

## **Modèles analytiques pour l'évaluation des performances d'un réseau pair-à-pair (cas du Bittorent)**

Arkoub D., Krouri Y., Aïssani D. et Amad M.

lamos\_bejaia@hotmail.com

**Résumé** Ce travail explore une problématique commune à tous les réseaux informatiques : l'évaluation des performances d'un réseau ; une étape cruciale pour l'étude de ses caractéristiques.

Notre étude est orientée vers les réseaux Pair-à-Pair qui, en quelques années, ont offert un tout autre paradigme de conception des réseaux. En effet, l'architecture client-serveur est abandonnée au profit d'un réseau de machines, qui cumulent chacune les deux fonctions de client et de serveur.

Nous avons modélisé une situation réelle des réseaux P2P (le Bittorent) en ayant opté pour les réseaux de files d'attente. Ce modèle analytique se base sur des facteurs de performance tels : le nombre moyen de fichiers dans le système, le temps moyen d'attente pour le transfert de données nous avons eu recours à la simulation pour valider nos résultats analytiques.

**Mots clés** : Systèmes informatiques, Réseaux Pair-à-Pair, Evaluation de Performances, Réseaux de Files d'attente, Modélisation, Simulation, Bittorent.

### **9.1 Introduction**

Le succès d'Internet n'est plus à prouver, cependant un problème pointe à l'horizon : la quantité de données à distribuer sur Internet est en perpétuelle croissance. La partie du problème la plus importante est sans doute la distribution de gros fichiers (souvent du contenu multi-média-vidéo, musique . . . ) à un grand nombre d'utilisateurs.

Eu fait, lorsqu'on y regarde de plus près, le problème ne vient pas de la quantité de données mais plutôt du mode de distribution. Eu effet, la méthode traditionnelle pour distribuer

du contenu est de le mettre sur un serveur web. Les utilisateurs voulant télécharger un fichier à partir d'un de ces serveurs doivent se partager la bande passante de celui-ci. Plus le fichier est populaire, plus la charge est importante sur le serveur.

On assiste, ces dernières années, dans le monde de l'informatique, au développement important d'un type de réseaux informatiques : les réseaux Pair-à-Pair. Son essor est tel qu'il est aujourd'hui l'un des principaux acteurs de l'Internet.

L'architecture classique client-serveur est abandonnée au profit d'une conception différente du partage des ressources. En effet dans un réseau Pair-à-Pair, chaque client est un serveur, il participe activement au réseau. Il peut ainsi collaborer à l'élaboration d'une tâche collective.

Dans le présent travail, nous nous focaliserons sur des facteurs de performance principaux des réseaux dans le but de les comprendre et ainsi de pouvoir envisager des solutions pour les améliorer.

Nous nous sommes intéressés au modèle Bittorrent(très populaire pour le partage des fichiers multimédia) en nous basant sur les réseaux de files d'attente pour en évaluer les performances.

## 2 Description du Bittorrent

Bittorrent[9] est un protocole de partage de fichiers. En fait, c'est un système peer to peer comme eDonkey. Les fichiers sont échangés par morceaux entre les utilisateurs.

Ils sont identifiés par une URL (*ex : <http://www.levien.com/mandrake9.1.torrent>*)

afin de s'adapter parfaitement à la navigation Internet. Pour réunir les informations et les utilisateurs de BitTorrent, il existe des serveurs centraux, appelés tracker. Ces trackers permettent de coordonner le téléchargement des pièces de chaque fichier aux utilisateurs du programme. Tous les utilisateurs participent au partage en recevant (*download*), mais aussi en envoyant (*upload*) des parties du fichier. Ce fonctionnement permet d'optimiser le transfert des données et de limiter la charge sur le fichier source.

