Mesures d'applications P2P-TV de part et d'autre du monde

Thomas Silverston[1] — Olivier Fourmaux[1] — Kavé Salamatian[2] — Kenjiro Cho[3]

[1] UPMC Univ Paris 06, UMR 7606, LIP6/CNRS, F-75005, Paris, France
{thomas.silverston, olivier.fourmaux}@lip6.fr
[2] Lancaster University, InfoLab21, LA1 4WA, United Kingdom
kave.salamatian@lancs.ac.uk
[3] IIJ/WIDE
kjc@iijlab.net

RÉSUMÉ. *Dans cet article, nous présentons nos expériences de mesures d'applications P2P-TV effectuées en France et au Japon. En combinant de multiples points de mesures situés de part et d'autre du monde, nous obtenons une vision plus globale des réseaux P2P mesurés et pouvons en observer les principales caractéristiques. Plus particulièrement, nous nous intéressons aux échanges de trafic entre les pairs, à la distance où nos pairs téléchargent les données, à la localisation géographique des utilisateurs P2P-TV, et à l'impact du contenu diffusé sur cette population.*

ABSTRACT. *In this paper, we present our P2P-TV measurement experiment performed in France and in Japan. By adding multiple measurement points on both sides of the world, we are able to get a global view of the measured P2P networks and we can infer their main properties. More precisely, we focus on the traffic exchange between peers, the distance for downloading the data, the geographic localization of users and the impact of the content on the P2P-TV users.*

MOTS-CLÉS : *P2P-TV, expériences de mesure, analyse de trafic*

KEY WORDS: *P2P-TV, measurement experiments, traffic analysis*

1. Introduction

L'Internet est actuellement en train de devenir le principal support de diffusion de contenu vers les utilisateurs. Ainsi, après le succès des applications pairs-à-pairs d'échange de fichiers tels que BitTorrent [COH 03] ou eDonkey [EDO], ou encore le succès des plate-formes de diffusion vidéos telles que Youtube [YOU], une nouvelle classe d'application P2P de diffusion vidéo en direct est en train d'apparaître (P2P-TV). Certaines de ces applications P2P-TV sont d'ores et déjà disponibles sur l'Internet et sont très populaires comme PPLive, PPSTream ou TVUPlayer. Elles comptent des millions d'utilisateurs dans le monde et permettent à n'importe lequel de ses utilisateurs d'accéder à des centaines de chaînes de télévision, leur permettant de découvrir de nouveaux contenus auxquels ils n'auraient pas eu accès via les moyens traditionnels de diffusion (télévision hertzienne, satellite).

Toutefois, si l'utilisation d'un réseau P2P permet de fournir du contenu à un grand nombre de pairs à l'échelle de l'Internet, et ce, sans déployer d'infrastructure particulière comme un réseau de distribution de contenu (CDN) [AKA], le trafic P2P est devenu une part très importante du trafic total de l'Internet [KAR 04] tout comme le trafic vidéo provenant des nouvelles plateformes de diffusion vidéo [CHA 07]. Puisque les applications P2P-TV intègrent la technologie P2P à un service de diffusion vidéo, il est attendu que ces applications se répandent très rapidement et contribuent à leur tour à l'augmentation du trafic de l'Internet.

Aussi, bien que l'utilisation de réseau P2P soit bénéfique pour les fournisseurs de contenu, le transport de trafic P2P est devenu une problématique importante pour les fournisseurs d'accès à l'Internet (FAI) [AGG 07], et plus particulièrement le trafic vidéo qui est un trafic non élastique nécessitant un débit important. Il s'agit également de la diffusion de chaînes de télévision à un grand nombre d'utilisateurs qui peuvent être situés n'importe où dans le monde, rendant complexe l'ingénierie de trafic d'un FAI dans son propre réseau.

Il semble alors urgent d'avoir une meilleure compréhension de l'impact potentiel que les applications P2P-TV peuvent avoir sur le réseau. Comme les applications les plus utilisées sont des applications commerciales et propriétaires pour lesquelles nous n'avons aucun détail de conception ni d'implémentation, la seule possibilité pour les étudier est alors de mesurer leur trafic afin d'en comprendre le comportement sur le réseau.

Il existe déjà de nombreuses études de trafic P2P-TV mais le but de ces travaux était de déduire les principaux mécanismes de ces applications [HEI 07]. C'était d'ailleurs le principal objectif de nos précédents travaux, où nous avons analysé le trafic d'applications P2P-TV populaires et étudié le comportement de leurs utilisateurs [SIL 09]. Toutefois, les précédents travaux ne disposaient que d'un seul point de mesure pour étudier le trafic. Or ces applications sont utilisées mondialement sur tout l'Internet. La position géographique des pairs, l'intérêt des utilisateurs pour un contenu en fonction de l'endroit où ils se situent, ou bien leur environnement d'accès à l'Internet peut avoir un impact sur le comportement des utilisateurs et les propriétés du trafic des applications mesurées.

Ainsi, nous avons effectué de nouvelles expériences de mesure à plus large échelle afin d'obtenir une vision globale du réseau P2P. Nous avons mesuré le trafic d'applications P2P-TV de plusieurs endroits situés de part et d'autre du monde, en l'occurrence en France et au Japon. Cette expérience de mesure nous permet d'étudier l'organisation du réseau P2P et les échanges de trafic entre pairs, la distance à laquelle nos pairs obtiennent le contenu, de discuter de la situation géographique des utilisateurs et de l'impact du contenu diffusé sur cette population d'utilisateurs.

Dans cet article, nous présentons tout d'abord notre expérience de mesure (section 2), et les traces de trafic que nous allons étudier (section 3). Puis, nous étudions la quantité de trafic échangé entre pairs (section 4), pour nous intéresser ensuite à la distance, la localité et la situation géographique des pairs (section 5). Enfin, nous concluons notre étude et présentons ses perspectives futures (section 6).

