

Expérimentation de service Triple Play sur un réseau optique passif

Mounir SARNI

Société Vialis/ Laboratoire MIPS-GRTC
20 rue des bonnes gens , F-68000 Colmar
m.sarni@calixo.net

Nicolas CLEMENTZ

IUT de Colmar
34 rue Grillenbreit , F-68000 Colmar
nicolas.clementz@uha.fr

Benoît HILT

Laboratoire MIPS/GRTC
34 rue du Grillenbreit, F-68000 Colmar
benoit.hilt@uha.fr

Pascal LORENZ

Laboratoire MIPS/GRTC
34 rue du Grillenbreit, F-68000 Colmar
pascal.lorenz@uha.fr

Résumé

Dans cet article nous rapportons l'expérience du déploiement d'un réseau FTTH (Fibre To The Home) de technologie GE-PON (Giga Ethernet - Passif Optical Network). Ce réseau expérimental sert de support à la mise en œuvre d'un service « triple play »¹.

Après une présentation des technologies d'accès disponibles pour la fourniture d'accès résidentiels, nous présentons les différentes technologies PON (Passif Optical Network). Nous décrivons ensuite l'architecture déployée. Puis nous exposons la politique de qualité de service que nous avons choisie de mettre en place pour offrir le « triple play ».

Nous concluons par un bilan de ce déploiement et traçons les perspectives qu'ouvre la disponibilité de cette infrastructure notamment en terme de management et plus particulièrement par rapport à la gestion dynamique des services .

Mots clefs

FTTH, PON, GE-PON, Triple play, Management, QoS

1 Introduction

L'expérimentation d'un service « triple play » sur un réseau optique passif présenté dans ce papier s'inscrit dans le cadre du projet ERAS (*Expérimentation de Réseaux à Accès Symétriques*) mené conjointement par la société Vialis² et l'Université de Haute Alsace (IUT de Colmar³ et le laboratoire MIPS⁴). Ce projet a été validé par la DATAR (*Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale*) dans le cadre de son appel à projet "Accès et services à haut débit pour le territoire" qui porte sur l'expérimentation de technologies innovantes d'accès et de services numériques utilisant le haut débit et contribuant de façon significative à l'un des trois objectifs suivants ; - revitaliser des zones rurales, - favoriser la cohésion sociale, notamment en habitat collectif, - développer la compétitivité d'un territoire. Le projet ERAS a notamment donné lieu à la mise en place d'une convention CIFRE

(*Convention Industrielle de Formation par la REcherche*) entre le laboratoire MIPS et la société Vialis.

Le projet ERAS a pour objectif de permettre à Vialis de choisir et de configurer la meilleure technologie, tant au niveau du réseau que des services pour faire évoluer son réseau câblé vers un réseau multiservices et multi utilisateurs. Puis de l'intégrer à ses outils de supervision et de gestion clientèle existants et de tester des fonctionnalités avancées auprès d'un panel de clients types.

2 Présentation générale

2.1 Les technologies d'accès à usage domestique

Les technologies d'accès disponibles pour les particuliers peuvent être regroupées en trois grandes familles: les technologies DSL (*Digital Subscriber Line*), les technologies radio (Wifi, WiMAX) et les technologies câble.

Actuellement, les technologies xDSL et en particulier l'ADSL (*Asymmetric DSL*) sont les méthodes de transmission les plus populaires. La France comptait, en juin 2007, 13,55 millions d'abonnés à l'ADSL (ADSL et ADSL2+). Avec une progression annuelle de 28%, l'ADSL représente 95,1% des abonnements haut débit en France [1]. La technologie DSL permet de dépasser 20 Mbits/s dans le sens descendant et 1 Mbits/s dans le sens montant. Ces débits diminuant fortement avec la distance au point de raccordement ces valeurs théoriques sont rarement atteintes. Malgré la prédominance de l'ADSL, d'autres variantes existent:

- Les SDSL (*Symmetric DSL*) et HDSL (*High bit-rate DSL*) permettent des débits symétriques du fait d'un partage de la bande de fréquence entre la voie montante et descendante. La distance maximale d'exploitation est plus courte que pour une ligne ADSL.

- Le VDSL (*Very High bit-rate DSL*) utilise une bande de fréquences plus large que les autres variantes, de façon à fournir un débit proche de 50 Mbits/s (100 Mbits/s pour VDSL2). A nouveau, la distance maximale s'en voit fortement réduite (< 500m).

D'une manière générale les technologies xDSL sont tributaires de la longueur (cf. Figure 1) et de la qualité du lien physique de raccordement.

¹Internet, Téléphonie et Vidéo sur IP

²FAI câble de Colmar et région

³Service Informatique Réseaux et Télécoms

⁴Groupe de recherche en Réseaux et Télécoms de Colmar

Actuellement aucune technologie xDSL ne permet une bonne diffusion à un débit supérieur à 2Mbits/s au delà de 5 km. Les études sur le DSM (Dynamic Spectrum Management) montrent qu'il sera possible d'augmenter ces débits, dans un futur proche, de l'ordre de 2 à 20 %.

