

Eléments 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*

{Georges.Da-Costa,Corine.Marchand,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 these 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 [DAS 03]. Le principe des systèmes pair à pair est la mise en commun par un grand nombre de participants de leurs ressources afin de fournir un service commun. Par exemple, un tel service commun peut correspondre à un service de stockage de données ou à un système de calcul. Cette architecture fortement distribuée est souvent obtenue en exécutant des programmes identiques sur un grand nombre de machines. Cela permet d'obtenir un certain nombre de bonnes propriétés comparativement aux systèmes basés sur l'architecture client/serveur. En effet, les systèmes pair à pair sont souvent plus tolérants aux pannes, passent plus facilement à l'échelle, et sont plus adaptatifs que leurs contreparties client/serveur.

Ces systèmes sont à l'heure actuelle cantonnés à la fourniture de services assez simples, tels que le partage de documents. Mais leurs avantages peuvent être mis à profit dans des systèmes plus complexes tels que le remplacement du web par exemple. Des systèmes tels que Freenet [CLA 01] ont pour but de fournir un service se rapprochant d'un internet anonyme et résistant à la censure. Ainsi, on peut envisager qu'à terme, les systèmes pair à pair pourront peut-être remplacer certaines autres formes de fourniture de contenu.

Ainsi, de par leur concept, ces systèmes pair à pair 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. Certaines études récentes se penchent sur le point de vue pair à pair, mais sont souvent liées à l'étude d'un système en particulier, comme [YAN 04] qui se penche sur le système Bittorrent [COH 03]. 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].

L'obtention de ces caractérisations se fait par le biais de sources diverses (La Grenouille, traces de trafic . . .), et ce afin de considérer un cadre global de l'utilisation de ces systèmes. Ainsi nous voulons considérer aussi bien les utilisations actuelles telles que le partage de documents multimédia que des utilisations futures telles qu'un système ressemblant au web actuel. De même, cela nous permet de généraliser certains résultats à des domaines connexes au monde pair à pair.

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. Il faut noter que notre étude reste à un niveau d'abstraction élevé, à savoir le système d'exploitation, le type de réseau, le type de processeur, etc, mis en jeux ne sont pas pris en compte.

Aussi, présenterons-nous 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.

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 répartition des documents 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, tels que les machines sur lesquelles le système fonctionne ou l'infrastructure les reliant, peuvent être isolés. Cette architecture est relativement peu dépendante de l'utilisation qui en est faite. En revanche, la littérature du domaine la présente souvent d'un point de vue qui n'est pas complet dans le cadre du pair à pair. En effet, il est souvent peu intéressant dans le cadre des systèmes client/serveur de connaître la puissance de calcul ou l'espace de stockage disponible du côté des clients. En revanche, ces données sont essentielles pour les systèmes de stockage pair à pair. Ces points seront abordés dans les parties suivantes.

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 aux fichiers.

	Cible de la requête	Activité des utilisateurs	Temps entre les requêtes
Loi de distribution	Loi de Zipf étendue $F(\text{rang}) = \frac{C}{\text{rang}^\alpha}$	Exponentielle $A(u) = \beta \exp(-\beta u)$	Pareto $D(t) = \gamma k^\gamma t^{-(\gamma+1)}$

Figure 1. Loi de distribution des paramètres des requêtes : La loi de distribution de la cible des requêtes 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 temps entre les requêtes correspond au temps écoulé entre deux requêtes envoyées par les utilisateurs.

Seuls ces facteurs sont fonction du système pair à pair 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 réalisées. L'objectif est donc 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. Les auteurs étant anonymes, ce qui nous intéresse est l'activité des utilisateurs. Nous regardons le nombre de requêtes effectuées par les utilisateurs, les uns par rapport aux autres. La cible de la requête correspond au fichier recherché. La date d'envoi de la requête représente le temps local de la machine émettrice. Une autre représentation de ce facteur (date d'envoi de la requête) préfère considérer le temps entre deux requêtes. Bien que ces deux représentations soient équivalentes, afin de générer un environnement de tests de systèmes pair à pair utilisable, il est plus pratique d'utiliser la seconde représentation. Le tableau 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 le fichier). Cette seconde donnée est importante pour les systèmes pair à pair car chaque participant se comporte comme un serveur. Ainsi, il est nécessaire de déterminer la répartition des fichiers sur l'ensemble des serveurs. Les lois de distribution de ces deux facteurs sont présentées dans le tableau 1.

