Caractérisation du trafic P2P IPTV : une analyse d'échelle

Thomas Silverston, Olivier Fourmaux, Kavé Salamatian

Caractérisation du trafic P2P IPTV [1] : une analyse d'échelle

Thomas Silverston* — **Olivier Fourmaux*** — **Kavé Salamatian****

* *UPMC Univ Paris 06, UMR 7606, LIP6, F-75005, Paris, France*
{thomas.silverston, olivier.fourmaux}@lip6.fr

** *Lancaster University, InfoLab21, LA1 4WA, United Kingdom*
{kave.salamatian}@lancs.ac.uk

RÉSUMÉ. *Les applications de diffusion de flots multimédia en direct via un réseau pair à pair (P2P IPTV) sont en plein essor et promises à un bel avenir. Leur utilisation massive va fortement augmenter le trafic réseau de l'Internet. C'est pourquoi il est important de caractériser leur trafic afin d'évaluer leurs effets sur le réseau. Dans cet article, nous étudions le trafic d'applications P2P IPTV. Nous avons pour cela mesuré leur trafic et nous caractérisons sa structure à différentes échelles temporelles en utilisant une méthode de transformées en ondelettes. Notre analyse montre que les propriétés d'échelle du trafic P2P IPTV sont différentes suivant que les applications utilisent principalement TCP ou UDP. Les caractéristiques du trafic descendant sont différentes de celles du trafic montant. La signalisation utilisée a également un impact significatif sur les propriétés du trafic descendant, mais n'affecte pas le trafic montant. Ces observations nous permettront de concevoir des modèles de trafic P2P IPTV réalistes qui sont des éléments essentiels pour modéliser ou simuler correctement ces systèmes.*

ABSTRACT. *P2P IPTV applications arise on the Internet and will be massively used in the future. It is expected P2P IPTV will contribute to increase the overall Internet traffic. In this context, it is important to measure their traffic to evaluate the impact on the network and characterize this traffic. In this paper, we measured the network traffic of P2P IPTV applications. From the collected data, we characterize the P2P IPTV traffic structure at different time scales by using wavelet based transform method. Our analysis shows that the scaling properties of the TCP traffic is different from the UDP traffic. The download traffic has different characteristics than the upload traffic. The signaling traffic has also a significant impact on the download traffic but it has negligible impact on the upload traffic. These findings will help to design synthetic P2P IPTV traffic generation models, which are key input parameters when modeling or simulating these systems.*

MOTS-CLÉS : *mesures de trafic, analyse de trafic, pair à pair, vidéo en direct*

KEYWORDS: *traffic measurement, traffic analysis, peer to peer, live video*

1. Télévision diffusée sur Internet via un réseau pair à pair

1. Introduction

Les applications pair à pair de diffusion continue en direct (P2P live streaming) comme les applications de diffusion de télévision sur Internet via un réseau P2P (P2P IPTV) se répandent sur Internet et seront largement utilisées dans le futur. Actuellement le trafic P2P, du fait des applications P2P de partage de fichiers telles que BitTorrent [COH 03] ou eDonkey [EDO], compte déjà pour une part importante du trafic de l'Internet. L'apparition de nouveaux services de diffusion de vidéo comme Youtube [YOU] contribue également à l'augmentation du trafic de l'Internet. L'intégration de la technologie P2P avec de nouveaux services vidéo va décupler encore le trafic d'Internet. Ainsi, il est important d'étudier l'impact de ce trafic sur le réseau et d'en caractériser les propriétés.

Il y a deux raisons principales pour étudier le trafic P2P IPTV : tout d'abord, cela permet de comprendre les propriétés de ce trafic et leur impact sur le réseau. Ensuite, grâce à ces observations, il sera alors possible de concevoir des modèles synthétiques de trafic d'applications P2P IPTV. C'est d'ailleurs une motivation essentielle puisque la plupart des protocoles proposés [VEN 06] [MAG 07] sont validés en utilisant des outils de simulation ou bien des modèles mathématiques qui n'utilisent pas des modèles de trafic réalistes comme paramètres d'entrée de leurs études. Le trafic P2P IPTV présente des contraintes de qualité de service (QdS) importantes (bande passante, délais, gigue) comparé à d'autres trafics P2P (transfert de fichiers P2P) et l'utilisation de modèles de trafic inappropriés biaiserait les résultats des simulations et modélisations.