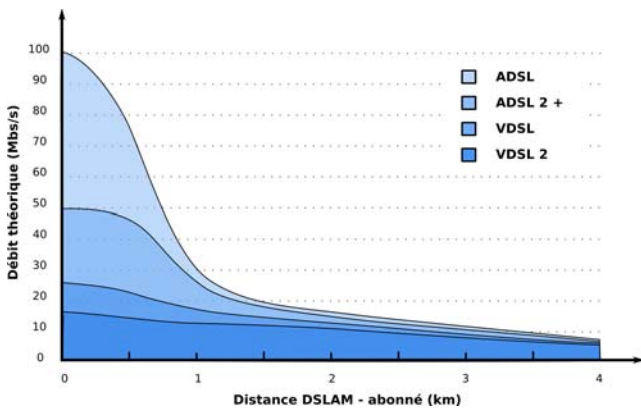


Figure 1: Performances théoriques des technologies DSL

L'utilisation d'ondes radio pour transporter des données peut se faire sous plusieurs formes ; accès par satellite, WiMAX, 3G, technologie WiFi.

- L'accès internet via un satellite permet d'offrir une bonne couverture géographique et une large bande passante. Dans les offres actuelles elle est asymétrique. Sa portée est évidemment très importante. Les débits pouvant être atteints sont de l'ordre de 2048Kbps.

- La technologie WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) ou 802.16-2004 permet de diffuser des débits symétriques pouvant atteindre 22Mb/s à une distance de 7 kilomètres. Ce débit est partagé entre les clients connectés à une borne. Cette technologie récente commence à être déployée au niveau national notamment sous l'impulsion de conseils généraux. Les coûts d'accès sont proposés à des tarifs proches de ceux des offres filaires (DSL).

- Avec la technologie 3G-UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) le débit peut théoriquement atteindre 1,920 Mb/s. Le débit utile, souvent proche de 348kb/s permet des transferts de données relativement volumineux, voire le visionnage de flux multimédia sur des terminaux mobiles de petite taille.

- La technologie WiFi normalisée sous le numéro 802.11 est tout d'abord apparue dans le domaine privé en tant que relais sans fil d'Ethernet. Les débits sont alors successivement passés de 11Mb/s (*6Mb/s réels – 802.11b*) à 54Mb/s (*26Mb/s réels – 802.11g*) et prévu à 540Mb/s (*100Mb/s réels – 802.11n*). Les portées associées sont respectivement de 300m pour les deux premiers et de 90m pour le dernier. Les débits annoncés sont symétriques et partagés entre les clients connectés à une même borne.

Initialement utilisé pour la diffusion de programmes audiovisuels, le câble représente actuellement environ 4,8 % du marché du haut débit en France. Premier média à offrir une connexion haut débit, les réseaux câblés ou réseaux HFC (*Hybrid Fibre/Coax*) sont constitués de fibres optiques et de câbles coaxiaux. A partir de centres de raccordement, les fibres optiques alimentent des nœuds optiques qui se situent aux abords des immeubles ou dans

leurs sous-sols. Un câble coaxial assure ensuite le lien vers le client final. Selon la méthode d'accès et le type du câble coaxial, les débits théoriques peuvent aller dans le sens descendant de 10Mbit/s (Ethernet 10base5) à 160 Mbit/s (DOCSIS 3.0 [2]) et dans le sens montant de 1 Mbit/s (Ethernet 10base5) à plus de 120 Mbit/s (DOCSIS 3.0) pour une distance maximale de 500 m.

2.2 Evolution des réseaux câbles vers les réseaux FTTx

La structure d'un réseau de câble-opérateur (réseaux HFC) est traditionnellement composée d'un coeur en fibre optique et de liens vers les abonnés en câble coaxial. Une évolution naturelle de ces réseaux est de prolonger la fibre optique jusqu'au plus près de l'abonné afin de pallier les limitations intrinsèques de la liaison terminale cuivre.

Comme présenté dans la figure ci-dessous, les réseaux de type FTTx (*Fiber To The x*) consistent à tirer la fibre optique jusqu'à un point géographique donné: - nœud (*Node*), - trottoir (*Curb*), - immeuble (*Building*), - domicile (*Home*), - bureau (*Office*). Puis à partir de ce point de basculer vers un autre support de transport tel que le câble coaxial, la paire cuivrée ou le sans fil. On peut alors apporter un média de transport haut débit au plus près de l'abonné et ainsi lui offrir une plus grande bande passante et donc des services multimédias plus riches en contenus.

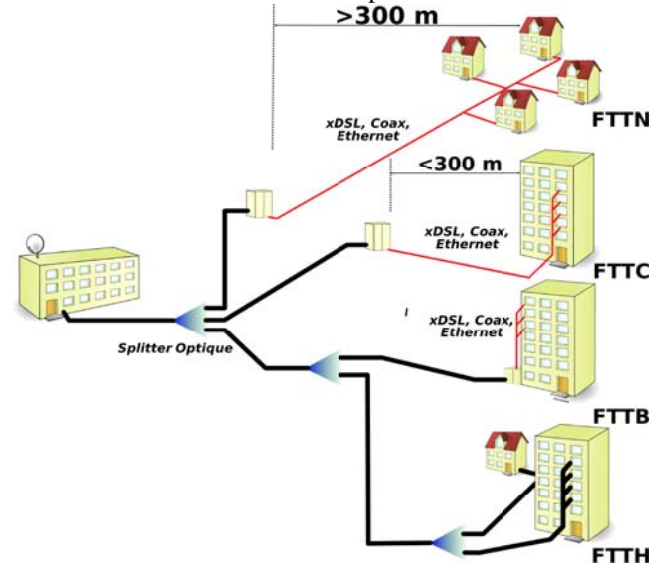


Figure 2 : Les réseaux FTTx

Dans cette perspective, deux types de topologies physiques permettent d'acheminer la fibre jusqu'au client final:

- La technologie point à point ou P2P (*Point to Point*) consiste à attribuer à chaque usager un accès dédié. Très coûteuse pour les opérateurs, cette méthode a l'avantage de permettre de fournir à l'utilisateur final un débit garanti.