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 nôtre, 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. Il n'y a pas de corrélation entre la taille des fichiers et leur popularité par exemple. Si l'on trie l'ensemble des fichiers disponibles sur l'internet en fonction de leur popularité, la distribution des requêtes suit une loi de Zipf [CUN 95] :

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

Le *rang* représente le classement du fichier lorsqu'on trie l'ensemble des fichiers suivant leur popularité (le fichier ayant $\text{rang} = 1$ étant le plus populaire). C est une constante de renormalisation dépendante du nombre total de fichiers n , elle est calculée en tenant compte du fait que la probabilité totale doit être égale à 1 (et l'on a $C = 1/(\sum_1^n \frac{1}{i})$).

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 proxys 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 dans le système 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 des 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 autres types de fichiers dont notamment : les pages web, les fichiers multimédias, les articles scientifiques, etc. 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 9000 *octets* 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 documents pair à pair. Dans ce cadre, nous avons utilisé des traces venant du type de système le plus répandu : le web.

2.2.1. Activité des utilisateurs

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 réaction d'un serveur à la charge. Aussi, nous sommes nous 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.

Pour obtenir des informations sur l'activité des utilisateurs, il est nécessaire d'utiliser une désignation de ces utilisateurs. Dans cette section, nous classons les utilisateurs en fonction du nombre de requêtes qu'ils effectuent.

Il apparaît que la loi de distribution du nombre de requêtes émises suit une loi exponentielle décroissante (figure 2).

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

donne la probabilité que le $u^{i\text{eme}}$ utilisateur (en nombre de requêtes envoyées) envoie une requête à une date donnée, 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. Localisation 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

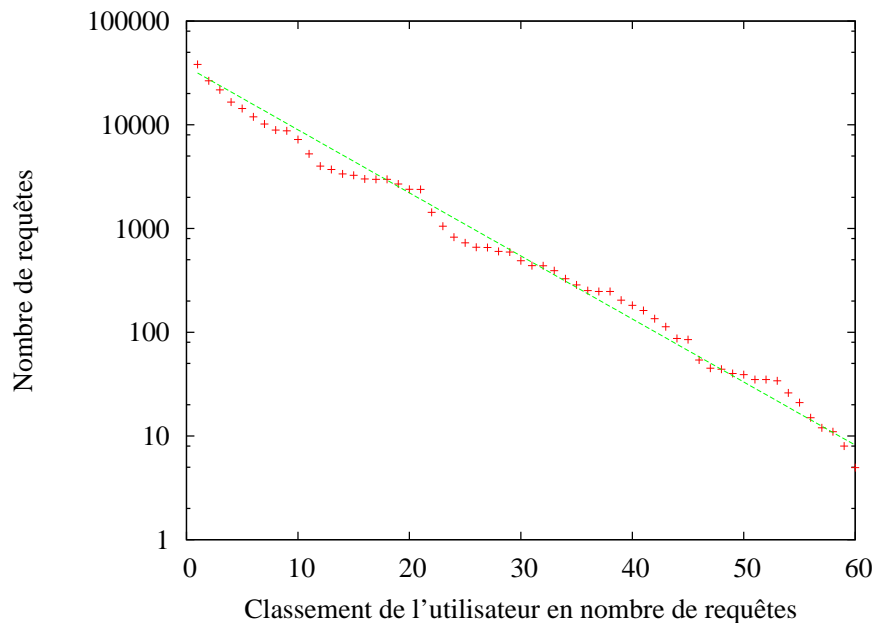


Figure 2. Répartition du nombre de requêtes en fonction de l'activité des utilisateurs. Les utilisateurs sont triés du plus actif au moins actif

serveur qui propose le fichier 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.

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 3 a été produite à partir des informations d'un proxy de Boeing. La droite obtenue est caractéristique d'une loi de Zipf. La loi de distribution de la localisation des fichiers est donnée dans le tableau 1. La valeur du coefficient C a été calculée en effectuant une régression linéaire sur les données. Mais pour ce calcul, toutes les données n'ont pas été utilisées. Les plateaux visibles sur la figure 3 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.

