expliciterons la répartition en puissance des machines utilisées dans de grands projets coopératifs. Nous décrirons enfin la construction de notre méthodologie expérimentale en vue de modéliser les comportements des utilisateurs.

	Fichiers demandés	Activité des utilisateurs	Délai
Loi de distribution	Loi de Zipf étendue $F(\text{rang}) = \frac{C}{\text{rang}^\alpha}, \alpha = 0.8$	Exponentielle $A(u) = \beta \exp(-\beta u)$	Pareto $D(t) = \gamma k^\gamma t^{-(\gamma+1)}$

Tableau 1. Loi de distribution des paramètres des requêtes. La loi de distribution des fichiers demandés (cibles) est une représentation de la popularité des fichiers. L'activité des utilisateurs représente la distribution du nombre de requêtes envoyées par les utilisateurs, et le délai est le temps écoulé entre deux requêtes envoyées par les utilisateurs.

2. Requêtes dans les systèmes de Partage de documents Pair à Pair

Les systèmes de partage de documents Pair à Pair subissent l'influence d'un grand nombre de facteurs. En effet cela va de la façon dont les documents sont introduits dans le système, à la façon dont ils sont demandés par les utilisateurs, en passant par la taille de ces documents.

L'environnement des systèmes Pair à Pair, caractérisé par tous ces facteurs influents, peut être séparé en deux parties. D'une part les facteurs se rapportant à l'architecture matérielle, telles que les machines sur lesquelles le système fonctionne ou l'infrastructure les reliant, peuvent être isolés. Et d'autre part, on peut regrouper les facteurs liés à l'utilisation de ces systèmes, dont notamment les facteurs concernant les requêtes ou ceux spécifiques des fichiers. Seuls les facteurs composant la seconde partie sont fonctions du système utilisé. Aussi dans le cadre des systèmes de partage de documents Pair à Pair, deux ensembles de facteurs sont particulièrement intéressants : les facteurs concernant les requêtes ainsi que ceux concernant les fichiers sur lesquels ces requêtes sont faites. Aussi l'objectif est de déterminer et de caractériser les facteurs faisant partie de ces ensembles.

Une requête peut être définie grâce à trois facteurs indépendants : son auteur, sa cible et sa date d'envoi. L'auteur de la requête correspond à l'utilisateur (en fait la machine) qui initie la requête. La cible de la requête correspond au fichier recherché. La date d'envoi de la requête représente le temps local de la machine émettrice. La table 1 résume les lois de distribution obtenues pour ces trois facteurs caractérisant les requêtes. De même un fichier peut être caractérisé par deux facteurs : sa taille (en kilo-octets) et sa localisation (sur quel serveur web se trouve la donnée).

2.1. *Caractérisations orientées serveurs http*

Dans l'étude [BAR 98], Barford et Crovella caractérisent l'environnement d'un serveur afin de rendre étudiable la réaction des serveurs face à la charge. Cette étude est réalisée dans l'optique du paradigme Client/Serveur. Elle se focalise sur l'étude du trafic de requêtes sur un serveur Web. Même si leur point de vue est différent du notre, le contexte est comparable : la diffusion et le partage de contenu. Ainsi un certain nombre de leurs résultats sont exploitables : ceux concernant la cible de la requête, ceux explicitant le temps entre deux requêtes, et enfin les résultats liés aux tailles de fichiers.

2.1.1. *Cible de la requête*

D'après l'étude de traces [BAR 98], la loi de distribution des objets visés par la requête dépend exclusivement de la popularité des fichiers. Si l'on trie les fichiers en fonction de leur popularité, la distribution des requêtes suit une loi de Zipf [CUN 95] :

$$F(\text{rang}) = C/\text{rang}$$

où C est une constante de renormalisation dépendant du nombre total de fichiers, et rang est l'index de popularité de l'objet.

Cette loi est souvent exprimée par la loi des *90/10* : 10% des fichiers les plus demandés génèrent 90% des requêtes. D'après [BRE 99] il n'y a pas de relation entre la taille des objets et leur popularité. De plus fines études [BRE 99] sur les traces générées par des proxies et des routeurs montrent que les requêtes suivent une loi légèrement différente :

$$F(\text{rang}) = C/\text{rang}^\alpha$$

avec $\alpha = 0.8$. Cette loi est appelée la loi étendue de Zipf.

2.1.2. *Temps entre requêtes*

Dans [BAR 98], Barford et Crovella montrent que le temps entre deux requêtes web suit une loi de Pareto : La probabilité qu'il y ait t secondes entre deux requêtes est

$$D(t) = \gamma k^\gamma t^{-(\gamma+1)}$$

avec $k = 1$ et $\gamma = 1.5$.

2.1.3. Taille des fichiers

Plusieurs études [BAR 98, ARL 96] montrent que la répartition des tailles de fichiers transférés dans l'Internet suit une distribution lognormale. La probabilité que le fichier soit de la taille s est égale à

$$\frac{1}{s\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln s - \mu)^2 / 2\sigma^2}$$

, où σ et μ sont des constantes expérimentales qui dépendent du type de fichiers.

Il existe plusieurs types de fichiers dont notamment : les pages web, les fichiers multimédia, les articles scientifiques, ... L'étude [BAR 98] détermine que les constantes σ et μ sont respectivement égales à 1.3 et 9.3 pour les pages web (principalement des pages HTML), ce qui signifie que la taille moyenne des fichiers est approximativement de 9ko et que l'écart-type est relativement faible.

2.2. Compléments pour les systèmes Pair à Pair

Nous nous focalisons sur la façon dont les utilisateurs interagissent avec le système. En effet, les études citées précédemment considèrent les utilisateurs comme une seule entité qui agit sur le système. L'étude du comportement individuel des utilisateurs est indispensable dans le cas des systèmes Pair à Pair car dans de tels systèmes, la façon dont sont effectuées les requêtes influe sur le comportement du système lui-même [DAC 01].

Pour obtenir ces informations, nous avons considéré le cadre d'utilisation des systèmes de partage de document Pair à Pair. Ce cadre étant les systèmes de partage de documents, nous avons utilisé des traces venant du type de système le plus répandu : le web.