- Contrairement à un réseau de type FTTH-P2P, le réseau optique passif ou PON (*Passive Optical Network*) permet de mutualiser une partie du réseau entre différents usagers. On obtient ainsi une structure arborescente appelée aussi point à multipoint (*P2mP*). Elle relie à un équipement central appelé OLT (*Optical Line Terminal*) des terminaisons optiques appelées ONT (*Optical Network Terminal*) ou ONU (*Optical Network Unit*). Ce lien est

réalisé par un réseau constitué de fibres optiques et d'équipements passifs (splitters optiques, cf. Figure 3). De plus, la diffusion de la vidéo en fréquences radio (c.a.d en mode overlay) reste possible par l'utilisation d'une longueur d'onde spécifique. Ceci permet d'assouplir les contraintes de migration des câble-opérateurs. Un autre avantage de ce type de réseau est le coût relativement faible de son déploiement, ce qui laisse entrevoir pour les entreprises un retour sur investissement rapide.

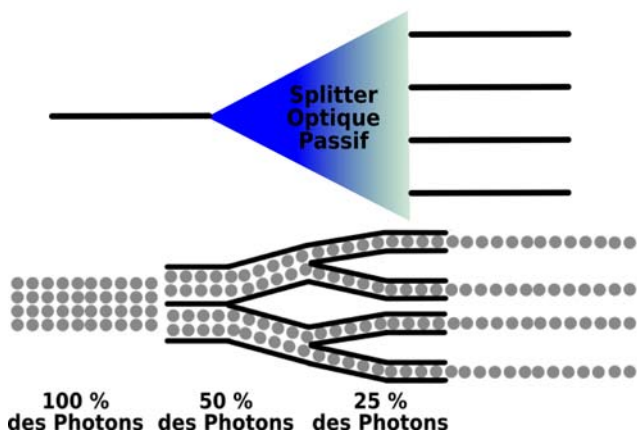


Figure 3 : Splitter optique 1 vers 4 (à puissance égale)

Depuis les années 90, quatre technologies PON ont été normalisées, trois par l'ITU (*International Telecommunication Union*) et une par l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*):

- L'A-PON (*ATM PON*) permet des débits de 155 à 622 Mbit/s pour jusqu'à 32 abonnés. Normalisée sous la référence ITU G.983, cette solution demeure complexe et coûteuse. Le débit est limité et la récupération d'horloge peut poser des difficultés. Elle ne peut pas offrir de services vidéo.

- Le B-PON (*Broadband PON*) permet des débits de 122 à 622 Mbit/s pour jusqu'à 32 abonnés. C'est une évolution de l'A-PON élaborée par le groupe de travail FSAN (*Full Service Access Network*) qui est une association d'industriels et d'exploitants dans ce domaine. La technologie B-PON est définie par la norme G.983.1, .2 pour ses caractéristiques générales, .3 pour les réseaux vidéo, .5 et .6 pour la sécurisation, .4 et .7 pour l'allocation dynamique.

- Le GE-PON (*Giga Ethernet PON*) offre des débits jusqu'à 1.25 Gbit/s pour jusqu'à 64 abonnés. Basée sur l'Ethernet, cette norme propose des débits symétriques à des portées pouvant atteindre 20 km. Focalisant l'intérêt de plusieurs industriels regroupés au sein de l'Association EFM (*Ethernet for the First Mile*) et du groupe MEF (*Metropolitan Ethernet Forum*), la technologie GE-PON a été standardisée par l'IEEE sous la référence 802.3ah. Fortement déployée au Japon, en Corée et en Europe par les collectivités, la norme GE-PON supporte le service « triple play » sur IP et l'overlay vidéo. Une estimation donnée par NTT (*Nippon Telegraph and Telephone Corporation*) prévoit 30 millions d'abonnés à cette technologie en 2010.

- Le G-PON (*Gigabit PON*) permet des débits de 622 Mbit/s à 2,5 Gbit/s pour jusqu'à 128 abonnés. C'est la

norme PON la plus récente. Cette technologie est définie par la norme G.984.1 pour les caractéristiques générales du G-PON, .2 pour la couche physique PMD (*Physical Medium Dependent*) et .5 pour la couche transmission. Choisie par France Télécom, la norme G-PON apporte plus de fonctionnalités que la GE-PON (qualité de service définie, fragmentation des données, choix de services, attribution de priorités, etc...).

3 Le projet ERAS

Comme indiqué en début de document, le projet ERAS a pour objectif de démontrer la faisabilité de la fourniture d'un service de type « triple play » par un câble opérateur. Dans ce but, la première étape a donc été de choisir la technologie d'interconnexion. Les réseaux optiques passifs offrent une possibilité d'évolution qui s'intègre presque naturellement aux réseaux câblés. Une fois ce support choisi il faut le valider afin de pouvoir rendre le service attendu. Le déploiement d'un service « triple play » sur un réseau nécessite une gestion fine des ressources. Ceci implique de définir de la manière la plus précise possible les contraintes techniques des services à déployer. Dans notre cas, la première préoccupation fût de déterminer les modes de fonctionnement des différents services (type de protocoles, méthode de diffusion, etc...) et d'évaluer les besoins minimaux en terme de gestion de la qualité de service.