2. Expérience de mesures

2.1. *Motivation*

Notre objectif principal était d'obtenir une vision plus globale des réseaux P2P mesurés. Nous avons pour cela mesuré le trafic d'applications P2P-TV en différents endroits de l'Internet situés de part et d'autre

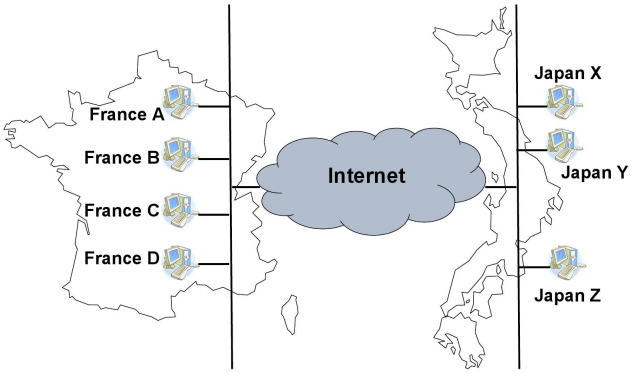


Figure 1. *Plate-forme expérimentale de mesures. Chaque PC est directement connecté à l'Internet à travers les réseaux du LIP6 et de WIDE.*

du monde : en France et au Japon. L'idée sous-jacente était qu'en augmentant et diversifiant les points de mesures, nous pourrions obtenir une vue globale des réseaux P2P mesurés afin d'en comprendre les principales caractéristiques.

Les applications mesurées sont des systèmes P2P qui reposent sur la collaboration entre les utilisateurs pour transmettre du contenu. Pour fournir du contenu à ses utilisateurs, un FAI préfère mettre en oeuvre lui-même des solutions en proposant par exemple des abonnements "triple-play" comprenant – en plus de l'accès à l'Internet – des services téléphoniques, de télévision et autres vidéos à la demande. Dans ce cas, le FAI peut potentiellement prédire la charge de trafic sur son réseau car cela dépend approximativement de son nombre d'utilisateurs et de leurs usages. De plus, ce trafic reste confiné au sein du réseau du FAI et de ses utilisateurs. Dans le cadre des applications P2P, les contenus sont transportés entre utilisateurs de différents FAI. Les contenus transportés sont généralement volumineux, notamment la vidéo qui consomme beaucoup de bande passante à des débits non élastiques. Les goulots d'étranglements de l'Internet sont supposés être situés au niveau des liens entre FAI et pas au niveau des liens du coeur de réseau d'un FAI [AGG 07]. Ainsi, le transport du trafic P2P est un véritable dilemme pour les FAI puisqu'il peut provenir de (et être échangé vers) n'importe quel autre FAI, sans que celui-ci ne connaisse la quantité exacte de données qui lui est transmise. Cela pourrait entraîner des coûts importants pour le FAI pour transporter ce trafic, mais surtout une impossibilité à dimensionner son réseau et à prévoir la charge de son réseau.

La prise en compte de la localité entre les pairs pour s'échanger le contenu est alors une problématique importante pour les FAI. Elle l'est également pour les utilisateurs, pour qui de longues distances entraîneraient souvent de longs délais de traversé de bout en bout du réseau, ce qui – pour du trafic vidéo à fortes contraintes temporelles – risquerait d'altérer la qualité de la vidéo reçue. En plus de la localité, les applications P2P nécessitent une contribution réciproque entre les pairs qui s'échangent les données. Il convient donc pour nous d'étudier à la fois la localité des pairs dans ces réseaux P2P mais également la quantité de données que les pairs s'échangent pour évaluer ce type d'application. Pour la localité, il en va de l'intérêt des FAI mais aussi d'une certaine façon de leurs utilisateurs. Pour la réciprocité des échanges, il en va de l'intérêt des utilisateurs et de la viabilité des solutions P2P à transmettre des contenus à très large échelle.

2.2. *Plate-forme expérimentale de mesures*

Notre plate-forme expérimentale se décompose en deux parties situées de part et d'autre du monde : une partie en France et l'autre au Japon. Les parties Françaises et Japonaises sont identiques si ce n'est le nombre d'ordinateurs (PCs) que nous avions à notre disposition pour effectuer les mesures. Dans chacune des parties de la plate-forme, nous utilisions des PCs équipés de processeur cadencé à 1.8Ghz et de carte graphique standard. Tous les PCs étaient équipés de carte Ethernet à 100Mb/s. Les machines étaient directement connectées à l'Internet avec un accès Ethernet à 100Mb/s, à travers le réseau de notre université pour les machines situées en France, et le réseau du projet WIDE pour les machines situées au Japon. Le nombre de points de mesures (PCs) variait de trois à quatre en France, et deux à trois au Japon en fonction de la disponibilité de nos machines au moment de nos expériences. Tous les PCs utilisaient Windows XP comme

système d'exploitation puisque les applications P2P-TV ont été principalement implémentées pour celui-ci. Les applications utilisent des codecs vidéo de type MPEG4. Chaque PC (nœud) utilisait Windump [WIN] pour collecter le trafic.

La plate-forme expérimentale de mesure est représentée sur la figure 1. Dans un soucis de clarté, nous ferons référence aux PCs situés en France en les nommant *France A, France B France C et France D* et ceux situés au Japon *Japan X, Japan Y et Japan Z.*

2.3. *Déroulement des expériences*

Au cours de ces expériences, nous avons utilisé les applications les plus populaires, en se référant aux impressions de leurs utilisateurs via différents sites web ou forums [MP2], ainsi qu'à nos propres impressions générales sur ces applications et le niveau de qualité que nous expérimentions avec celles-ci. Ainsi, nous avons choisi de mesurer le trafic de PPSTream, TVUPlayer, SOPCast et TVAnts [PPS, TVU, SOP, TVA].

Pour chaque expérience, nous avons utilisé la même application P2P-TV sur toutes les machines de la plate-forme de mesure. Au cours de nos expériences, nous nous sommes intéressées à des évènements en direct et plus particulièrement à des évènements sportifs car ils présentent un véritable intérêt à être regardé en direct. Nous avons effectué notre campagne de mesure au cours de l'été et l'automne 2007 car nous avions accès au réseau WIDE situé à l'université de Tokyo au Japon. Nous avons mesuré des évènements sportifs avec différentes applications parmi lesquels des matchs de football (FIFA) mais également les championnats du monde d'athlétisme (IAAF) ou la coupe du monde de rugby (IRB). À la fin de notre campagne de mesure, nous avions mesuré une cinquantaine d'évènements sportifs. Chaque évènement ayant été mesuré avec cinq à sept points de mesures (PCs), nous bénéficions d'une collection de plusieurs centaines de traces de trafic P2P-TV. La taille totale de notre collection de données dépasse les 1.5 TB.

Parmi tous les évènements mesurés, nous avons choisi de nous concentrer sur des matchs de football puisqu'il existe une importante communauté d'utilisateurs qui utilise ces applications dans ce but précis. De notre collection de traces, nous avons extrait quatre expériences de mesure représentatives de notre jeu de données. Chacune d'entre elles a été effectuée avec l'une des quatre applications choisies.