2.2.1. Auteur de la requête

Peu d'études ont été faites sur la façon dont les utilisateurs (au sens machines) génèrent les requêtes. La plupart des études réalisées sur la charge de serveurs de l'Internet (par exemple [BAR 98]) se concentrent sur le point de vue du serveur, à savoir sa charge, et non sur la provenance des requêtes. En effet il n'est pas nécessaire de connaître les expéditeurs pour obtenir des informations sur la façon dont réagit un serveur sous la charge. Aussi, nous nous sommes penchés sur l'étude de la répartition de la provenance de ces requêtes. Afin d'obtenir cette information, nous avons utilisé des traces de proxies.

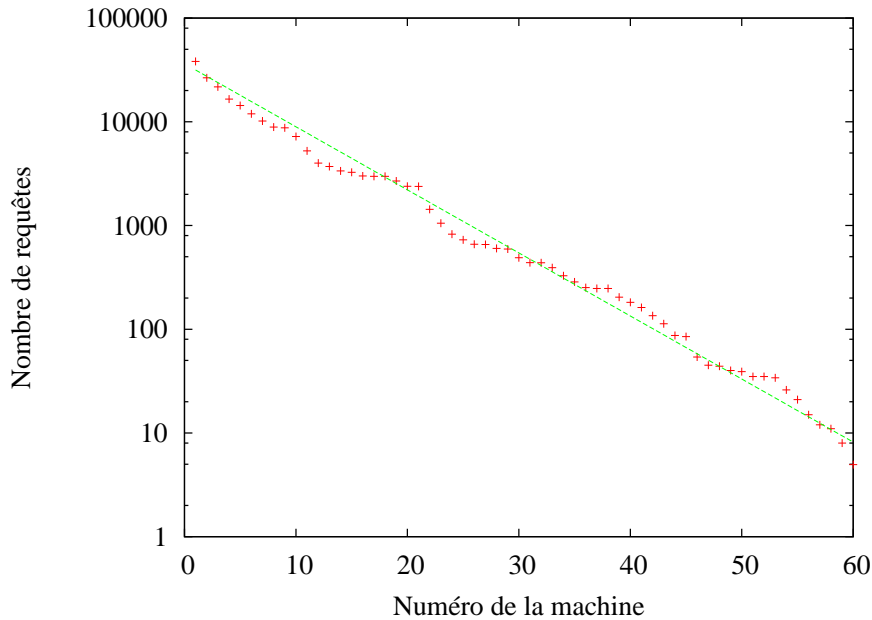


Figure 1. Répartition du nombre de requêtes en fonction de l'activité des utilisateurs. Les utilisateurs sont triés du plus actif au moins actif.

Il apparaît que la loi de distribution du nombre de requêtes émises suit une loi exponentielle décroissante (figure 1).

$$A(u) = \beta e^{-\beta u}$$

donne la probabilité que le $u^{i\text{eme}}$ utilisateur (en nombre de requêtes envoyées) envoie une requête à un temps donné, avec $\beta = 0.14$.

L'analyse des traces de Boeing [BOE], Ircache [IRC] et Clarknet [CLA] a permis d'obtenir cette loi. De plus la constante β a été calculée en effectuant une régression linéaire dans une représentation logarithmique des données.

2.2.2. Position initiale des fichiers dans le système

A notre connaissance, il n'existe pas d'étude sur la localisation des fichiers dans l'Internet (position initiale). Or, contrairement à l'Internet, l'information identifiant le serveur qui propose la donnée est importante dans un système Pair à Pair. En effet dans plusieurs de ces systèmes, le fait d'insérer un fichier génère une modification chez les serveurs voisins, et la propagation de cette modification influe sur le comportement global du système.

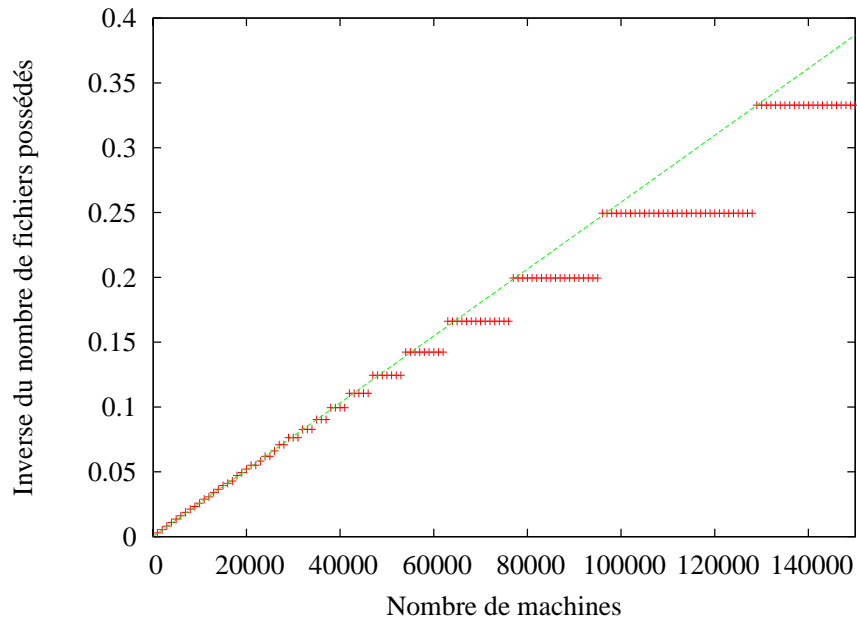


Figure 2. Inverse du nombre de fichiers stockés sur les machines. Les machines sont triées de la machine qui possède le plus de fichiers à la machine qui en possède le moins.

Afin de connaître le point d'insertion des fichiers dans le système, nous avons utilisé les traces de trafic Internet [WEB]. L'analyse de ces traces nous permet d'identifier sur quel serveur de l'Internet était positionné le fichier. En transposant cette localisation dans le monde Pair à Pair, nous pouvons savoir sur quel serveur le fichier a été inséré. Ce qui nous intéresse n'est pas la localisation d'un fichier en particulier, mais le nombre de fichiers différents possédés par un serveur particulier.

La figure 2 a été produite à partir des informations d'un proxy de Boeing. La droite obtenue est caractéristique d'une loi de Zipf. La valeur du coefficient C a été calculée en effectuant une régression linéaire sur les données. Nous n'avons pas utilisé toutes les données pour le calcul. Les plateaux visibles sur la figure 2 sont provoqués par le passage à l'inverse sur une fonction entière. Pour effectuer le calcul, nous nous sommes basés uniquement sur le premier élément de chaque plateau.