4 Le cahier des charges des services

Afin de définir la partie technique du cahier des charges nous avons décliné ce que pourrait être la future offre de Vialis.

Le service « triple play » est constitué d'un accès internet dont la bande passante de 100Mb/s est symétrique. Ce service est certainement le plus simple à fournir, car il est habituellement rendu en « best effort » et, de ce fait, il peut tout à fait s'adapter aux contraintes imposées par les services avec lesquels il doit coexister.

Lorsqu'un opérateur offre un service de téléphonie sur IP, il se substitue au service de téléphonie classique et un client attend donc un service proche de ce dernier. Si la bande passante utilisée par ce service dont le fonctionnement est basé sur le protocole SIP⁵ n'est pas très importante (de l'ordre d'une centaine de kbits/s), il n'en va pas de même avec les contraintes de qualité de service qui lui sont liées. Il sera nécessaire de maintenir les paramètres de gigue et de latence à des valeurs aussi faibles que possible afin de d'assurer la meilleure qualité pour ce service. Ces éléments seront bien entendu pris en compte pour paramétrer les équipements du réseau optique. Dans un premier temps nous imposons deux communications téléphoniques par équipement terminal.

La composante vidéo du service « triple play » sera basée sur un service de télévision sur IP. La technologie retenue est le DVB/IP (*Digital Vidéo Broadcasting*). Cette technologie s'adapte très bien à la diffusion multicast. Ce mode de diffusion permettra de réaliser des économies de bande passante dans le réseau ce qui concourra à une

⁵Protocole imposé par l'opérateur de téléphonie IP partenaire de Vialis

meilleure qualité du service offert. Des mesures préliminaires de consommation de bande passante de flux vidéo nous ont conduit à limiter le nombre de flux à huit s'ils sont de type SD (*Simple Definition*) pour lesquels la bande passante est de l'ordre de 5Mb/s à 7Mb/s ou de 4 flux de type HD (*High Definition*) pour lesquels la bande passante peut atteindre en pointe une quinzaine de Mb/s.

Dans l'architecture PON, les composantes de l'offre triple play, voix, vidéo et data devront être traitées dans cet ordre avec une priorité décroissante.

5 Le déploiement de l'architecture du réseau

Dans le cadre d'une extension de ses activités au marché européen, la société Mitsubishi, premier fournisseur d'équipements GE-PON au Japon avec plus de 4 millions d'unités vendues, recherchait une plate forme d'expérimentation et de démonstration pour son matériel FTTH en France. Suite à une mise en concurrence avec plusieurs projets dans l'hexagone, c'est le projet ERAS qui a été retenu. Notamment par rapport au partenariat Université/Entreprise de ce projet. C'est donc dans le cadre de cette collaboration, que nous avons entamé le déploiement d'un réseau pilote FTTH à Colmar.

L'OLT (*Optical Line Terminal*) Mitsubishi peut accueillir jusqu'à 16 interfaces GE-PON qui sont indépendantes entre elles. Elles disposent chacune d'un port Giga-Ethernet cuivre couplé à un port optique capable de raccorder un maximum de 32 clients.

L'ONU (*Optical Network Unit*) Mitsubishi dispose d'un port optique couplé à une unique interface Giga-Ethernet cuivre.



Figure 4 : OLT et ONU Mitsubishi

Le site pilote choisi⁶ est un bâtiment HLM dans lequel existe une grande mixité sociale (salariés, familles, étudiants, retraités). Deux raisons principales ont motivé ce choix : la proximité du récepteur optique appartenant au réseau câblé de Vialis, et la volonté d'offrir aux habitants les plus modestes de Colmar la possibilité d'utiliser les technologies les plus récentes dans le domaine du haut débit en France.

Le déploiement du réseau pilote FTTH s'est déroulé en deux endroits.

5.1 Le site pilote

Étant donné que l'ARCEP (*Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes*) n'a pas encore établi de recommandations pour le déploiement d'un réseau FTTH, nous avons opté pour l'utilisation d'éléments habituellement déployés par le câble opérateur. Le réseau FTTH dans l'immeuble est composé de deux éléments principaux : - un boîtier de raccordement optique (BRO) situé au pied de l'immeuble qui abrite deux splitters optiques de 1 vers 32, - des points de branchement optique (PBO) disposés dans la gaine technique à chaque étage permettent de tirer un « pigtail » (une fibre optique) vers le client final (cf. Figure 5). Avant son déploiement effectif, cette architecture a été validée par un calcul de budget optique. En effet, entre l'OLT et les ONUs on dispose d'un budget optique d'environ 25 dB. Il faut donc que la somme de toutes les pertes induites par les éléments du réseau optique (fibres, splitters, soudures, etc) ne dépasse pas cette valeur.