Il existe déjà des études du trafic P2P IPTV [HEI 07][ALI 06][VU 07][SIL 07a], mais elles se focalisent sur l'ingénierie inverse d'applications commerciales. Dans ce cas précis, les mesures de trafic et leurs analyses sont les seules façons de déduire les mécanismes de ces applications. Notre étude est différente puisque nous cherchons à caractériser les propriétés globales du trafic P2P IPTV. Dans cet article, nous présentons une analyse multi échelle de la structure du trafic P2P IPTV. Pour cela, nous avons collecté le trafic des applications P2P IPTV les plus populaires. Le comportement multi échelle du trafic est analysé en utilisant un outil basé sur les transformées en ondelettes. Ces travaux sont, à notre connaissance, les premiers à caractériser le trafic P2P IPTV à différentes échelles temporelles et à présenter ses propriétés.

Notre analyse de trafic révèle des différences significatives dans le comportement d'échelle du trafic suivant que l'application utilise principalement TCP ou UDP. Le trafic TCP présente des comportements périodiques alors que le trafic UDP présente des caractéristiques de dépendance à long terme, ce qui affectera la qualité de la réception vidéo. Le trafic de signalisation a quant à lui un impact sur le trafic descendant (*download*) mais n'a pas d'impact sur le trafic montant (*upload*). Le trafic descendant a des propriétés d'échelles différentes du trafic montant et chacune des directions du trafic doit être prise en compte pour concevoir judicieusement des modèles de trafic P2P IPTV.

Dans cet article, nous présentons d'abord l'état de l'art dans la section 2. Puis dans la section 3, nous décrivons notre plateforme expérimentale de mesure ainsi que les

applications utilisées. Nous définissons notre méthodologie pour analyser le trafic à différentes échelles temporelles dans la section 4 et nous présentons les résultats de cette analyse multi échelle du trafic P2P IPTV dans la section 5. Enfin, nous concluons l'article à la section 6 et exposons nos futures perspectives de recherche.

2. Etat de l'art

Actuellement, les applications P2P IPTV sont de plus en plus étudiées via l'analyse de leur trafic. Ainsi, [ZHA 05a] présente les premiers résultats de mesures du protocole Donet [ZHA 05b], qui fut déployé sur l'Internet (Coolstreaming). Cette étude fournit des statistiques telles que le comportement des utilisateurs dans de tels systèmes P2P ainsi que des indications sur la qualité de la vidéo reçue par les utilisateurs. PPLive, La plus populaire des applications P2P IPTV, a été largement analysée [HEI 07]. Les auteurs ont effectué des mesures actives du réseau P2P en instrumentalisant leur propre client PPLive. Ils fournissent ainsi de nombreux détails d'implémentation comme la taille des mémoires tampons utilisées ou encore le nombre de pairs dans le réseau P2P. D'autres mesures actives de PPLive ont été réalisées [VU 07] et obtiennent des modèles mathématiques concernant la distribution des utilisateurs par chaînes retransmises ou bien la durée des sessions vidéos.

Dans nos précédents travaux [SIL 07a], nous avons mesuré de façon passive le trafic réseau généré par les applications les plus populaires sur l'Internet durant un événement mondial. Nos mesures nous ont permis de déduire certains mécanismes utilisés par ces applications. Nous avons ainsi comparé les applications entre elles afin de mettre en évidence leurs similarités et leurs différences. Les mécanismes de SOPCast et PPLive ont également été analysés par des mesures passives de leur trafic [ALI 06].

En résumé, tous ces travaux étudient les systèmes P2P IPTV en analysant leur trafic, mais il n'existe encore aucune étude cherchant à caractériser la structure de corrélation du trafic généré à différentes échelles temporelles afin de comprendre les propriétés de ce trafic et leurs effets sur le réseau.

3. Expériences de mesure

Afin de mesurer le trafic P2P IPTV pendant un évènement présentant de l'intérêt à être regardé en direct, nous avons collecté ce trafic durant la coupe du monde de football 2006. Nous avons mesuré la plupart des matchs de football avec différentes applications en même temps et récolté une importante quantité de données (> 250 Go). Nous avons choisi d'utiliser plusieurs applications pour être capable de caractériser les propriétés du trafic P2P IPTV sans être dépendant d'une seule implémentation. Les applications mesurées seront présentées dans la partie 3.2. Devant le volume important de données récoltées, nous nous intéresserons dans cet article à des expériences de mesures effectuées le 30 juin 2006 alors que deux matchs étaient diffusés. L'analyse de traces de trafic d'autres matchs nous a montré que celles considérées dans cet article sont représentatives de tout notre jeu de données.