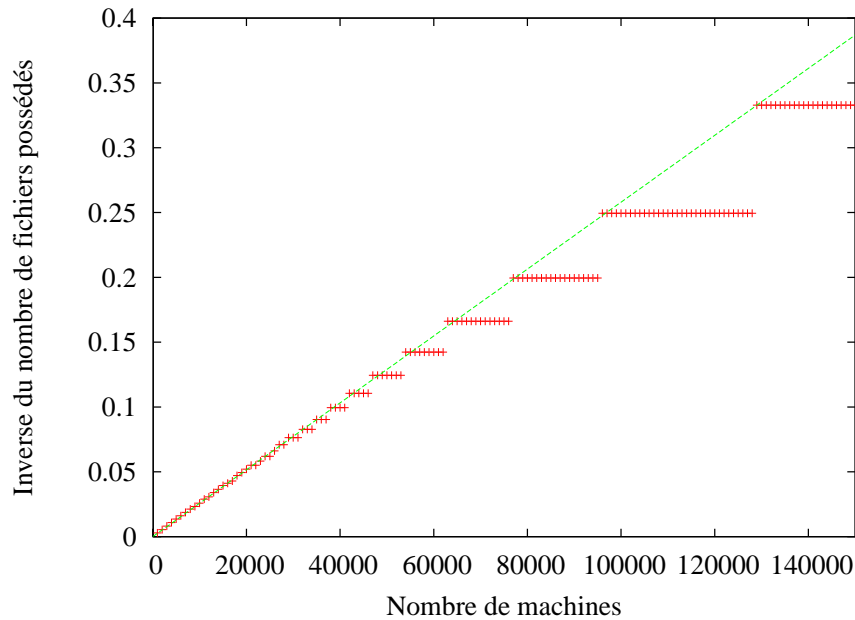


Figure 3. Inverse du nombre de fichiers stockés sur les machines. Les machines sont triées de la machine qui possède le plus de fichiers à la machine qui en possède le moins

	Taille	Localisation 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 1. Loi de distribution suivies par les facteurs liés aux fichiers. La localisation des fichiers représente la distribution du nombre de fichiers possédés par les serveurs, lorsqu'on trie les serveurs de celui qui en possède le plus à celui qui en possède le moins

2.2.3. Taille des fichiers

En ce qui concerne les fichiers multimédias, 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 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 multimédias 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.

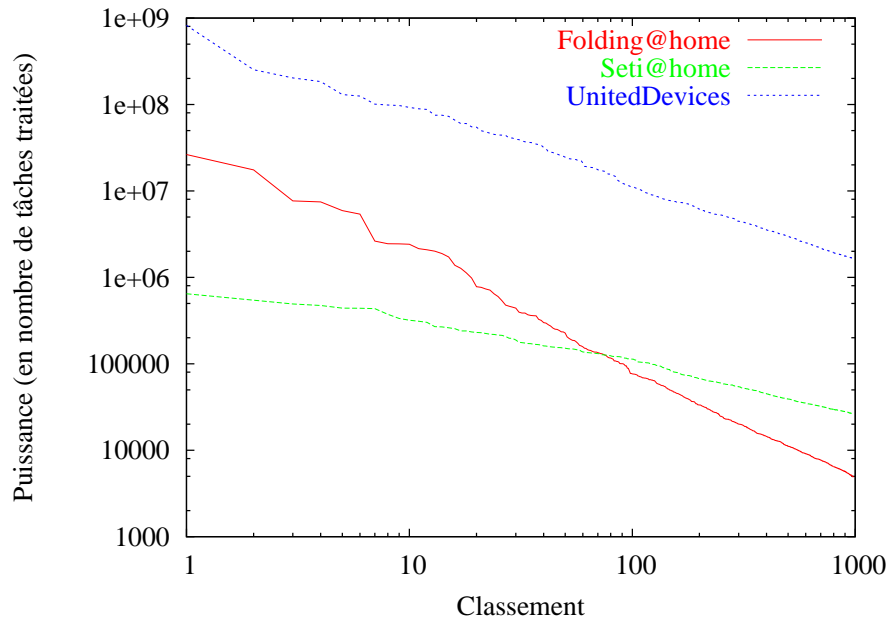


Figure 4. *Vue logarithmique des équipes les plus puissantes participant au projet Folding@Home et United Devices durant le printemps 2003, et au projet Seti@Home durant l'été 2002*