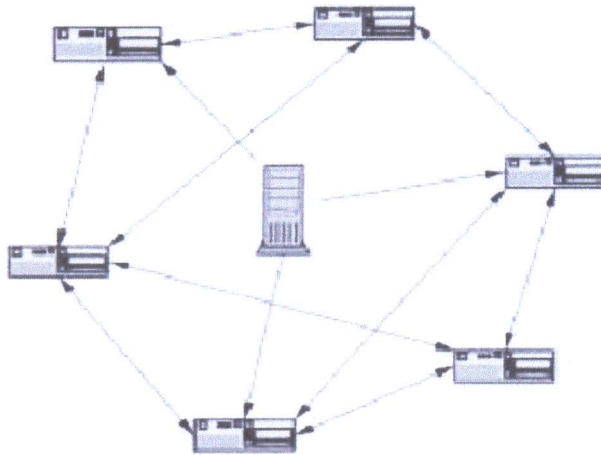


FIGURE 1 – Topologie de Bittorrent

Les caractéristiques du Bittorrent sont :

1. Son objectif étant uniquement la distribution de contenu (*le plus efficacement possible et en limitant la bande passante du fournisseur initial*) et non pas la localisation de ce dernier, BitTorrent ne contient pas de fonctionnalité pour trouver un fichier, comme dans les logiciels peer to peer classiques.
2. A la différence de beaucoup d'autres protocoles peer to peer, les clients ne font pas partie d'un réseau global (*comprenant tous les utilisateurs du protocole*), mais sont plutôt regroupés par fichier : chaque fichier distribué verra son propre groupe d'utilisateurs. Chacun de ces groupes sera organisé autour d'un composant central, le tracker, qui sert en quelque sorte d'annuaire dynamique de clients intéressés par la distribution d'un seul fichier.
3. Il traite les gros fichiers comme un certain nombre de morceaux et chaque morceau peut être téléchargé d'une source différente.
4. Il contient divers mécanismes pour assurer son efficacité, dont notamment un mécanisme qui récompense les clients qui envoient des données aux autres.

### 3 Description du modèle de réseau de files d'attente (réseau de Jackson)

L'étude des modèles de phénomènes d'attente s'avère souvent complexe, car le flot des arrivées dans une station est la superposition des flots de requêtes en provenance des autres noeuds du réseau. Ce flot n'est pas poissonnien et les caractéristiques du réseau sont difficiles à déterminer. Il existe cependant une classe de modèles pour lesquels on arrive à obtenir une solution simple : ce sont les réseaux exponentiels pour lesquels la distribution de probabilité des états s'obtient sous forme de produit. Cette propriété remarquable des réseaux exponentiels est une conséquence du théorème de Burke selon lequel les flots des départs sont poissonniens.

En 1957, Jackson a décrit une classe générale de réseaux qui admettent une modélisation markovienne. Ces réseaux possèdent une propriété remarquable permettant de simplifier leur étude en les étudiant station par station. Soit le réseau de Jackson constitué de  $N$  files comme indiqué sur la figure suivante.

Ce réseau ne possède que des serveurs exponentiels de taux  $\mu_i$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Les

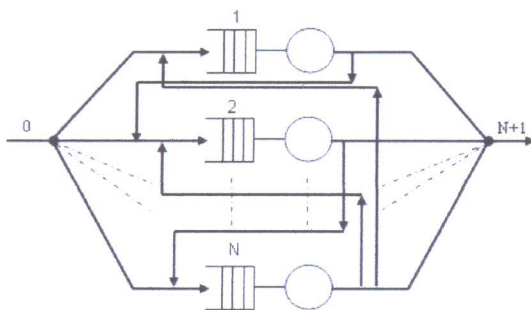


FIGURE 2 – Réseau de Jackson ouvert

clients sont acheminés dans le réseau suivant des probabilités de routage  $p_{ij}$  (*probabilité en sortant de la file  $i$  pour aller vers la file  $j$* ). Le flux total des clients arrivant dans le système forme un processus de Poisson de paramètre  $\lambda$  avec une seule classe de clients, une capacité de stockage illimitée à toutes les stations, une discipline de service FIFO pour toutes les files. Les réseaux de Jackson possèdent la propriété d'avoir une distribution stationnaire en forme produit pour les probabilités conjointes des longueurs des files d'attente.