Nous avons mesuré PPSTream avec cinq ordinateurs (nœuds) : trois était situés en France et deux au Japon. Le trafic a été collecté le 15 août 2007 lors du tour préliminaire de la ligue des champions de l'UEFA entre Liverpool et Toulouse. Le trafic de TVUPlayer a été collecté avec six nœuds répartis équitablement en France et au Japon. L'évènement mesuré était un match de qualification pour le tournoi olympique de football entre le Japon et le Vietnam le 22 août 2007. Pour SOPCast, six nœuds étaient à nouveau disponible (quatre en France et deux au Japon) et l'évènement était un autre match de qualification pour le tournoi olympique de football entre la Chine et le Japon. Ce match s'est déroulé le 3 août 2007. Enfin, TVAnts a pu être mesuré par l'ensemble de nos sept nœuds (quatre en France et trois au Japon). Il s'agissait encore d'un match qualificatif pour le tournoi olympique de football entre la Chine et le Vietnam, le 23 août 2007.

Le tableau 1 présente les traces étudiées dans cet article. Toutes les traces ont la même durée de 2h45 (165 mn), plus longue qu'un match de football afin de capturer les éventuels effets des débuts et fins de transmission comme les arrivées massives d'utilisateurs en début de rencontre. Ces traces sont publiquement disponibles sur notre serveur d'archivage de données [CNT].

3. Observations générales

Dans cette section nous présentons les traces que nous allons étudier dans cet article. Puisqu'il s'agit de 24 traces provenant de quatre applications distinctes et de nombreux points de mesures, nous allons adopter la notation suivante pour faire référence à chaque trace en les nommant *XXX_Yz* où : (i) *XXX* sont les trois premières lettres du nom de l'application (PPS pour PPSTream, TVU pour TVUPlayer, SOP pour SOPCast et TVA pour TVAnts) ; (ii) *Y* est la première lettre du pays dont la trace provient (*F* pour la France et *J* pour le Japon) ; (iii) *z* est l'identifiant des nœuds dans chaque pays (*a, b, c, d* pour les noeuds de France et *x, y, z* pour ceux du Japon). Par exemple, la trace collectée par le nœud France C pour PPSTream est appelée PPS_Fc ; celle de Japan Y pour SOPCast est SOP_Jy.

Le tableau 1 présente la taille de chaque trace, leur nombre de paquets et d'adresses IPs qu'elles contiennent, ainsi que la proportion de trafic montant (*upload*) et descendant (*download*) en fonction du

Tableau 1. *Traces de trafic P2P-TV. Toutes les traces ont une duree de 2h45 (165mn).*

PPSTream	**Size** (GBytes)	**#Pkt** ($\times 10^6$)	**#IP**	**IP Similarity** (%)	**#IP** video	**Upload Size** (%)		**Download Size** (%)	
						TCP	UDP	TCP	UDP
France A	3.1	3.5	2 625	68	1 060	82	0.0	18	0.0
France B	3.1	3.5	3 317	57	1 153	82	0.0	18	0.0
France C	3.1	3.4	3 224	59	1 121	82	0.0	18	0.0
Japan X	3.0	3.3	3 421	54	1 200	82	0.0	18	0.0
Japan Y	3.1	3.1	2 544	67	1 103	82	0.0	18	0.0
TVUPlayer	**Size** (GBytes)	**#Pkt** ($\times 10^6$)	**#IP**	**IP Similarity** (%)	**#IP** video	**Upload Size** (%)		**Download Size** (%)	
						TCP	UDP	TCP	UDP
France A	1.7	4.4	2 122	46	510	2.0	64	2.0	32
France B	1.6	4.1	1 262	66	478	6.0	62	0.0	32
France C	1.6	4.0	1 093	70	414	3.0	64	2.0	31
Japan X	1.8	5.3	1 111	89	570	5.0	62	1.0	32
Japan Y	2.2	6.1	1 034	90	601	3.0	68	1.0	28
Japan Z	3.1	7.8	1 064	92	565	6.0	72	0.0	22
SOPCast	**Size** (GBytes)	**#Pkt** ($\times 10^6$)	**#IP**	**IP Similarity** (%)	**#IP** video	**Upload Size** (%)		**Download Size** (%)	
						TCP	UDP	TCP	UDP
France A	1.0	2.6	3 755	79	845	2.0	41	8.0	49
France B	1.2	3.0	4 268	73	817	1.0	49	7.0	43
France C	1.2	3.0	3 920	76	872	2.0	51	11	36
France D	1.0	2.6	3 925	80	827	1.0	40	7.0	52
Japan X	3.2	6.7	4 269	81	818	5.0	73	0.0	22
Japan Y	3.0	6.4	4 048	83	859	1.0	76	1.0	22
TVAnts	**Size** (GBytes)	**#Pkt** ($\times 10^6$)	**#IP**	**IP Similarity** (%)	**#IP** video	**Upload Size** (%)		**Download Size** (%)	
						TCP	UDP	TCP	UDP
France A	2.7	3.3	1 854	97	427	56	23	13	8.0
France B	2.0	2.4	1 864	97	414	47	25	22	6.0
France C	2.6	3.1	1 768	97	429	56	22	16	6.0
France D	2.7	3.3	1 887	97	399	55	24	14	7.0
Japan X	2.4	2.9	1 855	97	399	56	21	20	3.0
Japan Y	2.3	2.8	1 862	97	411	51	24	19	6.0
Japan Z	2.5	3.0	1 877	97	414	57	21	17	5.0

protocole de transport TCP ou UDP utilisé. Nous avons également ajouté les "IP vidéos", qui sont les IPs qui ont réellement échangé du trafic vidéo avec nos nœuds. Nous sommes parvenus à identifier ces IPs en utilisant l'heuristique proposée par Hei [HEI 06], brièvement rappelée ici : si une IP a échangé au moins 10 paquets d'au moins 1000 octets, alors on considère que cette IP a bien échangé du trafic vidéo. Les adresses IPs présentes dans nos traces sont en fait les pairs avec lesquels nous avons échangé du trafic et nous parlerons d'adresses IPs ou de pairs indifféremment dans la suite de cet article.