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 calcul. Cette mise en commun de ressources de calcul permet ensuite de traiter différentes tâches (programmes exécutés par le système). Chaque participant peut soumettre un ensemble de tâches au système qui seront réparties entre plusieurs machines pour y être effectuées. Par conséquent, la puissance des machines est une ressource critique dans le cadre du calcul pair à pair. 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. Ces participants 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 calcul.

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

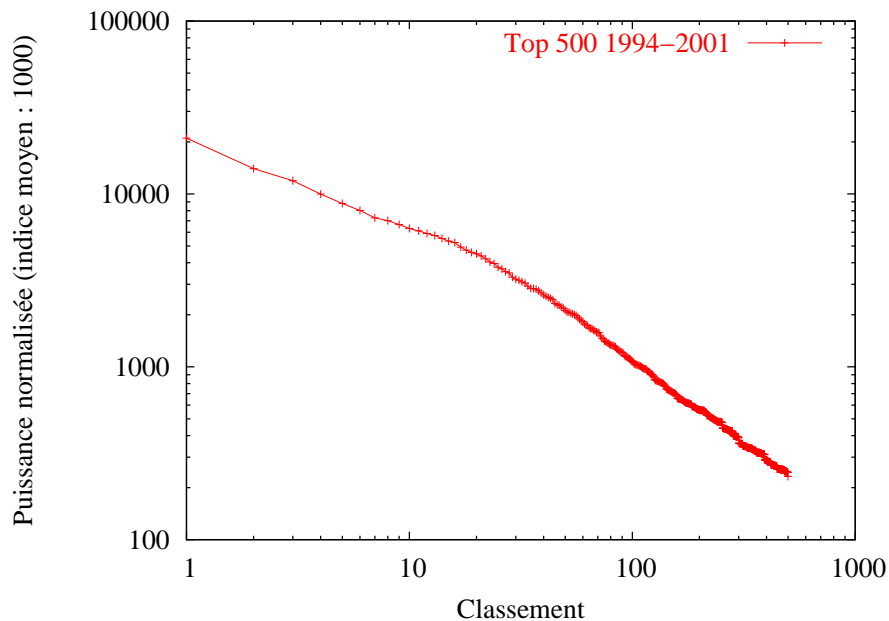


Figure 5. Vue logarithmique des 500 centres de calcul les plus puissants (d'après le TOP500) de l'année 1994 à l'année 2001

d'équipe en donnant la possibilité aux utilisateurs de participer à des calculs spécifiques.

La figure 4 montre que la puissance des groupes de machines suit la loi de Zipf [ZIP 49]. Les courbes expriment la puissance en comptant le nombre de tâches réalisées par chaque équipe. Les équipes ont été triées de celle qui a traité le plus de tâches à celle qui en a traité le moins. 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 5) de la capacité de calcul des plus puissantes machines disponibles. Même si ce résultat n'est pas directement exploitable dans le domaine du pair à pair, il permet de vérifier que les classements en fonction de la puissance des machines suivent systématiquement la loi de Zipf.

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).