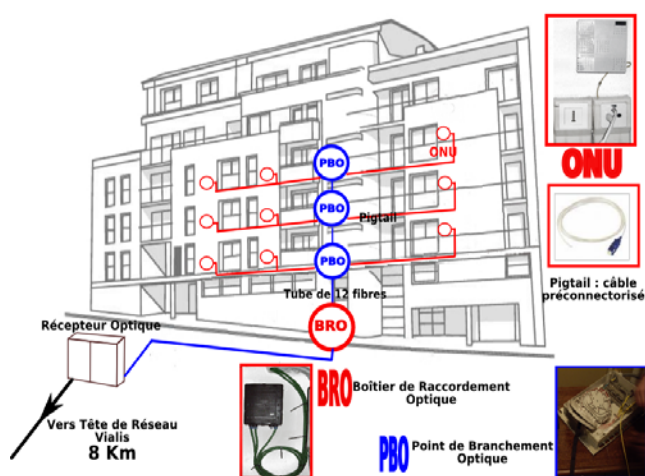


Figure 5: Raccordement FTTH du site pilote

A ce jour, une soixantaine de bêta-testeurs participent à la phase de test. Leur équipement (cf. Figure 6) est composé d'une Home Gateway (HGW) qui traite les flux reçus et permet de raccorder les différents périphériques et d'une Set Top Box (STB) qui transforme les flux vidéo sur IP en signal TV. Dans notre expérimentation la HGW est un routeur wifi Linksys WRTP54G qui dispose de deux ports RJ-11, de 4 ports LAN RJ45 et d'un port WAN RJ-45. La STB est un boîtier AMINO, AMINET 130.

Dans le cadre du projet ERAS, différents types et marques de Home Gateway et de Set Top Box seront testées pour améliorer la qualité et la gestion de l'offre de service sur le réseau FTTH.

⁶Ce choix a été fait en partenariat avec le Pôle Habitat Centre Alsace

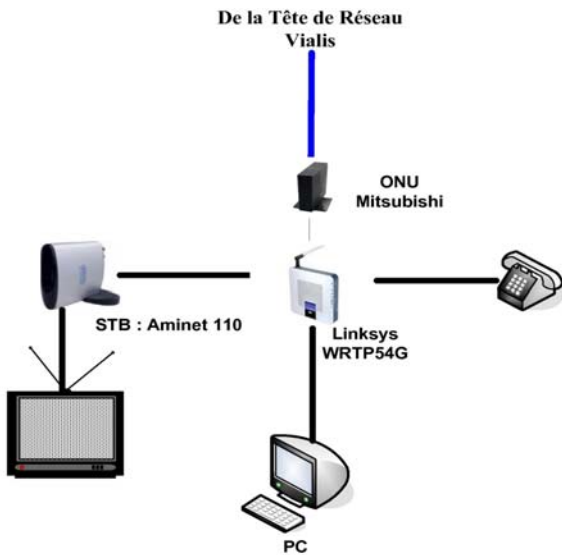


Figure 6 : Équipements chez le bêta-testeur

5.2 La tête de réseau

C'est dans la tête de réseau de Vialis que l'architecture PON déployée est raccordée à la plate forme de service de Vialis (cf. Figure 7). L'OLT est connectée à cette plateforme via un switch routeur Cisco 3750. Afin de préserver la qualité de l'accès internet des clients Vialis, la bande passante allouée à notre expérimentation a été limitée à 40 Mbit/s symétriques. La diffusion des programmes TV se fait par l'intermédiaire d'un serveur VLC qui diffuse en boucle des programmes locaux et d'un BMR (*Broadband Multimedia-Service Router*) qui diffuse des chaînes de télévision. Actuellement, une trentaine de chaînes sont diffusées sur le réseau pilote.

A des fins d'expérimentation et de mesure l'IUT de Colmar a aussi été raccordé au site pilote.

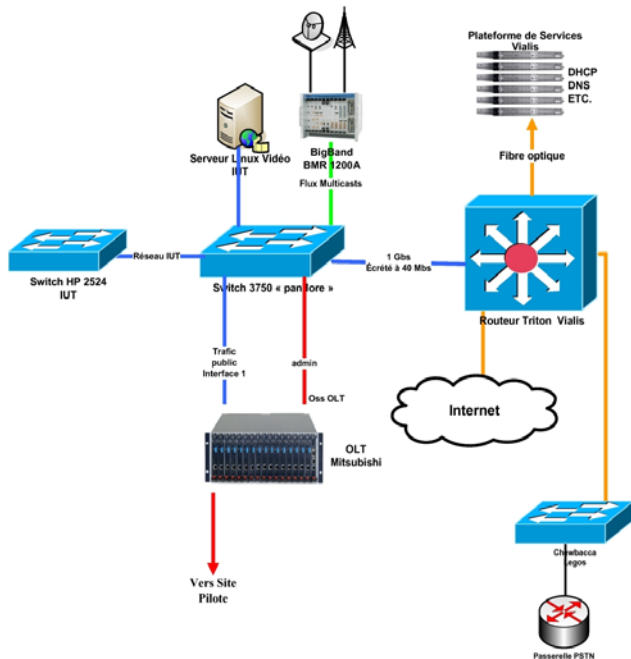


Figure 7 : Architecture en tête de réseau

6 Les réseaux GE-PON

Afin de mettre en œuvre le cahier des charges, nous avons étudié et testé les différents modes de fonctionnement disponibles sur les équipements PON. Cette connaissance nous a permis de valider un mode de fonctionnement optimal par rapport à notre problématique. Puis dans le mode sélectionné, une expérimentation sur maquette nous a permis de définir les paramètres opérationnels qui ont ensuite été mis en production.