2.2.3. Taille des fichiers

En ce qui concerne les fichiers multimédia, nous avons modifié un client Gnutella afin d'une part de vérifier la validité de la loi, et d'autre part d'obtenir les valeurs de

	Taille	Répartition des fichiers
Loi de distribution	Lognormale $\frac{1}{s\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-(\ln s-\mu)^2/2\sigma^2}$	Zipf $I(f) = \frac{C}{f}$, avec $f < \text{nombre total de fichiers}$

Tableau 2. Loi de distribution suivies par les caractéristiques des fichiers. La répartition des fichiers représente le nombre de fichiers possédés par les serveurs

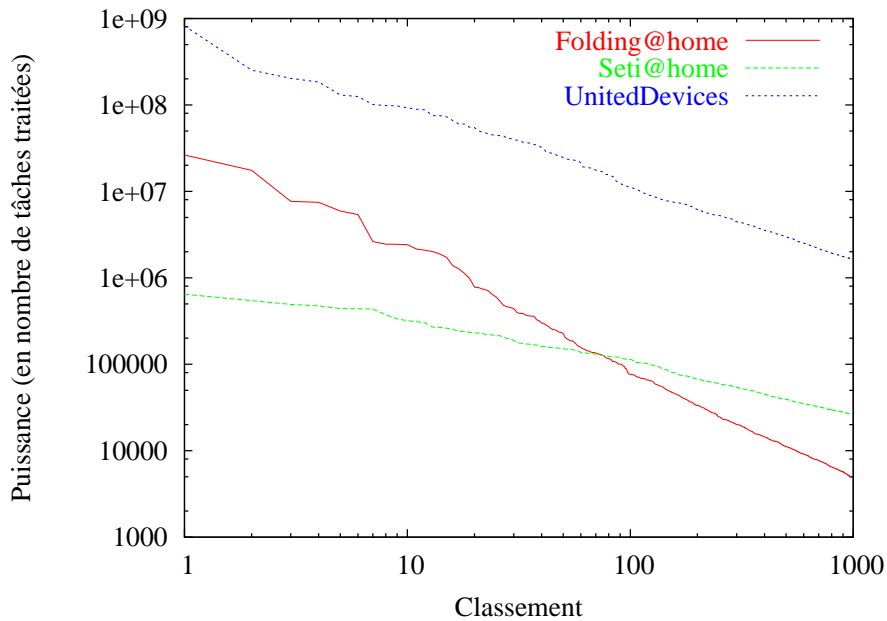


Figure 3. Vue logarithmique des équipes les plus puissantes participant au projet *Folding@Home* et *United Devices* durant le printemps 2003, et au projet *Seti@Home* durant l'été 2002

μ et de σ . Nous avons pu vérifier que la loi reste une loi de type lognormale avec les paramètres $\sigma = 4.9$ et $\mu = 3580$. En effet les 50000 fichiers multimédia différents que nous avons manipulés ont généralement une taille avoisinant $3.6Mo$ et leur écart-type est plus faible que pour le type de fichiers englobant les pages web.

3. Répartition des ressources de calcul

Les systèmes de calcul Pair à Pair [p2p02] sont des systèmes dans lesquels les participants partagent une partie de leurs ressources de calculs. Chaque participant

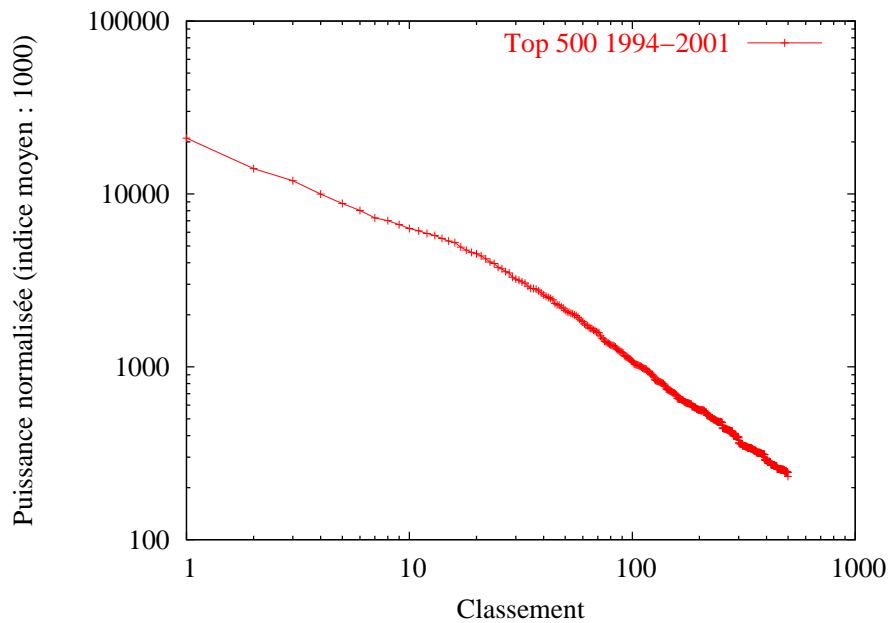


Figure 4. *Vue logarithmique des 500 centres de calcul les plus puissants (d'après le TOP500) de l'année 1994 à l'année 2001*

peut soumettre une tâche au système qui sera répartie entre plusieurs machines pour y être effectuée. Par conséquent, la puissance des machines est une ressource critique. Aussi, un autre facteur influent sur le comportement des systèmes de calcul Pair à Pair est la puissance des machines qui le composent. Mais elle est difficile à obtenir directement.

Une méthode détournée d'évaluation de cette puissance consiste à s'inspirer de projets coopératifs comme Seti@Home [AND 99] utilisant le concept d'équipe pour fonctionner. Les équipes ainsi établies regroupent des participants par domaine d'intérêt ou par affinité géographique. Les utilisateurs donnent une partie de leur temps de calcul à une équipe en particulier. Les temps processeurs des équipes étant des données accessibles, cela nous informe sur leur répartition en puissance.

De plus, bien que les projets tels que Seti@Home soient de type centralisés, certains projets [FED] de Calcul Pair à Pair envisagent d'utiliser cette même notion d'équipe en donnant la possibilité aux utilisateurs de participer à des calculs spécifiques.