Pour chaque trace, nous avons aussi calculé la proportion d'adresses IP présente dans les autres traces de la même application (*IP similarité*) afin d'évaluer l'effet de la multiplication de nos points de mesures sur les mesures elles-mêmes. Par exemple, PPS_Fb compte 3 317 IPs dont 57% sont également présentes dans les autres traces de PPSTream. Ainsi nous souhaitions vérifier si le nombre de points de mesures utilisés (5 à 7 dans notre cas) suffisait pour obtenir une vision globale du réseau P2P ou si au contraire il aurait fallu en utiliser un nombre plus important. En moyenne, pour PPSTream – mesuré avec 5 nœuds – 61% des IPs se retrouvent dans les autres traces. La similarité IP moyenne est de 75% pour TVUPlayer et 79% pour SOPCast (6 points de mesures) et 97% pour TVAnts (7 points de mesures). Ainsi, nous observons que plus nous augmentions le nombre de points de mesures, plus nos nœuds communiquaient avec l'ensemble des pairs du réseau, nous permettant d'obtenir une vue globale et précise du réseau P2P. Compte tenu du fait

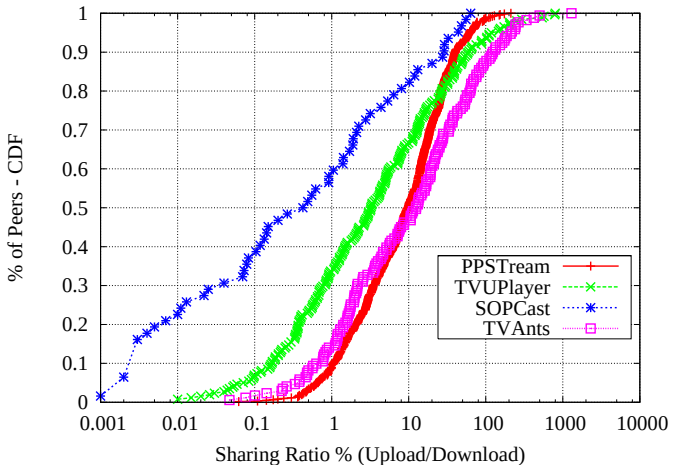


Figure 2. *Proportion de trafic partagé pour tous les pairs (Upload/Download).*

que 7 points de mesures permettent d'obtenir 97% d'IP similaires, nous pensons que cet ordre de grandeur du nombre de sondes est suffisant pour mesurer le réseau P2P dans sa globalité. Il semble donc inutile de le mesurer via un très grand nombre de pairs (centaines, milliers) ou même la totalité, expérience de toute façon quasi-impossible à réaliser pour un réseau P2P de cette échelle. Les expériences réalisées avec 5 ou 6 nœuds ne rendent pas exactement compte de la vision complète du réseau P2P mais permettent quand même de mieux caractériser le réseau P2P dans son ensemble, comparé aux précédents travaux de mesures effectués avec une unique sonde de mesure [SIL 07].

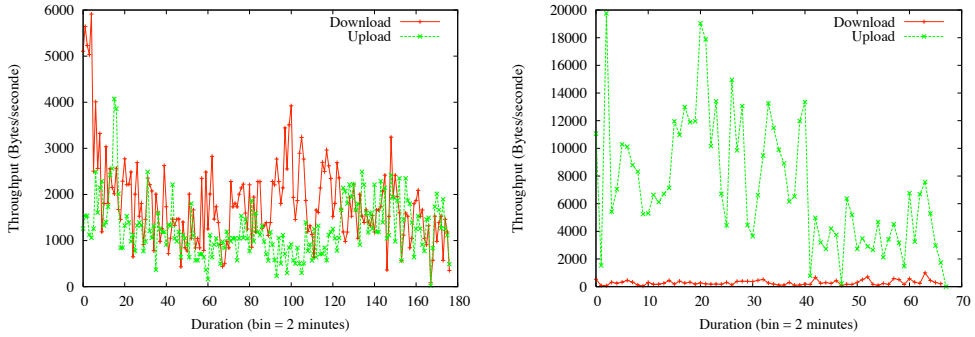
Les traces de PPSTream présentent toutes les mêmes caractéristiques à l'exception du nombre d'IPs qui diffère légèrement pour l'une des traces Françaises et Japonaises (PPS_Fa et PPS_Jy). Les traces Japonaises de TVUPlayer et SOPCast sont plus volumineuses que les Françaises. Ces applications comptent toutefois chacune le même nombre d'IPs dans chaque trace à l'exception de TVU_Fa. À l'inverse, les traces Françaises de TVAnts sont légèrement plus volumineuses que les traces Japonaises et comptent le même nombre d'IPs.

Il est intéressant de constater que les traces de TVUPlayer ou de SOPCast, bien que plus petites que celles de PPSTream ou TVAnts, contiennent pourtant beaucoup plus de paquets. En approfondissant cette question, nous avons pu constater que 80% des paquets de TVUPlayer, par exemple, ont une taille inférieure à 200 octets alors que près de 2/3 des paquets de PPSTream ont une taille supérieure à 1000 octets. Cela est certainement dû à l'utilisation du protocole de transport UDP.

Chaque pair a comme objectif de télécharger la vidéo une seule fois mais peut la retransmettre plusieurs fois. Les traces volumineuses témoignent ainsi d'une importante activité en upload comme TVU_Jy, TVU_Jz ou SOP_Jx et SOP_Jy. Cependant si l'on compare les quantités de données téléchargées, elles varient pour TVUPlayer de 512MB pour TVU_Fb à 682MB pour TVU_Jz. C'est une différence assez importante et nous rappelons que toutes les traces ont la même durée de collecte de trafic (2h45). Cette quantité de trafic supplémentaire provient de la quantité de trafic de signalisation reçu. Un pair qui transmet beaucoup de vidéo reçoit également beaucoup de trafic de signalisation des autres pairs du réseau qui coordonnent leur réception. Cette observation somme toute anodine au premier abord peut en fait s'avérer être un véritable problème dans certaines situations. Un pair altruiste qui transmet beaucoup de vidéo à d'autres pairs se verrait alors gratifier d'une quantité importante de trafic de signalisation. Cela aurait pour effet de gaspiller sa bande passante pour télécharger la vidéo et saturer son lien d'accès, affectant probablement la qualité de la vidéo reçue. C'est d'autant plus problématique pour une application comme TVUPlayer qui utilise UDP, lui-même ne proposant aucun mécanisme de contrôle de congestion pour adapter les débits des flots vidéos à la capacité du lien.