6.1 Le mode de transmission dans un réseau GE-PON

Une interface GE-PON peut relier un maximum de 32 ou 64 ONU. La gestion de l'accès au média est réalisé par le protocole Multi-Point Control Protocol (*MPCP*) qui se positionne sur la couche Media Access Control (*MAC*) du protocole Ethernet [3]. Ce protocole nécessite l'usage d'un Logical Link Identifier (*LLID*) attribué à chaque ONU. Lorsque l'OLT transmet une trame à une ONU, elle la marque avec le LLID de cette ONU. Et inversement, lorsque l'ONU envoie une trame à l'OLT, elle la marque avec son LLID. MPCP utilise deux messages de signalisation: MPCP-Report et MPCP-Grant. Un message MPCP-Report est envoyé par les ONU lorsqu'elles souhaitent émettre des données. L'autorisation de diffusion sur le média est alors signifiée par l'OLT à l'ONU demandeuse par un message MPCP-Grant. C'est l'OLT qui décide, en fonction des informations obtenues par les messages MPCP-Report des ONU, quelle ONU est autorisée à émettre. L'algorithme de gestion de l'allocation des « timeslot » est le Dynamic Bandwidth Allocation (*DBA*). La Figure 8 présente le mode de transmission utilisé dans un réseau PON.

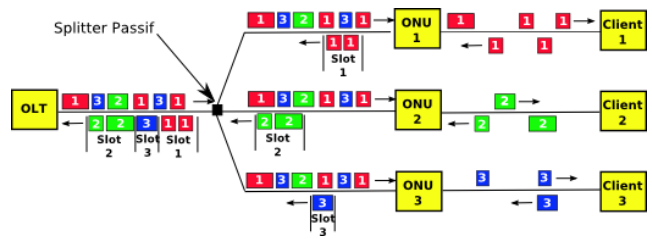


Figure 8: Mode de transmission dans un réseau PON

6.2 La Qualité de service dans un réseau GE-PON.

Dans les réseaux optiques passifs, la QoS (*Quality of Service*) est gérée de façon différente entre le sens montant et descendant.

Dans le sens descendant, comme chaque carte GE-PON est reliée au switch de périphérie par une interface Gigabit et que le débit partagé sur le PON est de 1 Gb/s, aucun mécanisme de Qualité de Service n'est nécessaire sur l'OLT. Ce sont les ONU qui mettent en œuvre la qualité de service en affectant aux différents flux entrant une des quatre files d'attente dont elles disposent. Cette affectation se fait en fonction de la valeur du champ TOS/DSCP. La répartition des flux dans les différentes files d'attente se fait en fonction d'une table de correspondance TOS/DSCP-File

d'attente. Tout flux qui entre dans une file d'attente passe obligatoirement par un module paramétrable de limitation du débit de type Token Bucket (TB). Un algorithme de vidage des queues qui consiste à vider une queue prioritaire avant de procéder au vidage de la queue suivante permet d'avoir la garantie qu'un flux/service sera strictement prioritaire sur un autre.

Dans le sens montant, le mécanisme de gestion des flux dans les ONU est identique au sens descendant. Au niveau de l'OLT la gestion de la qualité de service est réalisée par le mécanisme de DBA.

La prise en compte de la qualité de service dans les réseaux PON nécessite que les flux qui y entrent soient taggés avec des valeurs adéquates (TOS/DSCP).

7 Le déploiement des services

7.1 Le service voix

Le service voix doit permettre à l'utilisateur de communiquer au moyen d'un téléphone analogique ou sur IP avec le reste du monde. Dans le cadre du projet ERAS nous avons fait appel au Centrex IP, partenaire de VIALIS, qui nous fournit un service de téléphonie dont la signalisation est basée sur SIP (*Session Initiation Protocol*). La connexion au réseau commuté, réalisée au moyen d'une passerelle PSTN (*Public Switch Telephone Network*), est réalisée dans les locaux de VIALIS et garantit un délai de transmission inférieur à 70 ms. Les comptes SIP attribués aux usagers sont provisionnés par le Centrex IP à notre demande.

Plusieurs boîtiers de conversion analogique/IP (ATA – *Analog Telephone Adapter*) ont été testés. Certains disposaient d'un switch intégré et d'autre d'une interface WIFI. L'option d'un téléphone SIP a été également envisagée puis écartée car les usagers ne souhaitent pas forcément se séparer de leur téléphone analogique.

Afin de limiter la latence et éviter la perte de paquet en cas de congestion, la voix sur IP nécessite un transport prioritaire de ses flux. C'est pour cette raison que le champs TOS/DSCP de ces flux sera positionné à une valeur élevée (par exemple six). Pour ne pas créer de situation de déni de service, nous avons limité ce flux hautement prioritaire à une valeur de 512 Kbits/s. Cette valeur permet une diffusion d'au moins deux flux de type voix dans des conditions optimales tout en permettant une sécurité contre l'usage abusif de ce canal prioritaire. Dans le sens descendant, le switch de périphérie devra rendre prioritaire les flux voix au moyen du champs TOS/DSCP positionné au préalable par le Centrex IP. A noter que pour assurer la qualité de ce service, tous les équipements de la chaîne de transmission (routeur central, switch de périphérie) devront traiter ces flux de façon prioritaire.

Après avoir rendu prioritaires ces flux, nous avons vérifié au moyen d'un outil de mesure (IXIA 400) que l'infrastructure PON n'induisait pas de latence trop importante. La latence maximum mesurée (Figure 9) est de 1,2 ms dans le cas le plus défavorable (congestion du PON) et est tout à fait compatible avec le service de VoIP.