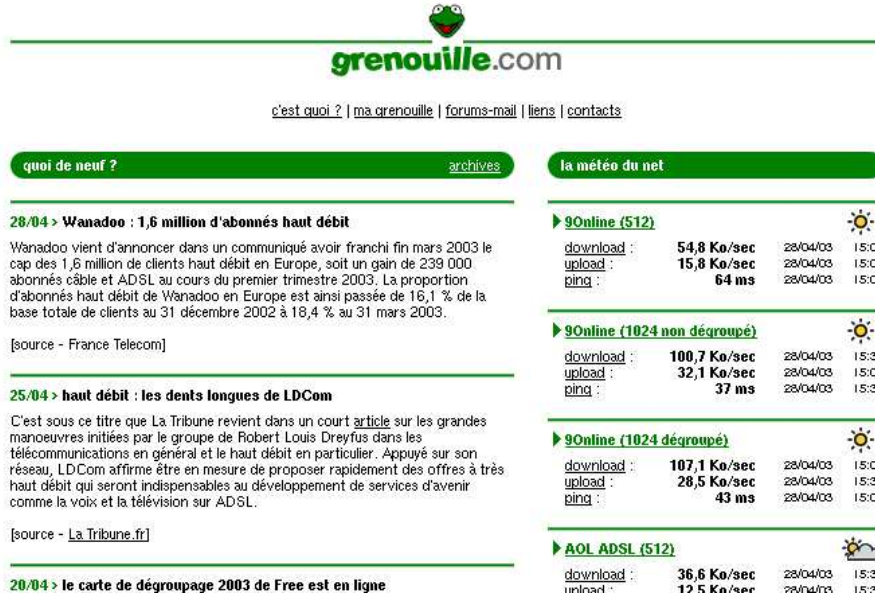


Figure 6. Capture d'écran du site de la grenouille du 28 avril 2003

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 *a priori* de l'utilisation de ces machines. De plus, l'extraction d'un comportement global est rendue difficile par la multitude de profils d'utilisation 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 ces profils d'utilisation. 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 du Grand-Large de l'Inria Futurs dans le cadre de l'ACI-Grid CGP2P. Ces données ainsi récoltées sont tirées d'un effort d'évaluation de la qualité des accès ADSL français appelé La Grenouille [GRE]. 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 6. 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

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

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 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 l'année 2000 au début de l'année 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. En revanche, 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 toute façon 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.

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

Tableau 2. *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 3. *Exemple de nombre de machines différentes connectées par jour sur un total de 6852 machines différentes s'étant connectées sur cette période*

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 prétraitement a été appliqué sur les données brutes afin d'éliminer les mesures se rapportant aux fournisseurs d'accès.

Par ailleurs, dans le cadre du pair à pair, 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 de machines différentes par jour, par heure. . .) et d'autre part d'un point de vue temporel (par exemple, le nombre de jours de présence pour chaque machine). Une synthèse des principaux résultats empiriques est présenté dans le tableau 2.

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 7). 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 9 qu'il existe aussi une périodicité de l'ordre de la semaine, bien que 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