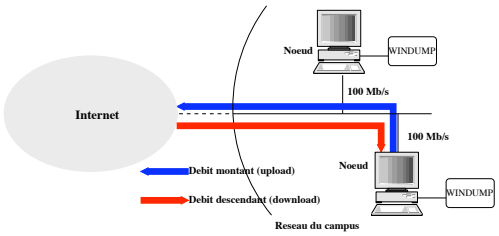


Figure 1. *Plateforme expérimentale de mesure. Chaque noeud est un PC standard directement connecté à l'Internet à travers le réseau du campus universitaire.*

3.1. *Plateforme expérimentale de mesure*

Notre plateforme expérimentale de mesures est décrite sur la figure 1. Pour collecter le trafic, nous avons utilisé deux ordinateurs équipés d'un processeur à 1.8GHz et disposant de cartes graphiques aux capacités standard. Le système d'exploitation utilisé sur les ordinateurs était Windows XP puisque les applications mesurées ont seulement été implémentées pour celui-ci. Les applications utilisent des codecs vidéo de type MPEG4. Les ordinateurs (noeuds) étaient situés dans le réseau de notre campus universitaire et étaient directement connectés à l'Internet avec un accès Ethernet à 100Mb/s.
Pendant chacun des matchs, deux applications P2P IPTV différentes étaient lancées sur les noeuds (une application par noeud), ainsi que Windump qui était utilisé pour collecter le trafic. Le trafic récolté sur chaque noeud provenait uniquement de l'application mesurée et il n'y avait aucune autre source de trafic. A la fin de l'expérience, nous avions bien récolté quatre traces de trafic de quatre applications différentes : deux traces d'applications différentes pour chacun des deux matchs. Pour toutes les expériences de mesures, la bande passante consommée était relativement faible et n'a jamais dépassé les 10Mb/s. Les cartes Ethernet (100Mb/s) ont donc toujours été en mesure de collecter le trafic sans subir de pertes.
Au cours des ces expériences de mesures, tous les noeuds regardaient CCTV5, une chaîne de télévision chinoise disponible pour toutes les applications. Pendant les mesures d'un match, il était important de regarder la même chaîne de télévision afin que le comportement des utilisateurs et le trafic qu'ils génèrent soit globalement similaire dans chaque trace. Par exemple, durant les publicités, quelle que soit l'application, un utilisateur pourrait arrêter de regarder la chaîne ou même éteindre l'application avant de la relancer au début de la seconde mi-temps.

3.2. *Présentation des applications mesurées*

Pour notre campagne de mesures, nous avons choisi de mesurer le trafic de quatre applications P2P IPTV très populaires : PPLive, PPStream, SOPCast et TVAnts. Bien que ces applications soient disponibles gratuitement, elles sont propriétaires et leur code source n'est pas libre. Les détails d'implémentations de ces applications ainsi que les protocoles qu'elles utilisent sont donc inconnus. Cependant, toutes ces applications affirment utiliser des "protocoles de téléchargements simultanés" (*swarming protocols*) à la BitTorrent dans lesquels les flots vidéo sont divisés en pièces de don-

nées et chaque pair télécharge les pièces de données chez plusieurs pairs simultanément. Les pairs retrouvent les données grâce aux informations qu'ils s'échangent sur les données dont chacun dispose ou sur leur connaissance de pairs voisins. Grâce à ce trafic de signalisation, chaque pair découvre itérativement de nouveaux pairs, de nouvelles pièces de données disponibles et peut télécharger les flots vidéos de plusieurs pairs en même temps. Dans ces protocoles P2P, il y a donc deux types de trafic : le trafic de données vidéo où les pairs s'échangent entre eux les données et le trafic de signalisation où les pairs échangent les informations nécessaires pour obtenir les données.

Comme nous l'avons montré dans nos précédents travaux [SIL 07a], chacune de ces applications transporte les trafics vidéo et de signalisation différemment. PPStream utilise TCP pour tous les trafics (100%) alors que PPLive ajoute du trafic UDP pour certains trafics de signalisation (99.9% pour TCP). SOPCast utilise presque entièrement UDP (95%) tandis que TVAnts utilise les deux protocoles de transport TCP (75%) et UDP (25%). Par la suite, nous appellerons les applications qui utilisent principalement TCP les "applications TCP" (PPLive, PPStream et TVAnts) et "application UDP" celles qui utilisent majoritairement UDP (SOPCast).