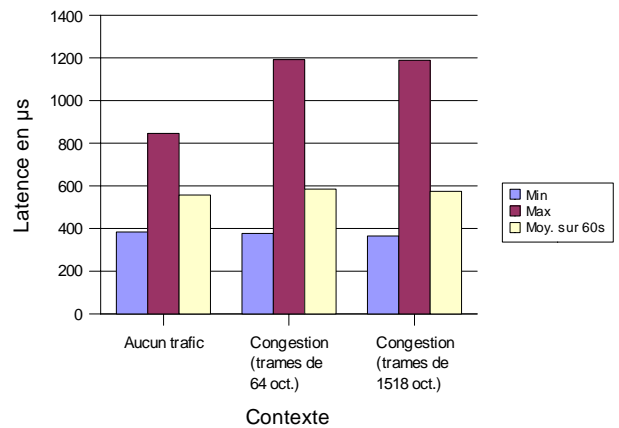


Figure 9 : Latence mesurée entre l'entrée de l'ONU et la sortie de l'OLT, avec un flux UDP de 64 Kb/s.

7.2 Le service vidéo

Un usager a deux façons d'accéder au service vidéo. Soit via une Set Top Box, soit avec son ordinateur et un logiciel multimédia que nous fournissons. Ce lecteur offre de multiple fonctionnalités; - PVR (Personal Video Recording), mosaïque TV, guide TV, etc...

La diffusion d'un programme TV nécessite un accord avec le diffuseur. Les chaînes payantes imposent la mise en œuvre d'un système de chiffrement des flux vidéo et une authentification forte de l'utilisateur. La diffusion de tels flux nous imposerait l'usage de STB capable d'authentifier l'utilisateur au moyen d'une carte à puce par exemple, et devrait également être capable de déchiffrer les flux vidéo. Les problèmes juridiques et techniques liés à la retransmission de ce type de programme nous ont conduit à ne diffuser, dans un premier temps, que des programmes en clair.

La diffusion de chaînes de télévision via des flux IP nous a naturellement conduit à mettre en œuvre la technologie multicast qui semble être la plus adaptée à ce type de diffusion. Du fait qu'initialement les équipements du réseau PON ne prenaient pas en compte la signalisation multicast, le déploiement du service vidéo s'est déroulé en deux temps. La première version logicielle des équipements du PON traitait les flux multicast comme des flux broadcast. Lorsqu'un usager envoyait une requête IGMP (*Internet Group Management Protocol*) d'adhésion à un groupe multicast, tous les autres usagers qui partageaient son lien optique recevaient le flux demandé. Cela posait un double problème, d'une part du point de vue de la confidentialité, et d'autre part l'adhésion à de nombreux groupes entraînait une augmentation involontaire de la bande passante consommée par les usagers qui n'en avaient pas fait la demande. Une mise à jour vers la dernière version logicielle des équipements a apporté une amélioration sensible de cette situation du fait de l'ajout de l'IGMP Snooping. Les équipements du PON sont ainsi capables d'interpréter les requêtes IGMP et de filtrer les flux multicast non demandés par un client. La Figure 10 montre comment le programme TV demandé par l'Usager 1, est filtré pour l'Usager 2.

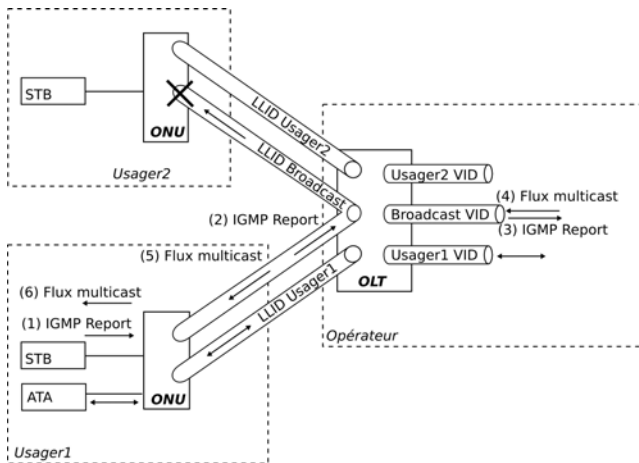


Figure 10 : IGMP Snooping dans l'architecture PON

Ce mode de fonctionnement nécessite l'utilisation d'un VLAN dédié aux flux Multicast en plus du VLAN par usager. Ce qui garantit un cloisonnement de ces flux.

En terme de priorité, il est primordial que le flux vidéo soit de bonne qualité. En effet, la perte de paquets engendre l'apparition d'artefacts qui peuvent fortement dégrader l'image. Nous avons donc donné à ce trafic une priorité inférieure à celle du trafic voix sans pour autant être minimale. Dans ce but, nous avons choisi de positionner à 3 le champ TOS/DSCP de ce flux par l'équipement de diffusion vidéo. Arrivé à l'ONU, le flux est dirigé vers la file correspondante pour être traité de façon prioritaire sur le flux des données. Cette précaution est utile lorsque l'utilisateur est connecté à l'ONU avec un débit inférieur à 1 Gigabits/s. Dans ce cas le débit descendant, en entrée de l'ONU, est potentiellement supérieur au débit en sortie de l'ONU. Cela entraîne une perte de paquets. La Figure 11 illustre l'effet de la priorité appliquée à un flux vidéo ayant le champ TOS positionné à 3, sur un flux avec un TOS à 0. L'interface de l'ONU a été volontairement bridée à 100 Mb/s durant les mesures alors que 160 Mb/s étaient envoyés vers l'utilisateur dans le but de provoquer une perte de paquet. On constate qu'en sortie, le flux data se réduit en fonction du débit du flux vidéo.