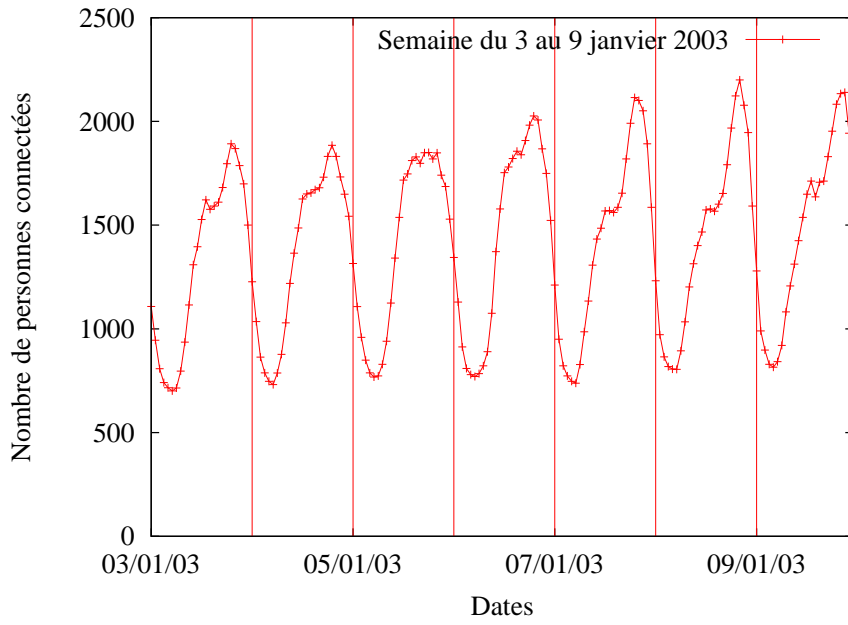


Figure 7. Evolution du nombre de machines connectées différentes sur une semaine

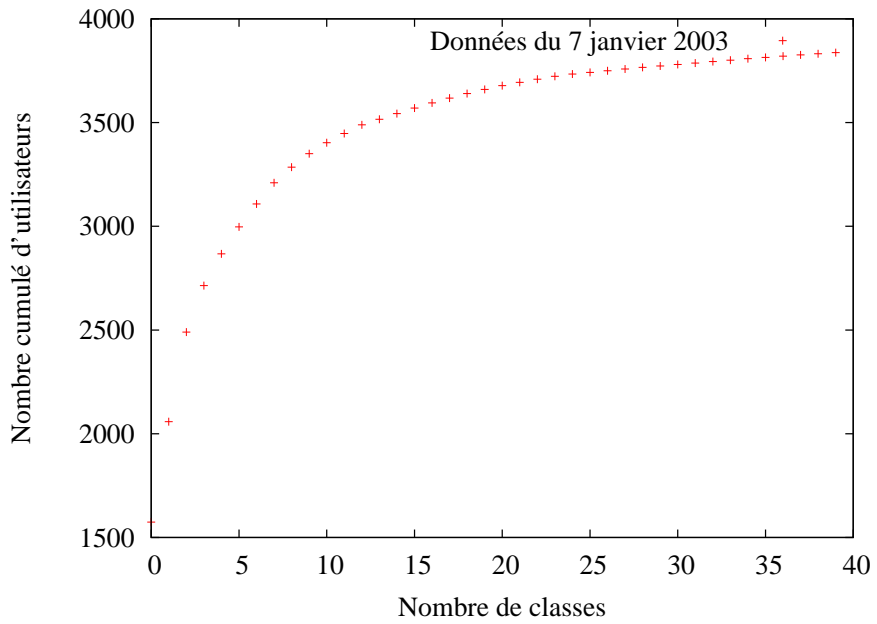


Figure 8. Cumul des classes en nombre de machines

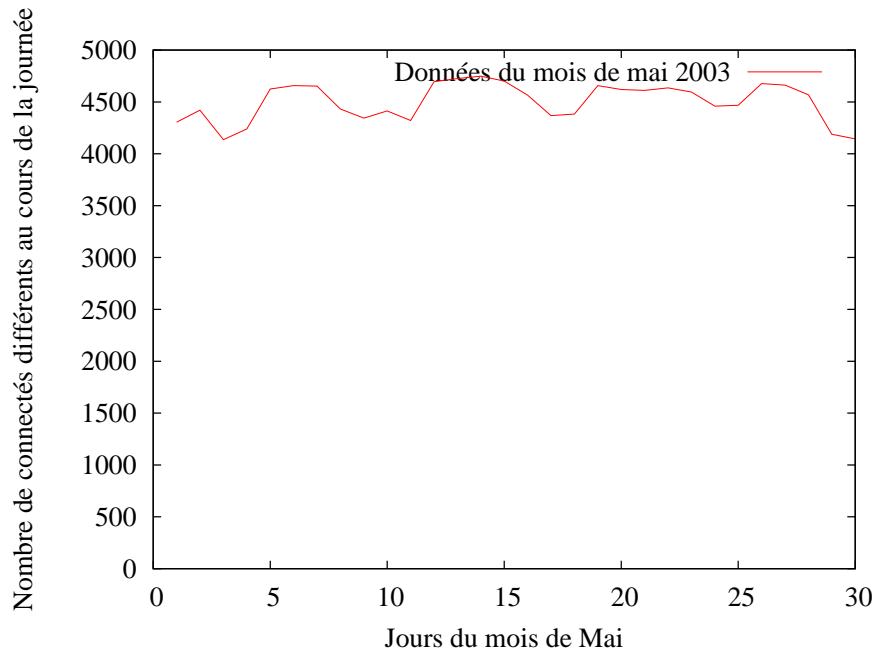


Figure 9. Evolution du nombre de machines connectées différentes sur une semaine

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 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.