**Les réseaux de Jackson ouverts** Un réseau de Jackson ouvert est un réseau formé par l'interconnexion de  $n$  files de type  $-/M/m$  (que l'on suppose numéroté de 1 à  $n$ ) où les clients arrivent selon un processus de Poisson et se déplacent en suivant des règles de routage markoviennes. Plus précisément les clients arrivent de l'extérieur du système selon des processus de Poisson indépendants. Le taux d'arrivée dans la file  $i$  étant constant et égal à  $\lambda_i$  ( $1 \leq i \leq n$ ), chaque station  $i$  du réseau est régie par une discipline FIFO possède un nombre fini  $m_i$  de serveur et fourni des traitements dont les durées sont indépendantes et identiquement distribuées selon une loi exponentielle de paramètre  $\mu_i$  après avoir complété son service dans une file  $i$ . Un client est envoyé dans une file  $j$  avec la probabilité  $p_{ij}$  et quitte le système avec la probabilité  $p_{i0}$ .

L'état d'un réseau de Jackson à l'instant  $t$  est donnée par le vecteur  $X(t) = (X_1(t), \dots, X_n(t))$  ou  $X_i(t)$  est le nombre de clients présents dans la file  $i$  à l'instant  $t$ .

- Le taux d'arrivée  $\lambda_i$  dans la file  $i$  est donné par :

$$\lambda_i = \lambda p_{0i} + \sum_{j=1}^n \lambda_j p_{ji}$$

- La condition de stabilité du système est  $\lambda_i < \mu_i$ ,  $i=1,2,\dots$

## 4 Application à Bittorent

A la différence de beaucoup d'autres protocoles peer to peer, dans Bittorent, les clients (*nœuds*) ne font pas partie d'un réseau global (*comprenant tous les utilisateurs du réseau*), mais sont plutôt regroupés par fichier : chaque fichier distribué verra son propre groupe d'utilisateurs. Chacun de ces groupes sera organisé autour d'un composant central, le tracker, qui sert en quelque sorte d'annuaire dynamique de clients intéressés par le téléchargement de ce fichier. Après avoir été organisés sous une topologie donnée, les nœuds peuvent commencer le téléchargement des paquets, sachant qu'un client peut être associé à plusieurs téléchargements à la fois.

Nous considérons, pour notre étude l'exemple ci-dessous, un réseau Bittorent constitué de sept nœuds collaborant au téléchargement d'un fichier (*sous forme d'un ensemble de paquets de même taille*) reçu par le nœud 1, qui le fait transférer aux autres nœuds intéressés. Nous allons considérer que les nœuds qui reçoivent les paquets du nœud 1 acceptent de collaborer en les transmettant aux autres. Donc, on dit qu'un paquet ne circule plus dans le réseau quand il est transféré à tous les nœuds. Il est alors intéressant de suivre le transfert des paquets entre les nœuds jusqu'à ce qu'ils atteignent le dernier nœud à savoir le nœud 7,

qui se trouve dans la dernière position. Le graphe formé par les nœuds montre l'existence de trois chemins possibles entre le nœud 1 et le nœud 7 illustrés dans la figure ci-dessous :

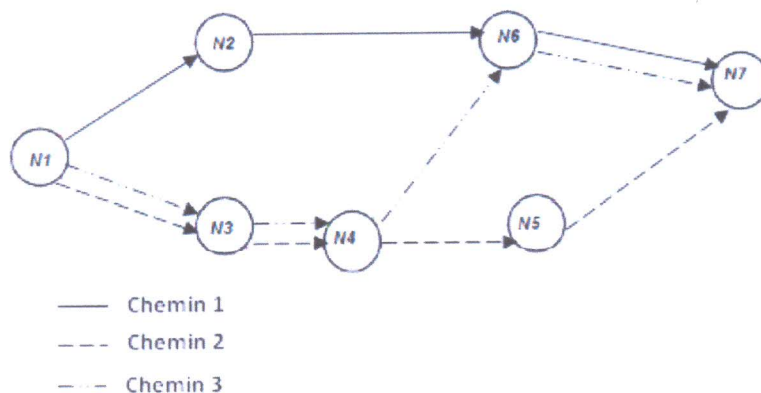


FIGURE 3 – Graphe formé par les noeuds

Le choix du chemin pour chaque paquet se fait d'une manière aléatoire. Il est donc nécessaire de prendre en considération les trois chemins possibles qui forment trois réseaux de files d'attente, où chaque nœud constitue un système d'attente.