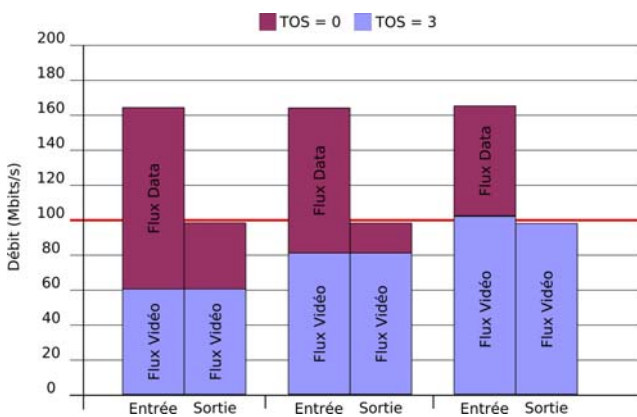


Figure 11 : Mise en évidence de la priorité du flux vidéo sur le flux data.

7.3 Le service data

Le service data rassemble toutes les communications de l'utilisateur qui ne font pas partie des deux services précédents.

Il est notamment celui qui peut être le plus gourmand en bande passante. De ce fait, il est potentiellement celui qui peut être le plus gourmand en bande passante. Il convient donc de dimensionner les flux alloués à ce service de façon à ne pas perturber les deux services précédents.

C'est pourquoi nous avons qualifié ces flux comme non prioritaires. Il est néanmoins possible de limiter leur débit en fonction du contrat d'abonnement de l'utilisateur, typiquement à 100 Mbits/s.

Comme ce service sollicite le lien montant, il est important de réaliser un partage de la bande passante mutualisée par les 32 clients d'une même interface PON. Chaque utilisateur peut utiliser de manière concurrentielle toute la bande passante du lien PON, tout en garantissant un débit minimal paramétrable. Il est ainsi possible d'avoir, sur un même lien PON, des utilisateurs avec des garanties de bande passante montante différentes. Ainsi on comprend bien pourquoi le PON, avec son avantage de mutualisation de bande passante, est parfaitement adapté à la diffusion de masse.

7.4 802.1Q tunneling

Même si les réseaux PON sont majoritairement utilisés pour la connexion de foyers, il est également envisagé de les utiliser pour raccorder des entreprises. Dans le cas où l'infrastructure PON interconnecte deux sites d'un même client qui utilise des VLAN 802.1Q, le réseau PON devra permettre de transporter de manière transparente ce type de trames. Ce transport de ces trames tout en assurant une qualité du service nécessite de réaliser une double encapsulation des trames Ethernet. C'est ce qu'on appelle le 802.1Q tunneling. Ainsi, du point de vue du PON, chaque utilisateur aura un VLAN de transport qui lui sera propre et transportera des flux taggés. Le 802.1Q tunneling impose au PON d'être capable de transporter des trames de 1526 octets (MTU de 1504 octets) sous peine de perdre des trames.

Le réseau PON que nous avons en test ne supporte actuellement pas ce type de transport de données.

7.5 Vidéo à la Demande

La vidéo à la demande (VOD) propose à l'utilisateur, au moyen d'une interface interactive, un choix de programmes vidéo accessibles à tous moments. Il peut démarrer et arrêter le programme, ou avancer dans celui-ci à la façon d'un magnétoscope. Les flux réseaux engendrés par l'utilisation de ce service sont comparables à ceux du service vidéo, à l'exception de l'usage de l'unicast au lieu du multicast.

Nous avons réalisé des essais concluants avec le logiciel VLC et un petit échantillon de programmes dans différentes résolutions. Le protocole utilisé est Real Time Streaming Protocol (RTSP). Du point de vue de la qualité de service, il est traité de la même façon qu'un flux vidéo, c'est à dire prioritaire sur le service Data.

La principale difficulté rencontrée avec la VOD est la nécessité d'avoir des équipements dédiés capable de traiter plusieurs centaines de connexions simultanées, ainsi qu'un espace de stockage très performant, généralement de type

SAN (*Storage Area Network*). Ces infrastructures sont lourdes à mettre en œuvre et sont généralement très onéreuses. Il est également nécessaire de coupler ce service à un système de facturation adaptée.

8 Conclusion et perspectives

Nous avons présenté la première phase de l'expérimentation du déploiement d'un réseau PON de type FTTH sur lequel nous voulons offrir un service triple play. Nous avons testé et validé les éléments de base nécessaires à la mise en place d'une gestion de qualité de service. Nous avons mis en œuvre une solution de hiérarchisation des flux voix, vidéo et données. Cette solution permet de paramétrer statiquement le réseau afin de prendre en compte les éléments des contrats passés entre l'opérateur et ses clients. Il nous reste à présent à coupler ce paramétrage avec le système de gestion de l'opérateur afin de le rendre automatique.

L'évolution des services et de leur mode de consommation va nous amener à faire évoluer cette architecture afin qu'elle supporte une prise en compte dynamique des paramètres clients. Ceci permettra une mobilité dans le réseau. Les principaux points d'une telle démarche portent essentiellement sur la prise en compte d'éléments liés à la sécurité et à la qualité de service.

9 Références

[1] <http://www.arcep.fr/>

[2] <http://www.cablemodem.com/>

[3] G.Kramer, *On configuring Logical Links in EPON*, Teknovus white paper (<http://citeseer.ist.psu.edu/667808.html>)

[4] Russell Davey, Junichi Kani, Fabrice Bourgart, Kent McCammon, "*Options for future optical access networks*", IEEE Communications Magazine, vol. 44, no. 10, October 2006 pp. 50-56