La figure 3 montre que la puissance des groupes de machines suivent la loi de Zipf [ZIP 49]. Les courbes expriment la puissance en comptant le nombre de tâches

réalisées par chaque équipe. Sur un grand nombre d'échantillons, on peut considérer que le nombre de calculs nécessaires pour traiter une tâche est en moyenne constant.

Une autre méthode d'évaluation de répartition en puissance de machines consiste à regarder des classements comme le *Top500* [DON 98] qui lui est en Giga-Flops. Cela donne une bonne représentation de la répartition (figure 4) de la capacité de calcul des plus puissantes machines disponibles.

Beaucoup d'autres caractéristiques physiques sont difficiles à obtenir : l'espace disque, la mémoire, le cache, etc. . . Nous ne pouvons que supposer que les machines sont vendues de façon cohérente et ainsi que les lois s'appliquant à la puissance de calcul peuvent s'appliquer d'une manière plus générale aux caractéristiques des machines (la taille des disques ou la mémoire par exemple).

4. Caractérisation de la disponibilité des machines

Dans cette section, nous nous attachons à décrire une approche complémentaire : modéliser la disponibilité des machines [BHA 03] participant aux systèmes Pair à Pair. En effet, il est difficile de construire une modélisation à priori des utilisateurs de ces machines. De plus, l'extraction d'un comportement global est rendue difficile par la multitude de comportements différents d'un grand nombre d'utilisateurs, allant d'une utilisation occasionnelle à une utilisation permanente. De même que l'obtention de cette modélisation est une tâche compliquée, il n'est pas trivial d'obtenir directement des informations sur cette population. Par ailleurs, l'utilisation de données partielles sur la disponibilité, nécessite l'évaluation de leur pertinence, ainsi que de leur représentativité.

Pour ce faire, nous avons basé notre étude sur les données fournies par l'équipe Groupe Clusters Grilles/Grand-Large (Inria Futurs) dans le cadre de l'ACI-Grid CGP2P. Ces données sont tirées d'un effort d'évaluation de la qualité des accès ADSL français appelé La Grenouille [GRE]. Le projet de La Grenouille permet de répondre à certaines de nos interrogations. Ce projet a pour but de fournir une *météo du net*. Pour cela le site de la grenouille¹ publie en temps réel les performances des différentes offres ADSL, illustré sur la capture d'écran en figure 5. Ce projet étant indépendant - dans le sens où il n'est pas lié aux différents opérateurs fournissant des accès ADSL -, il fournit des informations non biaisées. De plus, les critères utilisés dans le calcul des qualités des offres sont parfaitement visibles, ce qui renforce l'objectivité de ce site. Enfin ce projet possède des caractéristiques qui le rendent intéressant pour les utilisateurs. En effet, il s'agit d'un projet ouvert (son code source est disponible), qui est transparent pour l'utilisateur et qui consomme peu de ressources. Ces caractéristiques

1. <http://www.grenouille.com/>

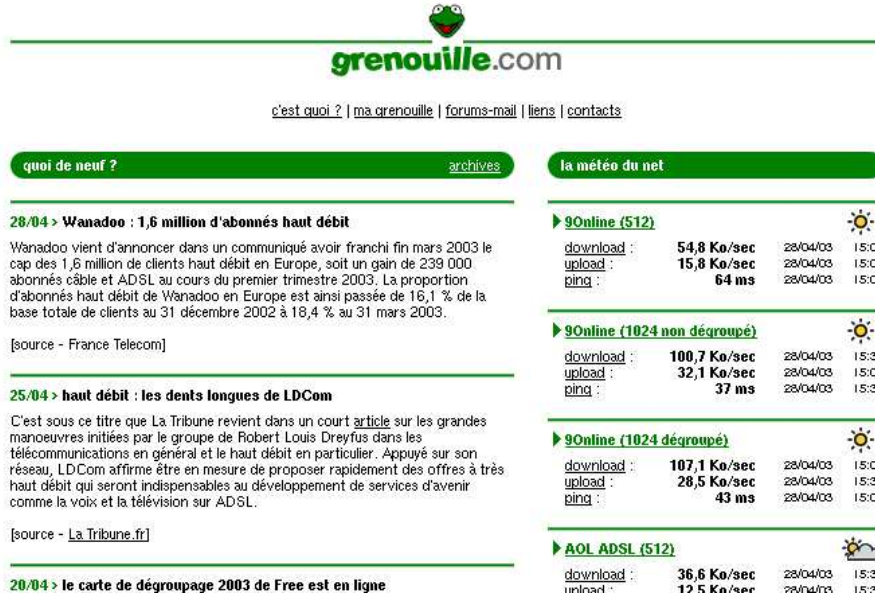


Figure 5. Capture d'écran du site de la grenouille

nous permettent de penser qu'un grand nombre de personnes d'intérêts divers peuvent utiliser ce système, garantissant ainsi sa représentativité.

4.1. Description du traçage

Notre étude s'est restreinte aux machines personnelles reliées à L'Internet par l'ADSL, et nous avons choisi de ne pas tenir compte des machines telles que les serveurs d'entreprises ou les centres de calculs.

Les participants, composés d'utilisateurs de l'ADSL ayant choisi d'adhérer au projet de La Grenouille, sont répartis en plusieurs catégories : les particuliers et les fournisseurs d'accès. Le principe de fonctionnement de ce projet est que chaque participant effectue des mesures de qualité de son accès à l'Internet. Les données ainsi obtenues sont ensuite centralisées sur le serveur de La Grenouille qui effectue ensuite le calcul de la qualité des offres ADSL et les affiche sur son site.

Ces données sont réparties en deux fichiers : un fichier contenant pour chaque participant sa catégorie, l'autre fichier contenant les résultats des mesures effectuées par l'ensemble des participants.

De plus chacune de ces mesures est représentée par différents champs dont : l'identificateur de la trace, la date, l'heure de la prise de mesure et l'identificateur unique de la machine. Par exemple :

Id mesure	Date mesure	Heure mesure	Id machine
4428878611	2003-01-09	12:00:00	25363

Ces mesures s'échelonnent de 2000 à début 2003 et l'unité de mesure considérée est l'heure il n'est donc pas possible d'obtenir des informations de granularité plus fine que l'heure. Le numéro de mesure (identifiant unique) est attribué par le serveur de centralisation de la Grenouille. Par contre, la date et l'heure de la mesure sont locales à la machine effectuant la mesure. Aussi, afin de pouvoir traiter ces données les unes par rapport aux autres, l'hypothèse de synchronisation des horloges est nécessaire. Cependant la détection des horloges désynchronisées est possible avec une précision de l'ordre de l'heure qui est de toutes façons la précision maximale actuelle du système. De plus, il n'est pas impossible que certaines mesures soient perdues car elles sont obtenues localement avant d'être envoyées au serveur.