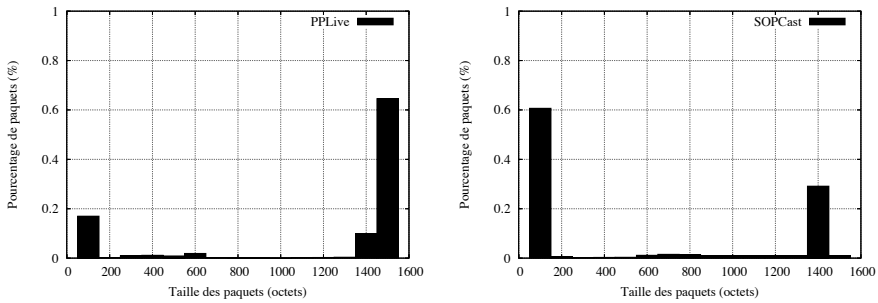
4. Méthodologie d'analyse

4.1. *Analyse de trafic multi échelle*

Nous analysons le trafic P2P IPTV à différentes échelles temporelles afin de caractériser ce trafic et d'en déduire les propriétés. Pour cela, nous calculons le spectre d'énergie du trafic à différentes échelles temporelles en utilisant une méthode basée sur les transformées en ondelettes [ABR 00]. La plus petite échelle temporelle analysée est l'intervalle de 20 millisecondes car nous avons observé dans nos traces que les temps d'inter arrivé des paquets sont très rarement inférieurs à cette valeur. Ainsi la granularité de nos observations est de de 20ms. Pour chacune des traces étudiées, nous avons compté le nombre d'arrivée de paquets contenant des données par intervalle de 20ms. Nous ne tenons pas compte des paquets ne transportant aucune donnée qui sont des paquets de gestion du protocole TCP (paquets de synchronisation ou acquittements).

Logscale Diagram Estimate [1] (LDestimate) utilise des transformées en ondelettes discrétisées et permet d'analyser le comportement d'échelle du trafic. LDestimate produit un diagramme logarithmique du spectre d'énergie du trafic. Pour tous les diagrammes logarithmiques (Fig. 3 et Fig. 4), l'axe des abscisses représente les octaves du trafic. Ce sont les échelles temporelles des arrivées des paquets. La partie la plus à droite des abscisses est ainsi relative aux grandes échelles temporelles et la partie la plus à gauche de l'abscisse correspond aux petites échelles temporelles. L'axe des ordonnés représente le spectre d'énergie du trafic. Un diagramme logarithmique doit être interprété de la façon suivante : une octave j est l'échelle temporelle du

1. http ://www.cubinlab.ee.unimelb.edu.au/∼darryl



(a) PPLive (b) SOPCast

Figure 2. *Distributions des paquets des applications étudiées.*

spectre d'énergie du trafic. La granularité du trafic analysé étant de 20 millisecondes, l'octave $j = 8$ signifie que l'échelle temporelle à laquelle on observe le trafic est $t = 2^8 * 20ms = 5.12s$.

LDestimate est un outil qui permet d'observer graphiquement les propriétés du trafic mesuré. Pour ces diagrammes : une bosse dans le spectre d'énergie indique un possible comportement périodique du trafic. Un spectre d'énergie constant signifie que le trafic pourrait être modélisé par des processus sans mémoire comme des processus de Poisson. Une croissance linéaire du spectre d'énergie témoignerait de phénomènes de dépendance à long terme du trafic (DLT).

En caractérisant le trafic des applications TCP, nous avons observé que leur spectre d'énergie et donc leur comportement multi échelle était similaire. En raison des limitations d'espace imposées par le format de cet article, nous présentons les résultats d'une seule des applications TCP (PPLive) et une application UDP (SOPCast). Les résultats pour les autres applications TCP (PPStream et TVAnts) sont similaires à ceux de PPLive et peuvent être consultés dans notre rapport technique [SIL 07b].

4.2. *Trafics de signalisation et vidéo*

Comme nous l'avons rappelé, les applications P2P étudiées génèrent deux types de trafic : du trafic de données vidéo et du trafic de signalisation. Les distributions des tailles des paquets des deux traces de trafic étudiées sont présentées sur la figure 2. Pour PPLive, 75% de ses paquets ont une taille supérieure à 1300 octets. La taille des autres paquets de PPLive est plus petite et inférieure à 100 octets. SOPCast compte seulement 30% de paquets dont la taille est supérieure à 1300 octets et la majeure partie de ses paquets (60%) a une faible taille ($\leq$ 100 octets). Ainsi, nous pouvons distinguer pour chaque trace deux ensembles de paquets : les paquets dont la taille est relativement faible ($\leq$ 200 octets) et les paquets dont la taille est importante (au moins supérieure à 1000 octets).

Le trafic vidéo, transportant des données volumineuses, devrait certainement être composé des paquets de tailles importantes ($\geq$ 1000 octets). De plus, le trafic vidéo sera sensible aux délais de traversée du réseau car les paquets vidéo devront respecter des instants de lecture strictes pour que les utilisateurs reçoivent une vidéo fluide

Tableau 1. *Statistiques de trafic pour les applications étudiées : trafic total et trafic vidéo obtenus en utilisant l'heuristique de filtrage.*

		Trafic Total		Trafic Vidéo	
Applications	Durée (secondes)	Vol. Total (Go)	#Pqt. Total ($x10^3$)	Vol. Video (Go)	#Pqt. Video ($x10^3$)
PPLive (TCP)	13 321	5.59	5 585	5.44 (97.3%)	4 060 (72.7%)
SOPCast (UDP)	12 198	4.77	10 425	4.12 (86.4%)	3 374 (32.4%)