La matrice des probabilités de transmission des paquets entre les noeuds s'écrit comme suit :

$$p_{ij} = \begin{pmatrix} - & 1 & 6/8 & 6/8 & 6/8 & 4/8 & 4/8 & 4/8 \\ 4/8 & - & 2/8 & 2/8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6/8 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 2/8 & 0 \\ 6/8 & 0 & 0 & - & 2/8 & 0 & 0 & 0 \\ 4/8 & 0 & 0 & 0 & - & 2/8 & 2/8 & 0 \\ 6/8 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 2/8 \\ 6/8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 2/8 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{pmatrix}$$

#### 4.1 Calcul des principaux facteurs de performance pour les chemins possibles entre le noeud 1 et le noeud 7

*Chemin 1* : Noeud 1 → Noeud 2 → Noeud 6 → Noeud 7

- $L_{c1}$  = le nombre moyen de paquets dans le réseau constitué par les noeuds de chemin 1

$$= L_1 + L_2 + L_6 + L_7 = 24$$

avec  $L_1, L_2, L_6, L_7$  est le nombre moyen de paquets dans les noeud 1,2,6,7

- $L_{qc1}$  = le nombre moyen de paquets en attente d'être servis dans les noeuds de chemin 1

$$= L_{q1} + L_{q2} + L_{q6} + L_{q7} = 12$$

avec  $L_{q1}, L_{q2}, L_{q6}, L_{q7}$  le nombre moyen de paquets en attente dans chacun des noeuds 1,2,6,7

- $W_{c1}$  = est le temps moyen passé ( séjour ) dans l'ensemble des noeuds de chemin 1

$$= W_1 + W_2 + W_6 + W_7 = 1.91 \mu s$$

avec  $W_1, W_2, W_6, W_7$  le temps moyen de séjour dans chacun des noeuds 1,2,6,7

- $W_{qc1}$  = le temps moyen passé en attente dans l'ensemble des noeuds du chemin 1

$$= W_{q1} + W_{q2} + W_{q6} + W_{q7} = 1.52 \mu s$$

avec  $W_{q1}, W_{q2}, W_{q6}, W_{q7}$  le temps moyen passé en attente dans chacun des noeuds 1,2,6,7

*Chemin 2* : Noeud 1 → Noeud 3 → Noeud 4 → Noeud 5 → Noeud 7

- $L_{c2}$  = le nombre moyen de paquets dans le réseau constitué par les noeuds du chemin 2

$$= L_1 + L_3 + L_4 + L_5 + L_7 = 21$$

avec  $L_1, L_3, L_4, L_5, L_7$  le nombre moyen de paquets dans chacun des noeuds 1,3,4,5,7

- $L_{qc2}$  = le nombre moyen de paquets en attente d'être servis dans les noeuds de chemin 2

$$= L_{q1} + L_{q3} + L_{q4} + L_{q5} + L_{q7} = 16$$

avec  $L_{q1}, L_{q3}, L_{q4}, L_{q5}, L_{q7}$  le nombre moyen de paquets en attente dans le noeud 1,3,4,5,7

- $W_{c2}$  = est le temps moyen passé ( séjour ) dans l'ensemble des noeuds de chemin 2

$$= W_1 + W_3 + W_4 + W_5 + W_7 = 2.53 \mu s$$

- avec  $W_1, W_3, W_4, W_5, W_7$  le temps moyen de séjour dans chacun des noeuds 1,3,4,5,7  
 -  $W_{qc2}$  = est le temps moyen passé en attente dans l'ensemble des noeuds de chemin  
 2

$$=W_{q1} + W_{q3} + W_{q4} + W_{q5} + W_{q7}=2.08\mu s$$

avec  $W_{q1}, W_{q3}, W_{q4}, W_{q5}, W_{q7}$  le temps moyen passé en attente dans chacun des  
 noeuds 1,3,4,5,7

*Chemin 3* : Noeud 1 → Noeud 3 → Noeud 4 → Noeud 6 → Noeud 7

- $L_{c2}$ =le nombre moyen de paquets dans le réseau constitué par les noeuds de chemin  
 2

$$=L_1 + L_3 + L_4 + L_6 + L_7 = 20$$

avec  $L_1, L_3, L_4, L_6, L_7$  le nombre moyen de paquet dans chacun des noeuds 1,3,4,6,7