Il est à préciser que la taille des données à manipuler est de l'ordre de la dizaine de Giga-Octets.

4.2. Exploitation des données

Face à une grande quantité de données, nous avons choisi de subdiviser les données par année et nous focalisons l'étude présentée ici sur l'année 2003. De plus dans un souci de simplification, un pré-traitement a été appliqué sur les données brutes afin d'éliminer les mesures se rapportant aux fournisseurs d'accès.

Par ailleurs, dans le cadre du P2P, après avoir établi nos critères d'intérêt, un certain nombre de mesures peuvent être éliminées. Par exemple un utilisateur ne s'étant connecté qu'une seule fois au cours de l'année sera considéré comme non représentatif.

Après cette phase d'élimination, il est possible d'envisager différentes approches. L'analyse statistique réalisée se place d'une part d'un point de vue utilisateur (nombre d'utilisateurs différents par jour, par heure, ...) et d'autre part d'un point de vue temporel (par exemple, le nombre de jours de présence pour chaque utilisateur). Une synthèse des principaux résultats empiriques est présenté dans le tableau 3.

Afin de réduire le champ d'investigation, nous nous sommes intéressés à l'évolution au cours du temps du nombre de connexions (machines connectées différentes). Il apparaît, comme nous pouvions le supposer, une périodicité quotidienne (voir figure

	Moyenne	Écart-Type
Nombre d'utilisateurs différents par jour	4165	203
Nombre d'utilisateurs différents par heure	1402	432
Nombre de jours de présence pour chaque utilisateur	4.3	2.2
Nombre d'heures de présence pour chaque utilisateur	34	40

Tableau 3. Statistiques sur la première semaine de 2003

Date (2003)	03/01	04/01	05/01	06/01	07/01	08/01	09/01
Nombre d'utilisateurs	3850	3985	3994	4229	4373	4384	4343

Tableau 4. Exemple de nombre de machines différentes connectées par jour sur un total de 6852 machines différentes s'étant connectées sur cette période

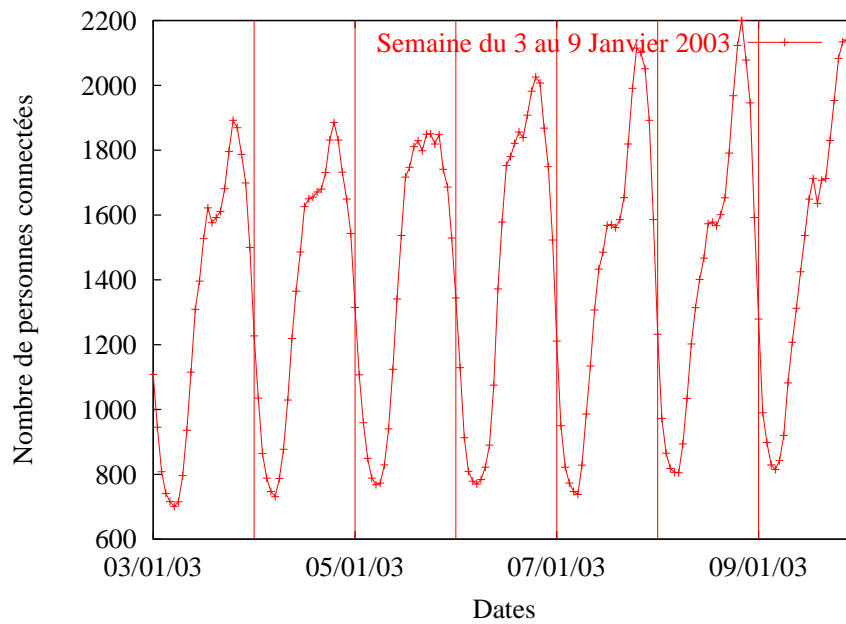


Figure 6. Évolution du nombre de machines connectées différentes sur une semaine

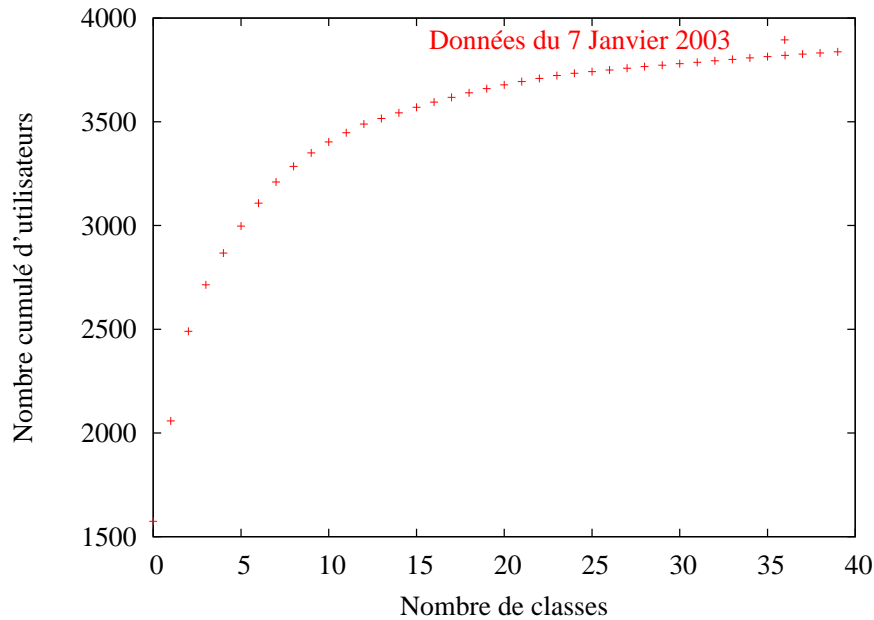


Figure 7. *Cumul des classes en nombre de machines*

6). De ce fait nous avons pu restreindre notre étude du comportement utilisateur à une journée. L'échantillon ainsi considéré reste représentatif (5000 utilisateurs différents connectés pendant une journée sur un échantillon de l'ordre de 7000 utilisateurs représentatifs).