4. Échange de trafic entre les pairs

Dans cette section, nous nous intéressons à la quantité de trafic échangé par les pairs que nous contrôlons avec chacun des autres pairs de l'Internet. Au-delà du trafic échangé vers chaque pair dans chaque direction, il est important de mettre en relation la quantité de trafic envoyé et reçu pour chacun de ces pairs. Nous



(a) Échange équitable (b) Échange non équitable

Figure 3. *Échange de trafic entre différents pairs.*

appelons cette quantité "la proportion de trafic partagé" (*sharing ratio*), qui est la quantité de trafic envoyé vers un seul pair (upload) divisé par la quantité de trafic reçu par ce même pair (download).

La figure 2 présente la fonction de distribution cumulative (CDF) du trafic partagé entre les pairs que nous contrôlons et tous les autres pairs. Nous n'avons choisi qu'une trace pour chaque application car nous avons pu constater qu'elles étaient chacune représentatives de toutes les autres. Quand la proportion de trafic partagé est supérieure à 1, nos pairs sont altruistes avec les autres pairs et transmettent beaucoup de données, quand cette proportion vaut 1 alors l'échange de trafic a été équitable. Quand la proportion est inférieure à 1, alors nos pairs ont d'avantage reçu des autres pairs distants.

Pour PPSTream et TVAnts, seulement 10% des pairs sont altruistes avec nos pairs et ont transmis plus de données qu'ils en ont reçues. Les 90% de pairs restants ont bénéficié de notre altruisme. Ce comportement est similaire pour TVUPlayer à des proportions légèrement différentes : 30% des pairs de l'Internet ont beaucoup transmis à nos pairs et les 70% restant ont bénéficié des ressources de nos pairs. C'est le contraire pour SOPCast : la majorité des pairs de l'Internet ont beaucoup plus transmis aux pairs que nous contrôlons (60%). Dans tous les cas, les échanges de trafic pour toutes les applications ne sont pas équitables avec nos pairs. Une large majorité des pairs rencontrés sont principalement consommateurs de données (proportion de partage >1) plutôt que producteurs (< 1). Il s'agit également d'échanges non équitables pour SOPCast mais dans le sens inverse.

Toutefois, il existe différents comportements de pairs. Sur les figures 3(a) et 3(b) nous avons isolé pour PPSTream le trafic d'upload et de download entre l'un de nos pairs et deux pairs distincts rencontrés sur l'Internet. Dans la figure 3(a), les deux courbes de trafic ne sont pas identiques mais indiquent bien que les deux pairs ont essayé de contribuer dans les mêmes proportions au cours de leur échange. La figure 3(b) contraste bien avec ce premier cas : on peut y voir que notre pair contribue énormément alors qu'il ne reçoit pratiquement rien en retour. D'après la proportion de trafic partagé (figure 2), clairement, quelles que soient les applications où le nœud que nous observons, ce deuxième cas est celui qui se produit le plus fréquemment : les échanges entre pairs ne sont pas équitables et sans aucune réciprocité.

Cela indique qu'il n'y a pas d'équité entre pairs dans ces systèmes P2P-TV. Puisque les pairs sont responsables de retransmettre les données à d'autres pairs, chaque pair devrait transmettre au moins la même quantité de données qu'il reçoit de façon à produire autant qu'il consomme. Comme ce n'est pas le cas, cela pose le problème important du passage à l'échelle de ce type de systèmes. Puisqu'un système P2P d'échange de fichiers comme BitTorrent doit principalement son succès à l'efficacité de son mécanisme d'incitation qui encourage les pairs à contribuer réellement entre eux, il est alors urgent de concevoir ce type de mécanisme adapté aux systèmes P2P de diffusion vidéo.

5. Distance entre les pairs

Dans cette section, nous nous intéressons à la distance à laquelle nos pairs échangent du trafic avec les autres pairs de l'Internet. Pour cela, nous avons analysé le champ "Time-to-Live" (TTL) des datagrammes IP, qui est décrémenté par les routeurs à chaque saut dans l'Internet. Comme nous l'avons précisé, les applications utilisées sont toutes implémentées principalement pour Windows XP et requièrent ce système d'exploitation. La valeur du TTL par défaut de Windows XP est de 128. Ainsi, en comparant la valeur des

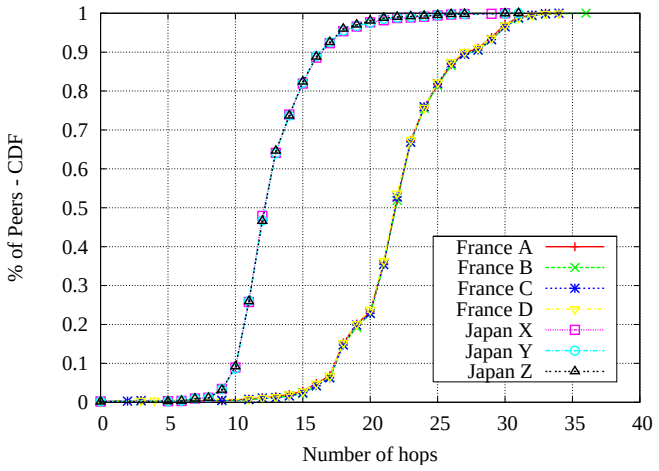


Figure 4. *Distance en nombre de sauts des pairs sur l'Internet (CDF).*

TTL reçus à la valeur par défaut fixée par Windows XP, nous pouvons déduire le nombre de sauts auquel nos pairs reçoivent le trafic. Par exemple, si un datagramme IP nous arrive avec un TTL à 120, la valeur par défaut étant de 128, nous pouvons estimer la distance de l'émetteur du datagramme à 8 sauts. Cette valeur n'est qu'une estimation puisque le datagramme peut très bien avoir traversé une série d'équipements qui ne décrémente pas le champ TTL des datagrammes IP. Toutefois, cette heuristique est déjà communément utilisée [CPN] et nous permet d'estimer la distance des pairs avec lesquels nous communiquons. Il est à noter que l'on ne peut utiliser cette heuristique pour le trafic montant puisque les datagrammes que nous envoyons ont tous le même TTL par défaut et nous ne pouvons pas connaître la valeur de ce TTL lorsque le datagramme envoyé atteint sa destination.

Sur la figure 4, nous avons tracé la fonction de distribution cumulative (CDF) de la distance en nombre de sauts. Nous n'avons représenté qu'une seule des applications, TVAnts, car les résultats étaient similaires pour chacune des autres applications.