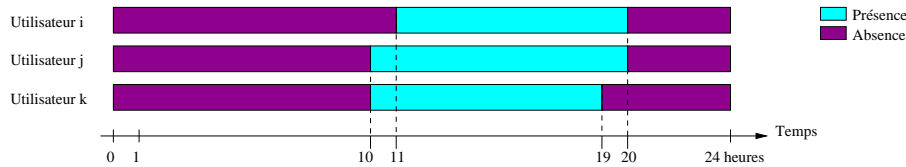


Figure 10. Les utilisateurs i, j et k ont un comportement proche sur une journée

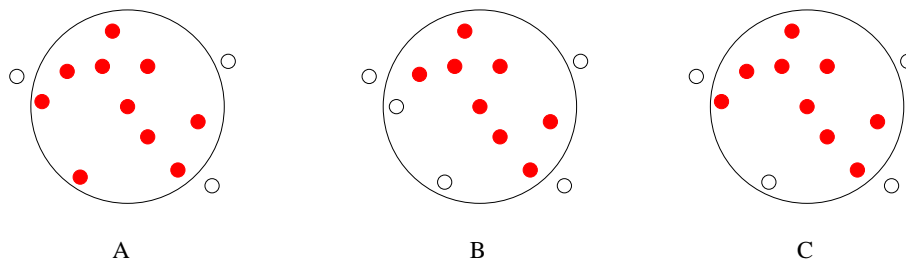


Figure 11. Différentes définitions d'un regroupement autour d'un point (les points blancs n'appartiennent pas au regroupement)

(A) Distance fixe : Tous les éléments du regroupement sont en dessous d'une certaine distance (intérieur du cercle).

(B) Profondeur fixe : Les éléments regroupés sont composés des voisins du point ainsi que des voisins des voisins, etc ..., jusqu'à une profondeur fixée.

(C) Profondeur à distance fixe : De même que pour la profondeur fixe, en ayant comme critère d'arrêt non pas une profondeur fixée mais une distance fixée.

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 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 machines i, j et k représentées sur la figure 10 sont toutes à la même distance (au sens de Hamming) les unes 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 11. 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,

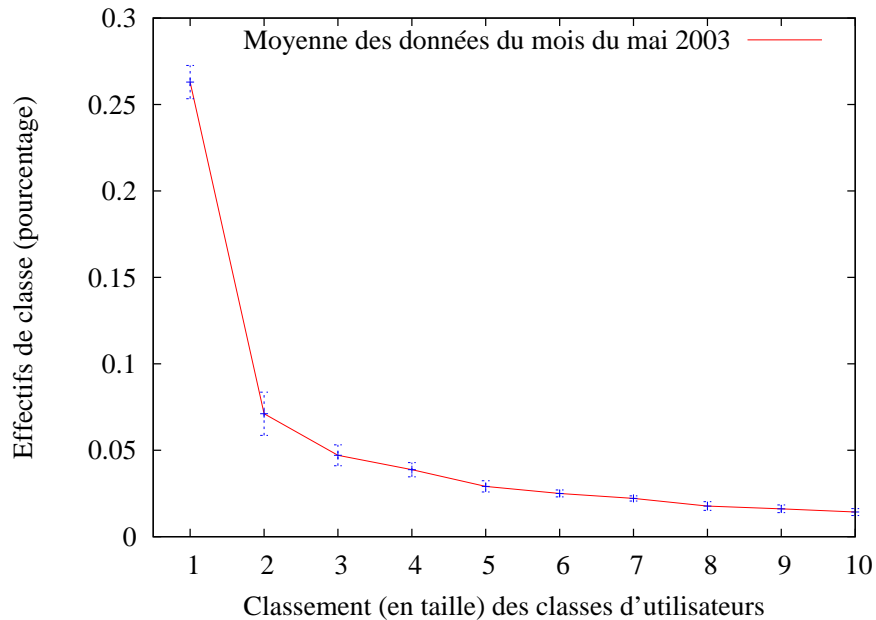


Figure 12. Tailles comparées des clusters sur 1 mois

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 8, la majorité des utilisateurs sont intégrés à un petit nombre de classes.

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 12 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 faibles comparés aux tailles des classes.