- $L_{qc3}$ =le nombre moyen de paquets en attente d'être servis dans les noeuds de chemin  
 3

$$= L_{q1} + L_{q3} + L_{q4} + L_{q6} + L_{q7}=15$$

avec  $L_{q1}, L_{q3}, L_{q4}, L_{q6}, L_{q7}$  le nombre moyen de paquets en attente dans les noeuds  
 1,3,4,6,7

- $W_{c3}$ =est le temps moyen passé ( séjour) dans l'ensemble des noeuds de chemin 2  
 $=W_1 + W_3 + W_4 + W_6 + W_7=2.41\mu s$

avec  $W_1, W_3, W_4, W_6, W_7$  le temps moyen de séjour dans chacun des noeuds 1,3,4,6,7

- $W_{qc3}$  = est le temps moyen passé en attente dans l'ensemble des noeuds de chemin 2  
 $=W_{q1} + W_{q3} + W_{q4} + W_{q6} + W_{q7}=1.92\mu s$

avec  $W_{q1}, W_{q3}, W_{q4}, W_{q6}, W_{q7}$  le temps moyen passé en attente dans chacun des  
 noeuds 1,3,4,6,7

Dans cet exemple d'application, nous avons tenu compte du fait que les noeuds acceptent de collaborer en envoyant leurs paquets reçus à d'autres clients intéressés. Ce qui est un cas idéal dans la phase de téléchargement.

On prend à titre d'exemple le noeud 6 qui reçoit les paquets des noeuds 2 et 4. Cela augmente le nombre de paquets reçus par celui-ci ( qui équivaut à 4 paquets/us).



Dans le cas où, un seul nœud accepte de partager avec le nœud 6, le nombre de paquets reçus se réduira à 2 paquets/us.

A partir des résultats analytiques sur le temps de séjour moyen du paquet dans le système qui se traduit par le temps moyen qu'il faut pour qu'un nœud reçoive un paquet. On remarque que plus le nœud est loin de la source plus le temps nécessaire pour son téléchargement augmente. Cela est dû au passage de ce paquet par des nœuds intermédiaires.

A titre d'exemple, les nœuds 4 et 2. 2 est directement connecté à la source, 4 lui est à une distance de longueur deux de la source. Les temps moyens de téléchargement d'un paquet pour 2 et 4 sont respectivement : 1.025 paquet/ $\mu s$  et 1.75 paquets/ $\mu s$ .

La vitesse de téléchargement d'un paquet par un noeud dépend de sa capacité et de celle du noeud auquel il est connecté. Si celle-ci est grande, le temps de téléchargement se réduit. A titre d'illustration les noeuds 6 et 5 téléchargent les paquets à partir du noeud 4. Les capacités de ces noeuds sont dans l'ordre  $\mu_6 = 11, \mu_5 = 8, \mu_4 = 8$ . On a  $W_6 = 0.83\mu s, W_5 = 1\mu s$ , on voit bien que le temps de téléchargement par le noeud 6 est plus petit que par le noeud 5 même s'ils téléchargent à partir de la même source. Cela est dû au fait que  $\mu_6 > \mu_5$ .

## 5 Simulation du modèle analytique

Dans cette section nous avons eu recours à la simulation comme l'illustre les graphes suivants :