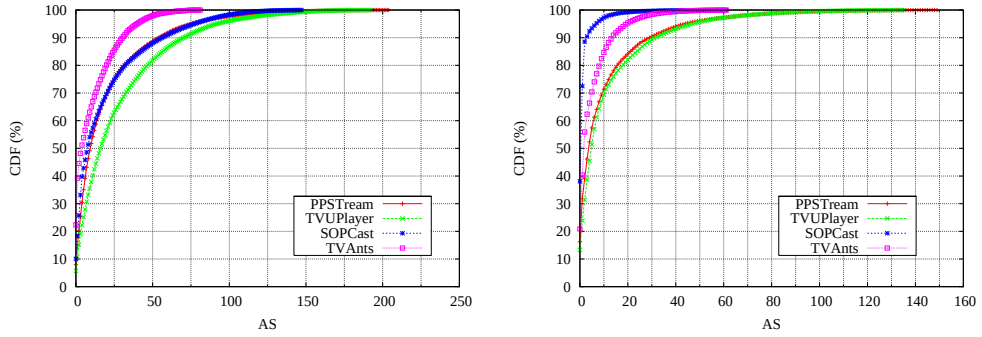
On remarque très nettement que la distance de téléchargement des pairs Français est plus grande que celle des pairs Japonais. Pour nos pairs situés en France, 50% des pairs chez qui ils téléchargent la vidéo sont situés à plus de 20 sauts et 90% sont situés à moins de 27 sauts. Pour nos nœuds Japonais, 50% des pairs distants sont situés à plus de 12 sauts seulement et 90% sont à moins de 16 sauts.

Plusieurs raisons peuvent expliquer ce phénomène. Tout d'abord, les applications P2P-TV ont été déployées par des sociétés Chinoises et sont déjà très populaires en Asie. La plupart des serveurs sources de vidéo ainsi que les utilisateurs sont probablement situés sur ce continent. L'utilisation d'applications P2P-TV en Europe est encore limitée et même PPSTream a le même comportement que les autres applications alors qu'un match de football présentant un fort intérêt pour les utilisateurs Européens était diffusé (Ligue des champions UEFA). Par conséquent, si la très grande majorité des utilisateurs est située en Asie, les nœuds Français doivent récupérer le contenu à partir de pairs situés à une distance plus lointaine comparé aux nœuds Japonais. Ensuite, les applications P2P-TV n'utilisent apparemment pas de mécanisme de prise en compte de la localité pour sélectionner les pairs qui fourniront le contenu. Si cela était le cas, un scénario possible serait qu'un nœud Français télécharge la vidéo d'une distance lointaine et la retransmette aux autres nœuds Français situés dans le même réseau. Dans ce cas, on aurait observé sur la figure 4 un seul pair Français qui télécharge la vidéo à une distance lointaine et les autres pairs auraient reçu les données d'une plus proche distance.

Le téléchargement de la vidéo a une lointaine distance est un problème important puisque cela aura pour effet d'augmenter le délai de bout en bout pour recevoir les paquets vidéos, ce qui affectera la qualité de la vidéo. Cela révèle également le fait que le trafic transite entre différents FAI et traverse les liens entre FAI pour atteindre les destinations lointaines.

5.1. *Systèmes autonomes*

Il nous a ensuite semblé nécessaire d'étudier le trafic à une granularité supérieure c'est-à-dire à l'échelle des systèmes autonomes (AS). Un système autonome est un ensemble de réseau IP sous le contrôle d'une



(a) Upload (b) Download

Figure 5. *Volume de trafic (CDF) échangé vers chaque système autonome (AS).*

seule et même entité, typiquement un FAI. Le réseau d'un FAI peut quant à lui être subdivisé en plusieurs AS. La quantité d'AS traversés peut donner des informations sur la façon dont le trafic est échangé entre différents FAI. Clairement, plus il y a d'AS impliqués dans les échanges ou plus le nombre d'AS traversés consécutivement est important (nombre de sauts d'AS), plus cela témoigne d'échanges de trafic entre différents FAI.

Ainsi, en utilisant le service `whois` via les serveurs de cymru [CYM], nous avons obtenu la correspondance entre les adresses IPs et leur AS. À nouveau, nous ne nous intéressons qu'aux IPs vidéos car ce sont les seules à réellement échanger du trafic.

La figure 5 présente la CDF du volume de trafic échangé avec chaque AS ; chacune des sous-figures est pour l'upload et le download. Nous ne présentons à nouveau qu'une trace par application car elles sont représentatives des autres traces. Les AS sont ordonnés par ordre croissant du volume échangé sur l'axe des abscisses : l'AS 0 est celui qui a échangé le plus de trafic avec l'un de nos pairs. Afin de lever toute ambiguïté, nous insistons sur le fait que l'axe des abscisses représente bien le classement des AS dans l'ordre du trafic échangé et n'est en aucune manière relative aux identifiants des AS sur l'Internet.

On dénombre beaucoup plus d'AS en upload qu'en download. Toutefois, quelle que soit la direction du trafic, des centaines d'AS sont impliqués dans les échanges. PPSTream compte par exemple 200 AS en upload, ce qui est le double de TVAnts. Seuls 60 AS suffisent à PPSTream et SOPCast pour échanger 90% du trafic montant ; toutefois SOPCast échange du trafic vers moins d'AS que PPSTream (150 AS). TVUPlayer utilise autant d'AS en upload que PPSTream mais son trafic semble mieux réparti dans chaque AS : 90% du trafic montant de TVUPlayer est dirigé vers 75 AS différents. TVAnts utilise moins d'AS comparé aux autres : 90% de son trafic montant est dirigé vers seulement 30 AS, soit moitié moins que les autres applications. Du point de vue du téléchargement, le trafic provient d'un plus faible nombre d'AS quelle que soit l'application. SOPCast télécharge la majorité du trafic de seulement trois AS, TVAnts en utilise une dizaine alors que TVUPlayer et PPSTream en utilise une trentaine.

Afin d'obtenir le nombre de sauts en termes d'AS entre les pairs que nous contrôlons et les autres pairs de l'Internet, nous avons procédé comme il suit : pour certaines de nos expériences de mesures, nous avions effectué un `traceroute` vers chaque destination. Ensuite, pour chaque interface réseau traversée, nous avons – comme précédemment – obtenu l'AS d'origine d'une adresse IP en utilisant le service de correspondance entre une adresse IP et son AS fourni par cymru (`whois`). En regroupant par AS, il nous était alors possible d'obtenir le nombre d'AS traversés entre nos pairs et la destination. Pour ces expériences, nous avons effectué les `traceroute` à partir de nos pairs Français uniquement. Ils sont en effet l'objet de notre attention car ils téléchargent la vidéo à une distance lointaine en termes de sauts comparé aux pairs Japonais.