Les figures 8 et 12 illustrent la répartition des classes en deux catégories. D'un côté, 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 concernent aussi les classes obtenues. Ainsi, à quelques éléments 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 termes 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 7). 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. Ce comportement se retrouve directement dans l'étude [SEN 04] qui décrit l'évolution journalière du trafic dans le système pair à pair FastTrack.

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 multimédias). 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-ils 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. D'autre part, des mesures issues de projets tels que le futur Grid5000 permettraient d'étendre ces résultats aux systèmes basés sur les Grilles.

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.

Remerciement

Le travail de Corine Marchand a été partiellement financé par le contrat de recherche externalisé Mirra entre l'INRIA et France Telecom R&D.

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 disponibles 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.

7. 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.
- [BAR 98] BARFORD P., CROVELLA M., « Generating Representative Web Workloads for Network and Server Performance Evaluation », *Measurement and Modeling of Computer Systems*, 1998, p. 151-160.
- [BHA 03] BHAGWAN R., SAVAGE S., VOELKER G. M., « Understanding Availability », IPTPS03, 2003.
- [BOE] Traces 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*, 1999, p. 126-134.
- [CLA] Traces proxy de Clarknet, <http://ita.ee.lbl.gov/html/contrib/ClarkNet-HTTP.html>.
- [CLA 01] CLARKE I., SANDBERG O., WILEY B., HONG T. W., « Freenet : A Distributed Anonymous Information Storage and Retrieval System », *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2009, 2001, p. 46-62.

- [COH 03] COHEN B., Incentives Build Robustness in BitTorrent, rapport, 2003.
- [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 Univ. Computer Science Dep.
- [DAC 01] DA-COSTA G., Évaluation de protocoles Peer to Peer en utilisation à grande échelle : Étude de cas Freenet, 2001, Rapport de DEA.
- [DAS 03] DASWANI N., GARCIA-MOLINA H., YANG B., « Open Problems in Data-Sharing Peer-to-Peer Systems », *ICDT '03 : Proceedings of the 9th International Conference on Database Theory*, Springer-Verlag, 2003, p. 1-15.
- [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*, août 2001, p. 392-403.
- [GNU] Gnutella, <http://gnutella.wego.com/>.
- [GRE] La Grenouille, <http://www.grenouille.com>.
- [IRC] Traces 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+.
- [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., FIOU 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.
- [SEN 04] SEN S., WANG J., « Analyzing Peer-to-Peer Traffic Across Large Networks », *ACM/IEEE Transactions on Networking*, vol. 12, n° 2, 2004.
- [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>.
- [YAN 04] YANG X., DE VECIANA G., « Characterizing Selfishly Constructed Overlay Routing Networks », *Infocom*, 2004.
- [ZIP 49] ZIPF G., *Human Behavior and the Principle of Least Effort*, Addison-Wesley, 1949.

Georges Da Costa, diplômé de l'Ecole Normale Supérieure, est doctorant au laboratoire ID-IMAG. Il est auteur de plusieurs articles d'audience internationale et participe au projet d'impact national OAR. Ses centres d'intérêt vont de l'algorithmique répartie à grande échelle à l'implémentation de systèmes d'exploitation.

Corine Marchand, docteur du laboratoire ID-IMAG a participé à divers projets nationaux (MIRRA, SIDRAH) comportant France Télécom et le Laboratoire ID. Elle a entre autre écrit pour le journal international "Linear Algebra and its applications". Elle s'intéresse à l'algorithmique distribuée, aux environnements sans fils et à l'évaluation de performances.

Olivier Richard est enseignant-chercheur à l'université Joseph Fourier à Grenoble. L'architecture des systèmes pour le calcul haute performance consistue son sujet de recherche central. Cela englobe les nouvelles formes de plate-formes que sont les systèmes pair-à-pair ou les grilles.

Jean-Marc VINCENT est Maître de Conférence en Informatique à l'Université Joseph Fourier (Grenoble). Sa thématique de recherche porte sur l'évaluation de performances de systèmes et de réseaux par des méthodes stochastique. Son domaine d'application recouvre les systèmes distribués et le dimensionnement d'intergiciels.

Article reçu le 27 octobre 2003

Version révisée le 19 avril 2004

Rédacteur responsable : Jean-Michel Fourneau