Cette périodicité journalière se retrouve aussi dans de plus grandes plages de temps. Ainsi il est visible sur la figure 8 qu'il existe aussi une périodicité de l'ordre de la semaine, qui est moins prononcée que celle portant sur la journée.

Si le choix de restreindre notre étude à une journée est motivé par la complexité du problème, cette simplification impliquera forcément une perte d'informations. Aussi après l'exploitation des données sur une journée, une étude générale sur de plus longues périodes sera nécessaire pour mettre en valeur d'autres informations pertinentes.

4.2.1. *Profil utilisateur*

Devant un nombre de données important, la difficulté scientifique consiste à identifier les données significatives. Notre approche a consisté à retenir comme étant significatives les heures et durées de connexions de chaque utilisateur. Aussi, un comportement type est donc défini par un grand nombre d'utilisateurs ayant une attitude plus ou moins similaire concernant leurs heures et durées de connexions au cours de

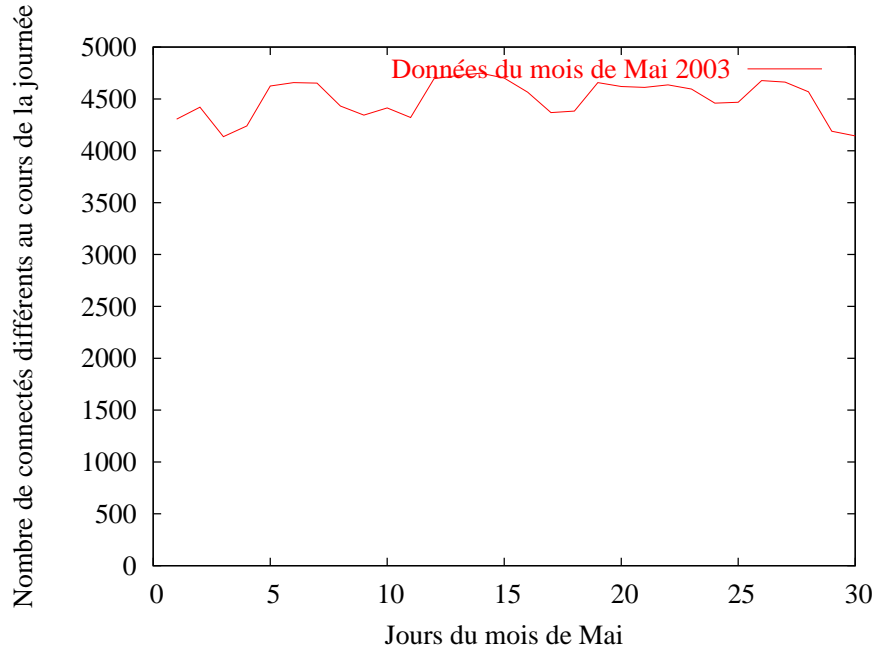


Figure 8. *Évolution du nombre de machines connectées différentes sur une semaine*

la journée. En effet, face à la taille de l'échantillon, il est nécessaire de regrouper préalablement les utilisateurs. Un utilisateur sera donc dorénavant représenté par un vecteur de booléens indiquant sa connexion sur chacune des 24 heures de la journée considérée. Ainsi le regroupement des utilisateurs de même comportement permet une première classification.

Cependant cette première classification reste trop sommaire. En effet les 4373 utilisateurs connectés dans la journée du 7 Janvier 2003 sont représentés par 1710 classes différentes. Afin de regrouper ces différents comportements en classes il existe plusieurs méthodes. Nous avons commencé par effectuer une analyse en composantes principales [L.L 95] afin d'obtenir une première classification. Cette méthode est particulièrement utilisée lorsqu'il s'agit d'obtenir une base représentative d'un espace. Mais cette approche ne nous a pas permis d'obtenir des résultats pertinents.

Dès lors, la question est de savoir suivant quel critère nous pouvons fusionner certaines classes ? Notre méthode consiste alors à calculer les distances de Hamming entre chacune des classes afin d'obtenir une classification plus fine réunissant les comportements de même type. La distance de Hamming [TAN 97] est une méthode simple pour comparer deux listes. Elle est définie par le nombre minimal d'opérations élémentaires nécessaires pour passer d'une liste à l'autre. Ces opérations de base sont la

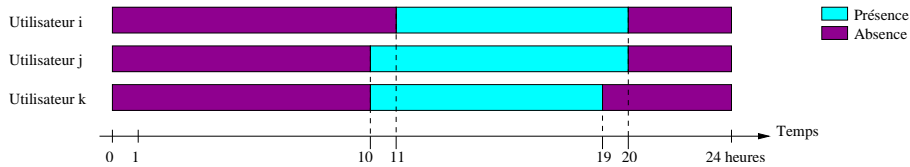
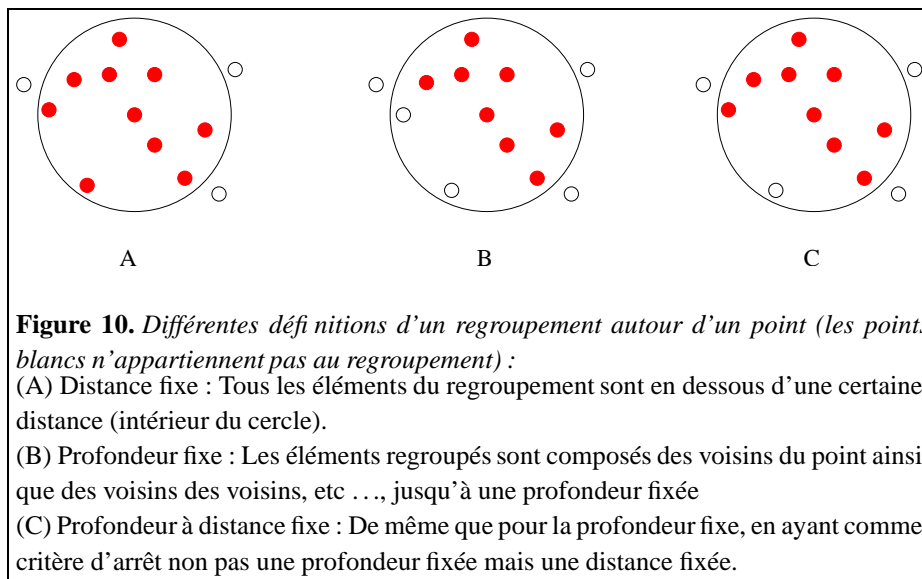


Figure 9. Les utilisateurs i, j et k ont un comportement proche sur une journée



modification, la suppression et l'ajout d'un élément, de plus des poids peuvent être attribués à chacune de ces opérations. Dans notre contexte, afin de prendre en compte à la fois l'heure de connexion et sa durée, nous avons choisi de privilégier la suppression et l'ajout d'un élément au détriment de l'opération de modification. Ainsi, les utilisateurs i, j et k représentés sur la figure 9 sont tous à la même distance (au sens de Hamming) les uns des autres.