Sur la figure 6, nous présentons la CDF du trafic échangé en fonction du nombre de sauts d'AS. Dans un soucis d'économie de place, nous présentons les résultats pour SOPCast, mais les résultats sont similaires pour toutes les autres traces et applications. L'axe des abscisses représente le nombre de sauts en termes d'AS et l'axe des ordonnés le cumul du trafic échangé.

On remarque clairement que le nombre de sauts d'AS en download est plus important que le nombre de sauts en upload. Par exemple, 50% du trafic est envoyé (upload) à 3 sauts d'AS ou moins alors que l'on

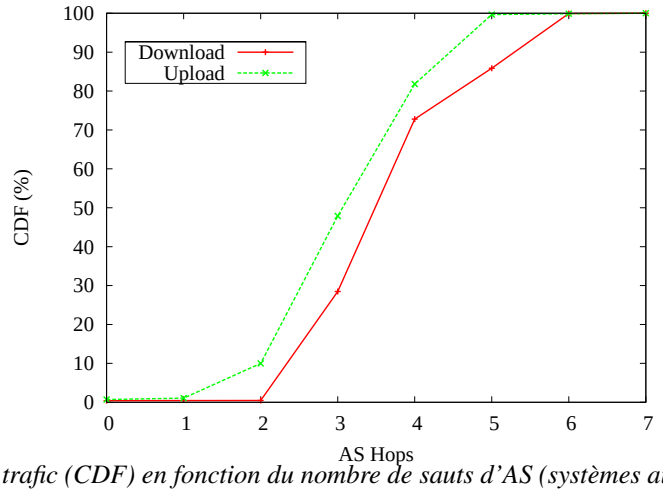


Figure 6. *Volume de trafic (CDF) en fonction du nombre de sauts d'AS (systèmes autonomes).*

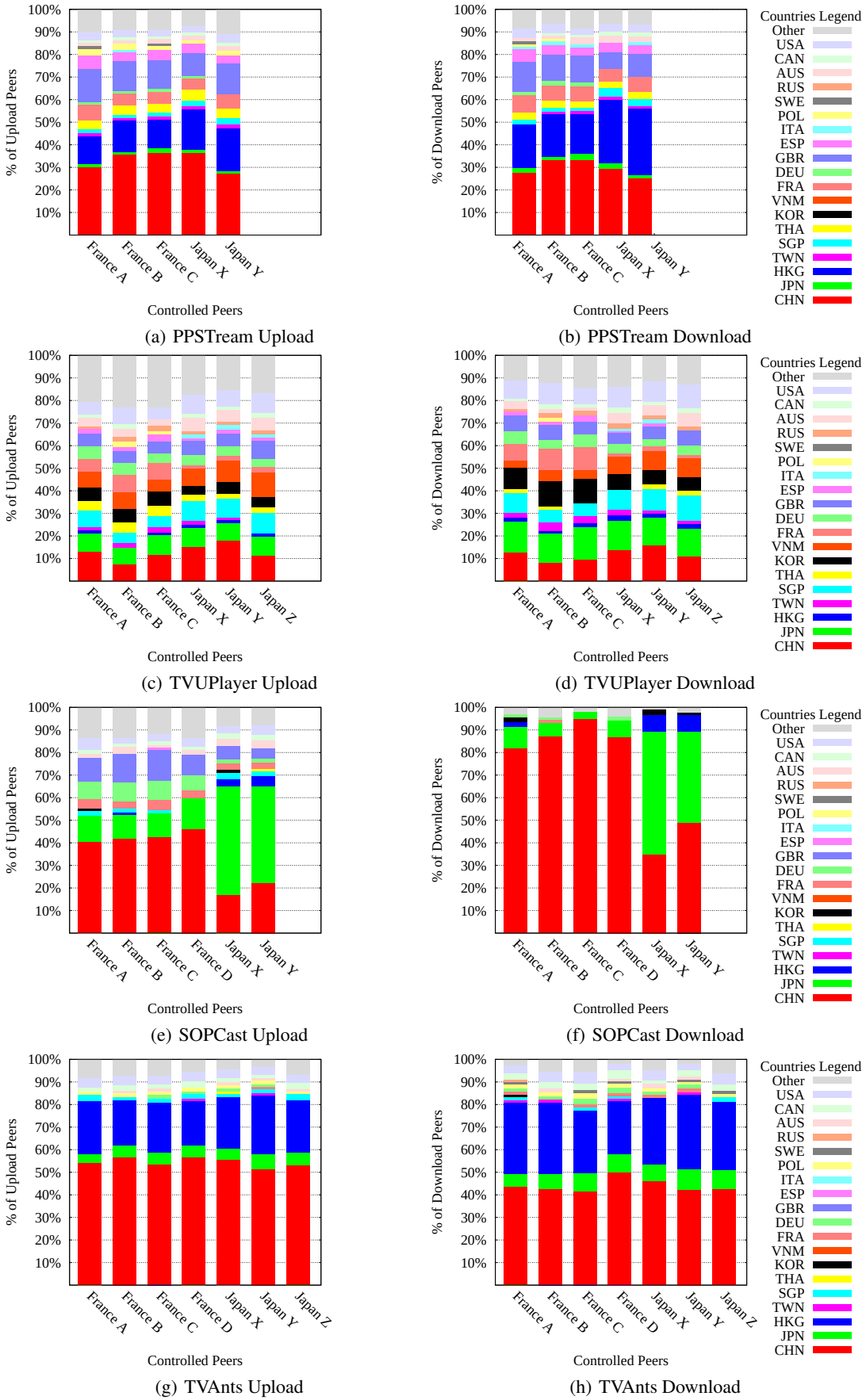
ne télécharge (download) que 30% du trafic à cette distance. 15% du trafic est également téléchargé d'une distance comprise entre 5 et 7 sauts d'AS alors que le trafic envoyé n'atteint jamais de destinations à plus de 5 sauts d'AS. Cela indique à nouveau que nos pairs Français téléchargeaient le trafic loin d'eux ; par contre ils le réémettaient plus proche d'eux.