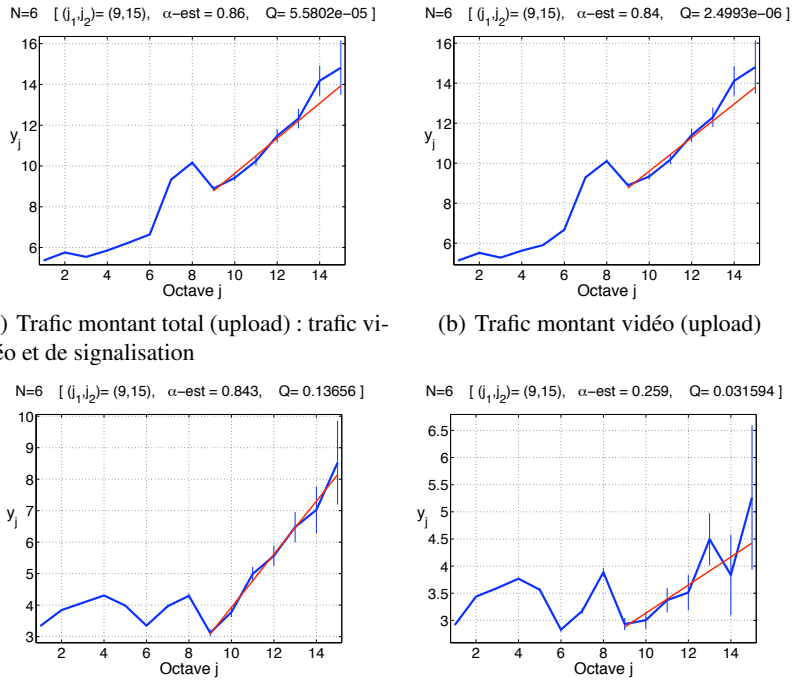
et de qualité. À l'inverse, les paquets du trafic de signalisation devraient être ceux de faible taille. Aucune contrainte de délais n'est à envisager pour les paquets de signalisation puisqu'ils sont simplement utilisés pour échanger des informations sur les pairs connus ou les données disponibles dans le réseau, mais pas pour transporter des commandes interactives comme pour des systèmes de vidéo à la demande comme Joost [JOO].

De par leur nature, les trafics vidéo et de signalisation n'ont pas les mêmes caractéristiques comme la taille de leurs paquets ou des contraintes temporelles. Il convient donc de séparer ces deux trafics dans notre étude afin de les analyser et évaluer leurs différents impacts sur le réseau.

4.3. *Heuristique de filtrage du trafic de signalisation*

En se basant sur les précédentes observations des distributions des tailles des paquets, nous avons choisi d'utiliser une simple heuristique [HEI 07] pour séparer le trafic vidéo du trafic total (vidéo et signalisation). Cette heuristique fonctionne de la façon suivante : Pour chaque flot, défini par les adresses et ports sources et destinations ainsi que le protocole de transport des paquets IP, on comptabilise le nombre de paquets dont la taille est supérieure ou égale à 1000 octets. Si un flot contient au moins 10 paquets dont la taille est supérieure ou égale à 1000 octets, alors ce flot est considéré comme un flot vidéo et l'on retire de ce flot tous les paquets de taille strictement inférieure à 1000 octets. Tous les flots qui ne sont pas considérés comme des flots vidéos sont retirés de la trace. A la fin, tous les flots restants constituent ce que nous définissons comme étant le "trafic vidéo".

Le tableau 1 présente les statistiques de trafic des traces étudiées comme leur quantité de données ainsi que leur nombre de paquets. Il présente également la quantité de données vidéo et le nombre de paquets vidéo obtenus après avoir filtré le trafic de signalisation des traces en utilisant l'heuristique de filtrage. Les rapports des données et paquets du trafic vidéo comparé au trafic total sont indiqués afin d'apprécier la justesse de l'heuristique. Par exemple, la trafic total de PPLive est composé de $5\,585.10^3$ paquets comptant pour 5.59 Go de données et son trafic vidéo comprend $4\,060.10^3$ paquets pour 5.44 Go. Le volume de trafic vidéo représente 97.3% du volume total et le nombre de paquets vidéo compte pour 72.7% du nombre de paquets du trafic total. L'heuristique de filtrage est bien parvenu à retirer les petits paquets et les sessions de signalisation sans pour autant affecter le volume de données vidéo et son nombre de



(a) Trafic montant total (upload) : trafic vidéo et de signalisation

(b) Trafic montant vidéo (upload)

(c) Trafic descendant total (download) : trafic vidéo et de signalisation

(d) Trafic descendant vidéo (download)