Une fois les distances de Hamming obtenues entre les différentes classes d'utilisateurs, plusieurs méthodes de regroupement sont possibles [JAI 91] comme on le voit sur la figure 4.2.1. On peut par exemple utiliser un graphe de voisinage et, pour un utilisateur donné, former une classe avec ses voisins directs, les voisins des voisins, et ainsi de suite jusqu'à une profondeur donnée. Pour exemple, en considérant une distance de Hamming de 1 entre voisins et en fixant comme profondeur 2, on extrait une nouvelle classification ayant 506 classes différentes. Comme le montre la courbe 7, la majorité des utilisateurs sont intégrés à un petit nombre de classes.

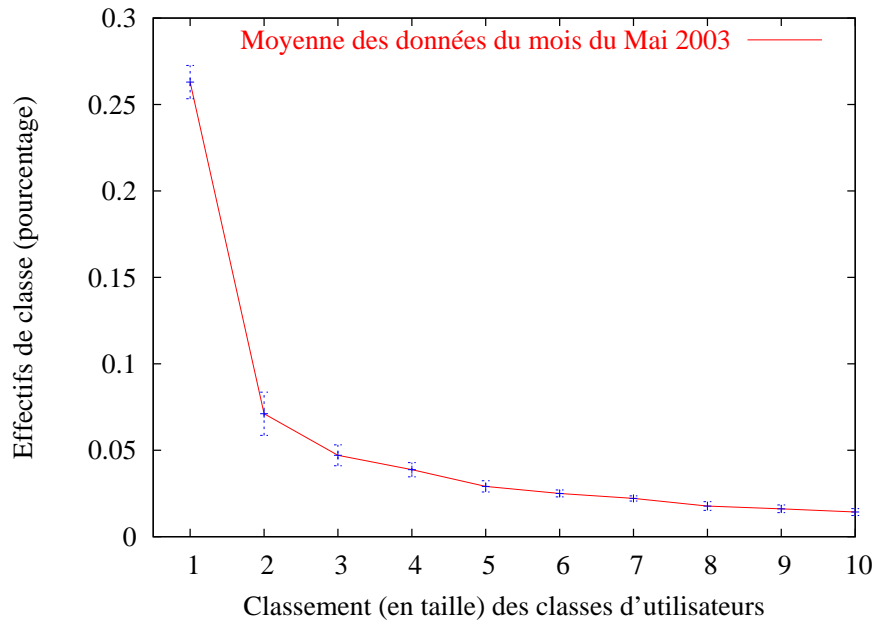


Figure 11. Tailles comparées des clusters sur 1 mois

Cette évaluation des tailles de classes a été reproduite sur plusieurs jours de façon à obtenir les caractéristiques de ces classes. On peut voir sur la figure 11 que la répartition en taille de ces classes est constante en pourcentage sur le mois de Mai 2003. Les écarts types visibles sur cette figure sont faible comparés aux tailles des classes.

Les figures (7 et 11) illustrent la répartition des classes en deux catégories. D'un coté un faible nombre de classes comprenant la majorité des comportements, de l'autre un grand nombre de comportements (environ un quart) plutôt isolés dont la répartition reste à découvrir. Les similitudes entre les journées concerne aussi les classes obtenues. Ainsi au représentant près, les classes extraites sont identiques d'un jour sur l'autre.

4.2.2. Profil des ressources

Ces mesures nous permettent également d'obtenir des informations sur l'utilisation des ressources, en particulier sur son évolution au cours du temps en terme de nombre de machines connectées.

Un phénomène caractéristique confirme notre intuition, à savoir une augmentation des ressources disponibles au cours d'une journée (voir figure 6). Cette augmentation se décompose en deux phases séparées par un palier, lequel correspond à la période

comprise entre 12h et 14h. La forme linéaire des courbes observées permet par régression linéaire d'estimer les pentes de disponibilité en fonction de l'heure de la journée.

5. Conclusion

La caractérisation de l'environnement pour les systèmes Pair à Pair étant une tâche complexe, nous avons explicité quelques uns des facteurs influents.

L'analyse des requêtes a mis en évidence les rapports existants entre les comportements d'utilisateurs de centres d'intérêts différents (fichiers web et fichiers multimédia). En effet, les lois de distribution décrivant ces comportements sont identiques à des constantes près.

Parallèlement, les lois de distribution de puissance dans des systèmes coopératifs de calcul très différents (de la recherche de signaux extraterrestres au décodage du génome) sont de type Zipf. Cette loi de répartition est suivie par tous les systèmes regroupant les participants par équipe mais aussi par les plus grands centres de calculs actuels (top500).

Les deux ensembles de facteurs précédents, les facteurs concernant les requêtes et ceux associés à la répartition de la puissance de calcul, sont influencés par le comportement des utilisateurs. Aussi nos travaux s'orientent vers l'utilisation des résultats obtenus dans le cadre de l'étude des données de La Grenouille ; ces résultats ont montré leur stabilité sur de longues périodes (plusieurs mois) ce qui atteste de leurs représentativités. En effet, l'ADSL étant la seule méthode d'accès à l'Internet de rapport qualité/prix acceptable pour l'utilisation de systèmes Pair à Pair, les comportements des utilisateurs de la Grenouille observés et analysés seront représentatifs de l'utilisation générale de ces systèmes.