Précédemment, nous avons observé que les nœuds situés en France téléchargent la vidéo à une distance plus lointaine que les nœuds Japonais (figure 4). Le trafic échangé entre pairs implique un nombre important d'AS (figure 5) et, pour les nœuds Français, le trafic téléchargé a transité à travers plus d'AS comparé au trafic envoyé (figure 6). Ces résultats illustrent le caractère problématique du trafic P2P-TV pour les FAI. Les systèmes P2P-TV ne tiennent pas compte de la localité des pairs pour échanger le trafic et cela engendre de considérables difficultés d'ingénierie de trafic pour les FAI. Du point de vue des FAI, il est important de maintenir le trafic P2P local à leur propre réseau, sinon cela risquerait de surcharger les liens entre FAI, qui sont déjà considérés comme étant les goulots d'étranglement de l'Internet [AGG 07]. Les liens entre FAI sont également très coûteux et les FAI souhaitent limiter leur utilisation à leurs propres clients.

5.2. *Localité géographique*

Dans cette section, nous étudions la localité géographique des pairs du réseau. Nous avons effectué la correspondance entre adresses IPs et pays d'origine en interrogeant la base de données GeoIP MaxMind [MAX]. Nous présentons alors ces résultats sous forme d'histogrammes empilés sur la figure 7. Chaque application est représentée par deux figures, l'une pour la proportion de pairs en upload, l'autre pour le download. Sur chaque figure, nous présentons autant d'histogrammes qu'il y avait de traces par application. Nous présentons dans la légende des histogrammes les pays qui ont représenté une part importante du trafic dans toutes nos traces. Les autres pays contribuaient pour moins de 1% dans un faible nombre de traces et sont cumulés dans la catégorie "autre" (*other*).

Comme il était attendu, le contenu diffusé a un impact sur la population de ces systèmes. Par exemple, on observe un nombre important de pairs de Grande-Bretagne ou de France avec PPSTream. Il y a également un nombre important de pairs de Chine avec SOPCast et TVAnts ou du Japon avec SOPCast et TVUPlayer, c'est-à-dire lorsque le contenu diffusé impliquait ces pays. La proportion de pairs Chinois et Japonais est moins importante avec les deux autres applications. De plus, nous avons pu observer la présence de pairs localisés au Vietnam avec TVUPlayer. Même si nous n'en avons pas observé pour TVAnts, il était somme toute surprenant d'en apercevoir compte tenu des conditions présumées mauvaises d'accès à l'Internet de ce pays encore émergeant économiquement [CIA]. On peut aussi remarquer que chaque application compte – en download – une grande partie de leurs pairs situés en Asie. En upload, par contre, nos pairs situés en France semblent compter d'avantage de pairs en Europe que les pairs Japonais, qui eux en compte plus en Asie. Cela confirme nos précédentes observations de nos pairs Français qui téléchargent le trafic plus loin que les pairs Japonais mais le réémettent plus proche d'eux.



(a) PPSTream Upload (b) PPSTream Download

(c) TVUPlayer Upload (d) TVUPlayer Download

(e) SOPCast Upload (f) SOPCast Download

(g) TVAnts Upload (h) TVAnts Download

Figure 7. *Localisation géographique des pairs pour PPStream (a,b), TVUPlayer (c,d), SOPCast (e,f) et TVAnts (g,h).*

6. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté notre expérience de mesures de trafic d'applications P2P-TV. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux échanges de trafic entre les pairs, à la distance où nos pairs obtiennent le trafic (nombre de sauts, AS), et à la localisation géographique des utilisateurs et l'importance du contenu diffusé sur cette population. Nous avons observé que les échanges de trafic ne sont pas réciproques entre les pairs. À l'avenir, il sera intéressant d'étudier les mécanismes d'incitation pour encourager les pairs à réellement collaborer dans ce type de système P2P-TV. De plus, les pairs que nous contrôlions en France reçoivent la vidéo de plus loin que les pairs Japonais, ce qui pourrait indiquer la non-prise en compte de la localité des pairs dans ce type de réseau. En effet, les applications ne choisiraient pas les pairs les plus proches pour échanger les flots vidéos mais ceux – plus nombreux – situés en Asie. Enfin, la localisation géographique des pairs rend compte de l'usage de ces applications par les utilisateurs en fonction du contenu diffusé.

En se basant sur les résultats de ces travaux de mesure, nous sommes actuellement en train de concevoir de nouveaux mécanismes d'incitation adaptés aux systèmes P2P-TV pour améliorer la contribution des pairs dans le réseau. La définition de mécanismes de prise en compte de la localité nous apparaît également comme essentielle pour ces systèmes et leur impact sur les réseaux d'opérateurs.

7. Bibliographie

[AGG 07] AGGARWAL V., FELDMANN A., SCHEIDELER C., « Can ISPs and P2P Users Cooperate for Improved Performance ? », ACM SIGCOMM Computer Communication Review, juillet 2007.

[AKA] http://www.akamai.com

[CHA 07] CHA M., KWAK H., RODRIGUEZ P., ANH Y.Y., MOON S., « I Tube, You Tube, Everybody Tubes : Analyzing the World's Largest User Generated Content Video System », ACM SIGCOMM/USENIX IMC'07, 2007.

[CIA] "Communications in vietnam." [Online]. Available : https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/VM.html

[COH 03] COHEN B., « Incentives build robustness in bittorrent », Workshop on Economics of Peer-to-Peer Systems, 2003.

[CNT] http://content.lip6.fr/traces/

[CPN] http://www.cpni.gov.uk/Docs/InternetProtocol.pdf

[CYM] http://www.team-cymru.org/

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

[HEI 06] HEI X., LIANG C., LIANG J., LIU Y., ROSS K.W., « Insights into PPLive : A Measurement Study of a Large-Scale P2P IPTV System », Proc. of IPTV Workshop, décembre 2006.

[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, décembre 2007.

[KAR 04] KARAGIANNIS T., BROIDO A., BROWNLEE N., CLAFFY K.C., FALOUTSOS M., « Is P2P dying or just hiding ? », Proceedings of the GLOBECOM Conference, 2004.

[MAX] http://www.maxmind.com/

[MP2] http://www.myp2p.eu

[PPS] http://www.ppstream.com

[SIL 07] SILVERSTON T., FOURMAUX O., « Measuring P2P IPTV Systems », ACM NOSSDAV, avril 2007.

[SIL 09] SILVERSTON T., FOURMAUX O., DAINOTTI A., BOTTA A., PESCAPE A., VENTRE G., SALAMATIAN K., « Traffic Analysis of P2P IPTV Communities », Elsevier Computer Networks, mars 2009.

[SOP] http://www.sopcast.com

[TVA] http://www.tvants.com

[TVU] http://www.tvunetworks.com

[WIN] http://www.winpcap.org/windump

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