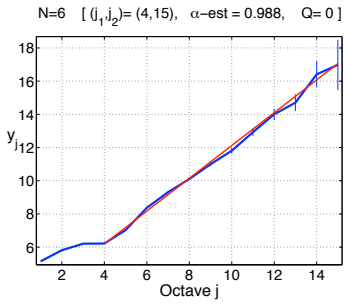
Figure 3. *Spectres d'énergie du trafic de PPLive. La granularité temporelle est de 20ms. (Ex : Octave $j = 8$ correspond à l'échelle temporelle $t = 2^8 * 20ms = 5.12s$).*

paquets. De la même façon, l'utilisation de l'heuristique pour SOPCast donne 86.4% de volume de trafic vidéo et 32.4% de paquets vidéos. La proportion de paquets vidéo paraît faible (32.4% du total) mais peut être expliqué en observant la figure 2(b). Pour SOPCast, plus de 60% des paquets sont des paquets de faible taille donc des paquets de signalisation à filtrer. De plus, nos précédents travaux [SIL 07a] ont montré que SOPCast avait généré une quantité importante de signalisation pendant ce match, réduisant de fait la proportion de paquets vidéo par rapport au nombre total de paquets.

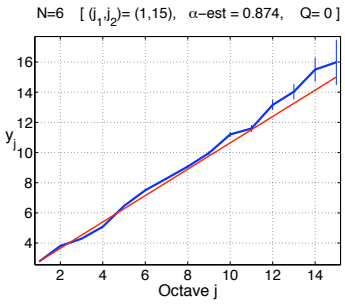
Dans cette section, nous avons montré comment séparer le trafic de signalisation du trafic total afin d'obtenir le trafic vidéo en utilisant une heuristique simple et efficace. Les résultats de l'analyse à différentes échelles temporelles de chacun de ces trafics sont présentés dans la section suivante.

5. Résultats

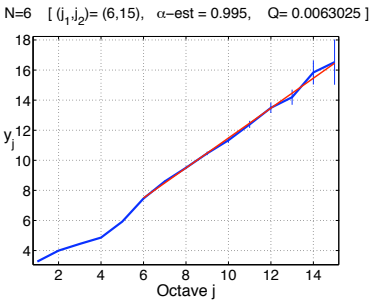
Pour chaque application, nous analysons le trafic en séparant les différentes directions du trafic : montant (*upload*) et descendant (*download*). Dans chacune des directions, nous séparons également le trafic vidéo du trafic total en utilisant l'heuristique présentée dans la section 4.3. Ainsi, chaque application est représentée par quatre digrammes logarithmiques : un pour le trafic montant total, un pour le trafic



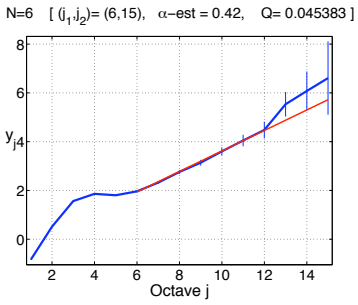
(a) Trafic montant total (upload) : trafic vidéo et de signalisation



(b) Trafic montant vidéo (upload)



(c) Trafic descendant total (download) : trafic vidéo et de signalisation



(d) Trafic descendant video (download)

Figure 4. *Spectres d'énergie du trafic de SOPCast. La granularité temporelle est de 20ms. (Ex : Octave $j = 8$ cooresponde à l'échelle temporelle $t = 2^8 * 20ms = 5.12s$).*

montant vidéo, un pour le trafic descendant total et un pour le trafic descendant vidéo. La figure 3 présente les digrammes logarithmiques du spectre d'énergie du trafic de PPLive et la figure 4 ceux de SOPCast.

5.1. *Différences entre trafics TCP et UDP*

Pour PPLive, les deux spectres d'énergie des trafics montants sont similaires pour toutes les échelles temporelles (fig. 3(a) et fig. 3(b)). Les deux spectres d'énergie des trafics descendants se ressemblent jusqu'à l'octave $j = 9$ et diffèrent au delà (fig. 3(c) et fig. 3(d)). Les spectres d'énergie du trafic montant des applications TCP ((fig. 3(a) et fig. 3(b)) ne ressemblent pas à leurs spectres d'énergie du trafic descendant (fig. 3(c) et fig. 3(d)). Pour SOPCast, les quatre spectres d'énergie sont tous pratiquement identiques quelle que soit la direction du trafic ou sa nature (fig. 4). La légère différence pour le spectre d'énergie du trafic vidéo descendant (fig. 4(d)) sera expliquée dans la section 5.2.

Les spectres d'énergie de PPLive sont différents des spectres d'énergie de SOPCast. Cela signifie que les trafics TCP et UDP d'applications P2P IPTV n'ont pas les mêmes propriétés d'échelles et le même impact sur le réseau.