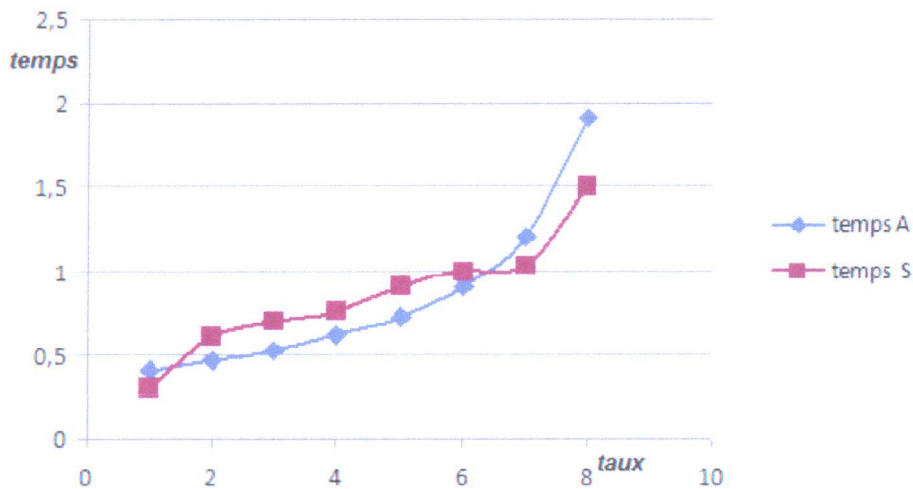


FIGURE 4 – La variation des temps moyens de séjour en fonction de  $\lambda(\text{chemin1})$

Ce graphe représente la variation du temps de séjour d'un paquet dans le chemin 1 en fonction du taux d'arrivée variant entre 1 et 8 dans le réseau.

On voit à partir de ce graphe que le temps de séjour d'un paquet s'accroît avec l'augmentation du flot entrant ce qui montre que plus il y a de paquets dans le réseau plus le temps de téléchargement s'accroît.

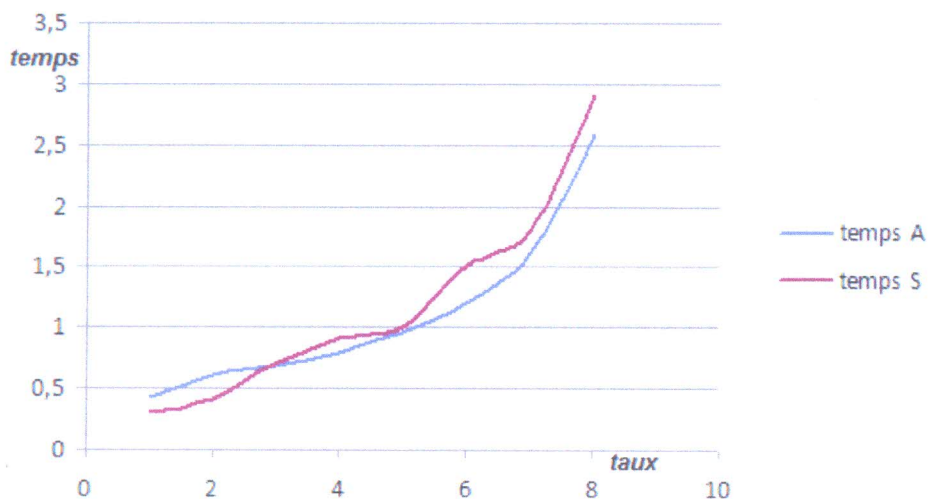


FIGURE 5 – La variation des temps moyens de séjour en fonction de  $\lambda(\text{chemin2})$

Ce graphe représente la variation du temps de séjour d'un paquet dans le chemin 2 en fonction du taux d'arrivée variant entre 1 et 8 dans le réseau.

On voit a partir du ce graphe que le temps de séjour d'un paquet s'accroît avec l'augmentation du flot entrant ce qui montre que plus il ya de paquet dans le réseau plus le temps de téléchargement s'accroît.