6. Perspectives

Par ailleurs, la mise en valeur des lois de distribution des paramètres étudiés nous permet désormais de générer un environnement et d'étudier son influence sur des systèmes de partage de documents Pair à Pair. De plus il paraît envisageable d'utiliser ces résultats dans le cadre des systèmes coopératifs regroupant les utilisateurs par groupes d'intérêts.

La méthodologie d'étude des comportements des utilisateurs peut être adaptée à de nombreux domaines, en particulier elle peut s'appliquer aux systèmes soumis à des contraintes similaires de volatilité des connexions (par exemple, les réseaux sans fil).

Pourtant il reste à extraire une modélisation précise de ces comportements types et de leurs lois statistiques. Une validation minutieuse sera nécessaire car l'objectif d'une telle modélisation est d'implémenter un générateur comportemental. Pour cela nous prévoyons d'utiliser conjointement deux systèmes. Le premier consiste en un générateur journalier. Il utilisera directement les résultats extraits de cette étude. La seconde partie sera constituée d'un générateur de suite de journée. En effet la cohérence du comportement d'un utilisateur n'est avérée que sur une période de longueur supérieure à une journée. Nous prévoyons d'utiliser un automate fini pour décrire dans le temps l'évolution de ce comportement.

7. Remerciement

Nous souhaitons remercier *Ircache*, *Boeing* et *Clarknet* pour nous avoir permis d'utiliser leurs traces web, le projet *XtremWeb* pour leurs traces d'activité, le *Top500* et *Seti@home* de rendre disponible leurs données ainsi que le projet de *La Grenouille* pour ses données et son aide.

Nous remercions également le laboratoire ID pour avoir donné accès au Centre de Cluster de Calcul <http://www-id.imag.fr/grappes.html>. En effet, ce travail utilise le i-cluster ID/HP.

8. Bibliographie

- [ABR 02] ABRY P., BARANIUK R., FLANDRIN P., RIEDI R., VEITCH D., « Multiscale Nature of Network Traffic », *IEEE Signal Proc. Mag.*, vol. 19, n° 3, 2002.
- [AND 99] ANDERSON, SULLIVAN, ABD BOWYER W., COBB, GEDYE, « SETI@home : The Search for Extraterrestrial Intelligence », rapport, 1999, Space Sciences Laboratory, University of California at Berkeley.
- [ARL 96] ARLITT M. F., WILLIAMSON C. L., « Web Server Workload Characterization : The Search for Invariants », *Measurement and Modeling of Computer Systems*, 1996, p. 126-137 1996.
- [BAR 98] BARFORD P., CROVELLA M., « Generating Representative Web Workloads for Network and Server Performance Evaluation », *Measurement and Modeling of Computer Systems*, 1998, p. 151+ 1998.
- [BHA 03] BHAGWAN R., SAVAGE S., VOELKER G. M., « Understanding Availability », IPTS03, 2003.
- [BOE] « Traces de proxy de Boeing - <http://repository.cs.vt.edu/> ».
- [BRE 99] BRESLAU L., CAO P., FAN L., PHILLIPS G., SHENKER S., « Web Caching and Zipf-like Distributions : Evidence and Implications », *INFOCOM (1) 1999*, 1999, p. 126-134.

- [CLA] « Traces de proxy de Clarknet - <http://ita.ee.lbl.gov/html/contrib/ClarkNet-HTTP.html> ».
- [CRO 97] CROVELLA M. E., BESTAVROS A., « Self-similarity in World Wide Web traffic : evidence and possible causes », *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 5, n° 6, 1997, p. 835–846.
- [CUN 95] CUNHA C. R., BESTAVROS A., CROVELLA M. E., « Characteristics of WWW Client-based Traces », rapport n° TR-95-010, 1995, Boston University Computer Science Department.
- [DAC 01] DA-COSTA G., « Évaluation de protocoles Peer to Peer en utilisation à grande échelle : Étude de cas Freenet », 2001, Rapport de DEA.
- [DON 98] DONGARRA J. J., MEUER H. W., STROHMAIER E., « TOP500 Supercomputer Sites, 11th Edition », rapport n° UT-CS-98-391, 1998.
- [FED] FEDAK G., GERMAIN C., NÉRI V., CAPPELLO F., « XtremWeb : A Generic Global Computing System », Submitted to CCGrid2000 (Global Computing on Personal Devices).
- [FLO 01] FLOYD S., PAXSON V., « Difficulties in Simulating the Internet », vol. 9, *IEEE/ACM Transactions on Networking* 2001, août 2001, p. 392-403.
- [GNU] « Gnutella : <http://gnutella.wego.com/> ».
- [GRE] « La Grenouille - <http://www.grenouille.com> ».
- [IRC] « Traces de proxy d'Ircache - <ftp://ftp.ircache.net/Traces/> ».
- [JAI 91] JAIN R., *The Art Of Computer Systems Performance Analysis*, John Wiley and Son, 1991.
- [L.L 95] L. LEBART A. MORINEAU M. P., *Statistique exploratoire multidimensionnelle*, Dunod, 1995.
- [MED 00] MEDINA A., MATTA I., BYERS J., « On the Origin of Power Laws in Internet Topologies », *ACM Computer Communication Review*, vol. 30, 2000, p. 18+.
- [NEI 03] NEIL D., HECTOR G.-M., BEVERLY Y., « Open Problems in Data-sharing Peer-to-peer Systems », *ICDT*, , 2003.
- [ORA 01] ORAM A., *Peer-to-Peer : Harnessing the Power of Disruptive Technologies*, O'Reilly, 2001.
- [p2p02] *2nd International Conference on Peer-to-Peer Computing*, 2002.
- [PAD 98] PADHYE J., FIROIU V., TOWSLEY D., KRUSOE J., « Modeling TCP Throughput : A Simple Model and its Empirical Validation », *ACM SIGCOMM '98 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communication*, Vancouver, CA, 1998, p. 303–314.
- [SIL 98] SILVERSTEIN C., HENZINGER M., MARAIS H., MORICZ M., « Analysis of a Very Large AltaVista Query Log », rapport n° 1998-04, 1998, DEC.
- [TAN 97] TANENBAUM A., *Réseau*, Dunod, 1997.
- [WEB] « Liste de sites de traces de proxy - <http://www.web-caching.com/traces-logs.html> ».
- [ZIP 49] ZIPF G., *Human Behavior and the Principle of Least Effort*, Addison-Wesley, 1949.