En étudiant les spectres d'énergie du trafic de PPLive (fig. 3), on peut observer une bosse dans tous ses diagrammes à l'octave $j = 8$ (5.12s). Cette bosse est cependant plus nettement définie dans le trafic montant (fig. 3(a) et fig. 3(b)) que dans le trafic descendant (fig. 3(c) et fig. 3(d)). Cette bosse dans les spectres d'énergie indique un possible comportement périodique du trafic à cette échelle temporelle quelle que soit sa direction ou nature. Les mécanismes de TCP pour transporter les données ou les retransmettre pourraient être à l'origine de ce comportement périodique. Or, ce comportement périodique est observé à l'échelle temporelle $j = 8$, soit 5.12s ; c'est une très longue période pour expliquer ce phénomène par la mise en oeuvre de mécanismes de TCP. De plus, nous ne tenons compte d'aucun segment TCP qui ne transportent pas de données (acquittements ou ouvertures de connexion). Les mécanismes de TCP ne sont probablement pas à l'origine de ce phénomène. Cette bosse pourrait provenir de la vidéo telle qu'elle est diffusée dans le réseau, mais SOPCast diffuse aussi de la vidéo et cette bosse n'a pas été observée dans ses spectres d'énergie. Ce phénomène périodique, propre aux applications TCP que nous caractérisons, ne semble pourtant pas provenir ni des mécanismes TCP ni de la vidéo diffusée. Actuellement, nous sommes toujours en train d'analyser ce phénomène pour en découvrir l'origine.

Concernant SOPcast (fig. 4), dans tous ses diagrammes on observe une croissance linéaire du spectre d'énergie quelle que soit la direction du trafic ou sa nature. Cette croissance linéaire indique une dépendance à long terme du trafic (DLT). Lorsque l'on détecte de la dépendance à long terme dans le trafic, cela indique que les conditions du réseau varient largement. Il devient alors difficile de respecter des paramètres de qualité de service (QdS) comme la garantie des délais de transmission ou de bande passante, paramètres nécessaires à la diffusion d'une vidéo de bonne qualité.

Toutes ces observations illustrent combien les protocoles de transport utilisés pour les applications P2P IPTV modifient les propriétés d'échelles du trafic généré et leur impact sur le réseau. Le trafic TCP présente un comportement périodique et le trafic UDP est dépendant à long terme. Ces résultats mettent en évidence le choix non trivial du protocole de transport pour ce type d'application puisqu'il est généralement admis que le trafic non élastique comme la vidéo devrait être transporté avec UDP. Pourtant, l'utilisation d'UDP entraîne la dépendance à long terme du trafic ce qui va dégrader la qualité de la vidéo reçue.

5.2. *Impact du trafic de signalisation*

Pour toutes les applications, quel que soit le protocole de transport qu'elles utilisent, leur spectre d'énergie de trafic montant vidéo ressemble à leur spectre d'énergie de trafic montant total. (fig. 3(b) et fig. 3(a) pour PPLive, et fig. 4(b) et fig. 4(a) pour SOPCast). L'utilisation de l'heuristique pour filtrer le trafic de signalisation n'a pas d'impact sur les spectres d'énergie des trafics montants et leurs propriétés. Pour les trafics descendants, les spectres d'énergie du trafic descendant vidéo sont différents de leur spectre d'énergie du trafic descendant total (fig. 3(d) et fig. 3(c) pour PPLive, et fig. 4(d) et fig. 4(c) pour SOPCast). Le filtrage du trafic de signalisation a modifié les spectres d'énergie du trafic descendant. Le trafic de signalisation a donc un impact

sur les propriétés d'échelles du trafic descendant mais n'a pas d'impact sur le trafic montant.

Cette observation est importante puisque le trafic de signalisation est nécessaire pour coordonner les transferts de données dans ces systèmes P2P. Pour des raisons de passage à l'échelle de l'Internet de ces systèmes, cette quantité de trafic de signalisation doit rester la plus faible possible afin de ne pas consommer trop de ressources réseau.

Dans chaque trace, le trafic de signalisation montant provient seulement du noeud contrôlé vers d'autres pairs sur l'Internet. Puisque nos noeuds ont de grandes capacités en bande passante car ils sont situés dans le réseau de notre campus, ils dupliquent des paquets vidéos à beaucoup d'autres pairs sur l'Internet. Comparé à l'important volume de données vidéo envoyé vers de nombreux pairs sur l'Internet, le trafic de signalisation montant envoyé par notre noeud ne représente qu'une faible partie du trafic montant total. À l'inverse, le trafic de signalisation descendant provient des nombreux pairs de l'Internet souhaitant bénéficier des importantes ressources offertes par les noeuds que nous contrôlons. L'autre partie du trafic descendant se limite au téléchargement de la vidéo. Le trafic de signalisation descendant provenant de nombreux pairs sur l'Internet compte ainsi pour une part importante du trafic total descendant. Cela explique pourquoi le trafic de signalisation a un impact sur le trafic descendant mais pas sur le trafic montant.