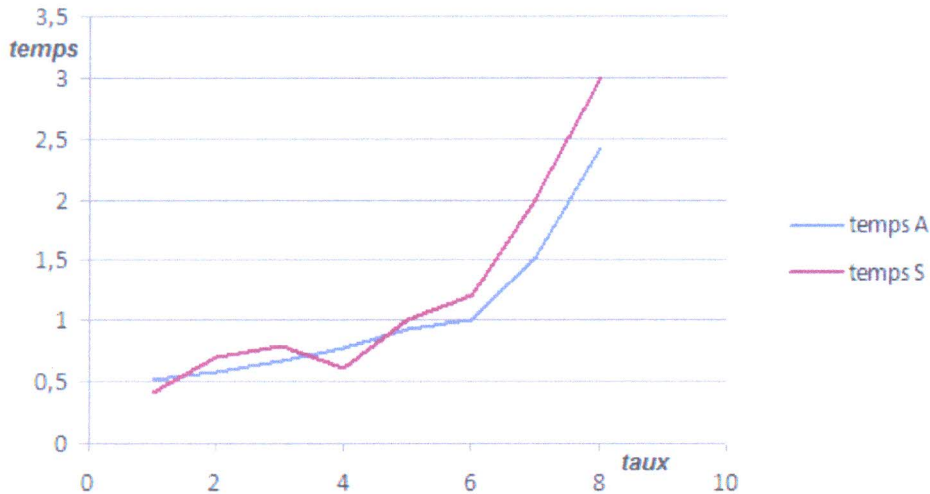


FIGURE 6 – La variation des temps moyens de séjour en fonction de  $\lambda(\text{chemin3})$

Ce graphe représente la variation du temps de séjour d'un paquet dans le chemin 3 en fonction du taux d'arrivée variant entre 1 et 8 dans le réseau.

On voit à partir de ce graphe que le temps de séjour d'un paquet s'accroît avec l'augmentation du flot entrant ce qui montre que plus il y a de paquets dans le réseau plus le temps de téléchargement s'accroît.

**Conclusion** Dans cette partie, nous nous sommes tournés vers une autre approche pour l'évaluation des performances du réseau étudié plus haut : la simulation.

Les résultats obtenus étant proches de ceux obtenus dans le chapitre précédent, cela nous permet d'affirmer que la méthode analytique proposée modélise correctement le réseau Bittorrent pris en exemple.

## Références Bibliographiques

- [1] A.Ruegg, Processus Sthocastiques avec application aux phénomènes d'attente, Presses polytechniques romandes, 1989.
- [2] J-F Hêche, T M. Liebling, D de Werra, Recherche opérationnelle pour l'ingénieur, Presses polytechniques romandes, 2003
- [3] F.Valois, Réseaux de files d'attentes à forme produit, 2012.
- [4] M.Amad, Performance Et Optimisation des architectures P2P pour les applications à grande échelle, Univ de Béjaia (thèse de Doctorat), 2012.
- [5] F. Lesueur, Autorité de certification distribuée pour des réseaux pair-à-pair structurés, Univ de Rennes, 2010
- [6] S.Ktar, Interconexion et routage dans les réseaux P2P, Univ du Havre (thèse de Doctorat), 2010.
- [7] C.Duvallet, Architectures et protocoles des réseaux p2p, Univ du Havre, 2008.
- [8] G.MENTEN, bittorent chaîne manquante des protocole p2p, <http://bitconjurer.org.bittorent>.
- [9] Bittorent <http://bitconjurer.org.bittorent>.
- [10] R.Lo Cigo, Simulation and analysis of "interleave of protocol" fordistributing video streaming in p2p, Univ de Torino (thèse de Doctorat), 2007.
- [11] Kazaa. <http://www.kazaa.com/>.
- [12] Napster. <http://www.napster.com/>.
- [13] K.R.Krishna, B.Sikdar, A Queuing Model for Evaluating the Transfer Latency of Peer-to-Peer Systems, IEEE TRANSACTIONS ON PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS, 2010.
- [14] J.Siebert, Impact du comportement des utilisateurs dans les réseau p2p, modélisation et simulation multi-agents, Univ Paris-Sud (thèse de Doctorat), 2011.
- [15] L.G.ERICE, Réseau p2p hiérarchique : design et application, Ecole nationale supérieure des télécommunications,2004.
- [16] L.HAN, Z.LEI, Modeling structured peer to peer systems, The Journal Of China Universities Of Posts and Telecommunications, 2006.
- [17] A.Monsellato, A stochastic model for distributed real time streamingEvolution of the network structure, Univ de Pavia Italie, 2010.
- [18] J.Kurose, Z.Ge, R.F.Daniel, J.Sharad, T.Don, Modeling Peer-Peer File Sharing Systems, Univ du Massachusetts, 2003.
- [19] M. Amad, Découverte et Localisation De Services en Mode P2P, Univ de Béjaïa (thèse

de Magistère), 2005.

[20] K. Xu, Modeling and Analysis Of P2P Live Video Streaming, Univ de l'illinois, 2009.