Plus généralement, les spectres d'énergie du trafic descendant des applications P2P IPTV étudiées (fig. 3(c), fig. 3(d) pour PPLive et fig. 4(c), fig. 4(d) pour SOPCast) sont complètement différents de leurs spectres d'énergie du trafic montant (fig. 3(a), fig. 3(b) pour PPLive et fig. 4(a), fig. 4(b) pour SOPCast). Ces observations sont d'autant plus pertinentes que nos mesures sont effectuées avec un accès symétrique à Internet. Les deux directions de trafic n'ont pas les mêmes propriétés d'échelles ni le même impact sur le réseau.

Les différentes propriétés de chacune des directions du trafic des applications P2P IPTV et l'impact significatif du trafic de signalisation sur le trafic descendant doivent être soigneusement pris en compte lors de la conception de modèles de trafic.

6. Conclusion

Dans cet article, nous avons étudié le trafic d'applications P2P IPTV à différentes échelles temporelles en utilisant une méthode de transformées en ondelettes du trafic. Cela nous a permis d'extraire des caractéristiques de ce type de trafic et d'en observer certaines propriétés et effets sur le réseau.

Notre analyse montre différentes propriétés des trafics TCP et UDP. Le trafic TCP présente un comportement périodique et l'utilisation d'UDP engendre des phénomènes de dépendance à long terme du trafic. Le choix d'UDP comme protocole de transport pour le trafic non élastique dans les réseaux P2P n'est alors plus si évident

puisque le phénomène de dépendance à long terme du trafic va dégrader la qualité de la vidéo reçue.
Pour toutes les applications, les propriétés d'échelles du trafic descendant sont différentes de celles du trafic montant. Le trafic de signalisation a également un impact significatif sur le trafic descendant mais pas sur le trafic montant. Cela met en évidence des problèmes de passage à l'échelle de ces systèmes P2P pour télécharger la vidéo. Les différences entre chacune des directions du trafic doivent être convenablement prises en compte lors de la conception de modèles de trafic.

En se servant de nos observations, nous concevons actuellement des modèles de trafic d'applications P2P IPTV. Des modèles de trafic réalistes sont en effet nécessaires pour obtenir des résultats fiables lors de simulations ou de modélisations de nouveaux systèmes P2P IPTV.

7. Bibliographie

[ABR 00] ABRY P., TAQQU M. S., FLANDRIN P., VEITCH D., « *Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation,* K. Park and W. Willinger, editors », chapitre Wavelets for the analysis, estimation, and synthesis of scaling data, Wiley, 2000.

[ALI 06] ALI S., MATHUR A., ZHANG H., « Measurement of Commercial Peer-To-Peer Live Video Streaming », *Proc. of Workshop in Recent Advances in Peer-to-Peer Streaming*, 2006.

[COH 03] COHEN B., « Incentives Build Robustness in BitTorrent », 2003.

[EDO] `http://www.edonkey2000.com`

[HEI 07] HEI X., LIANG C., LIANG J., LIU Y., ROSS K. W., « A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System », *IEEE Transactions on Multimedia*, 2007.

[JOO] `http://www.joost.com`

[MAG 07] MAGHAREI N., REJAIE R., « PRIME : Peer-to-Peer Receiver-DrIven MEsh-based Streaming », *Proc. of IEEE Infocom*, 2007.

[SIL 07a] SILVERSTON T., FOURMAUX O., « Measuring P2P IPTV Systems », *Proc. of ACM NOSSDAV*, 2007.

[SIL 07b] SILVERSTON T., FOURMAUX O., SALAMATIAN K., « Technical Report V2 Characterization of P2P IPTV Traffic : Scaling Analysis », 2007.
`http://arxiv.org/pdf/0704.3228`

[VEN 06] VENKATRAMAN V., YOSHIDA K., FRANCIS P., « Chunkyspread : Heterogeneous Unstructured End System Multicast », *Proc. of IEEE ICNP*, 2006.

[VU 07] VU L., GUPTA I., LIANG J., NAHRSTEDT K., « Measurement and modeling of a Large-scale Overlay for Multimedia Streaming », *Proc. of QSHINE*, 2007.

[YOU] `http://www.youtube.com`

[ZHA 05a] ZHANG X., LIU J., LI B., « On Large-Scale Peer-to-Peer Live Video Distribution : CoolStreaming and Its Preliminary Experimental Results », *Proc. MMSP*, 2005.

[ZHA 05b] ZHANG X., LIU J., LI B., YUM T. P., « Coolstreaming/Donet : A Data-Driven Overlay Network for Peer-to-Peer Live Media Streaming », *Proc. of IEEE Infocom*, 2005.