جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاس
UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDALLAH DE FES
كلية العلوم ظهر المهراز فاس
FACULTE DES SCIENCES DHAR EL MEHRAZ FES

Formation Doctorale : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC)

Discipline : Physique

Spécialité : Informatique

Laboratoire : Electronique, Signaux, Systèmes et d'Informatique (LESSI)

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

EL HASSANE KHABBIZA

Contributions à l'Optimisation de la Bande Passante Unicast dans un Réseau IPTV

Soutenue le 10 Janvier 2020

Devant le jury composé de :

Pr. Moulhime EL BEKKALI	***ENSA, Fès***	***Président***
Pr. Abdellah IDRISSI	***FS, Rabat***	***Rapporteur***
Pr. Mounir RIFI	***EST, Casablanca***	***Rapporteur***
Pr. Farid ABDI	***FST, Fès***	***Rapporteur***
Pr. Said MAZER	***FSDM, Fès***	***Examinateur***
Pr. Rachid EL ALAMI	***FSDM, Fès***	***Co-Directeur***
Pr. Hassan QJIDAA	***FSDM, Fès***	***Directeur de thèse***

Je dédie ce travail à

mes parents

toute ma famille

et tous mes amis

Remerciements

Avant de rentrer dans le corps de ce travail, je voudrais adresser quelques remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé ou soutenu pendant la durée de ma préparation de thèse. En premier lieu, je remercie chaleureusement Monsieur le professeur Hassan Qjidaa, mon directeur de thèse, qui m'a accepté comme doctorant et qui a su me laisser une réelle autonomie, tout en me guidant et en m'apportant l'aide et les moyens nécessaires au bon déroulement de ma thèse. Sa disponibilité permanente, ses conseils et soutien et sa bonne humeur quasi quotidienne m'ont énormément aidé à effectuer ce travail.

Mes vifs remerciements vont également à mon co-encadrant Monsieur le professeur Rachid EL Alami qui m'a encadré et qui n'a ménagé ni son temps ni son énergie pour m'aider à élaborer ce travail.

J'exprime ma gratitude envers Monsieur le professeur El Bekkali Moulhime qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider le jury de cette thèse. Je remercie également Monsieur le professeur Idrissi Abdellah, Monsieur le professeur Rifi Mounir et Monsieur le professeur Abdi Farid d'avoir accepté la lourde tâche de rapporter d'une manière détaillée ce mémoire. Je les remercie pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce manuscrit ainsi que pour leurs remarques constructives et encourageantes. Je remercie également Monsieur le professeur Mazer Said pour avoir examiné ce travail.

Ensuite je voudrais remercier Monsieur Boumhidi Ismail, professeur et directeur du laboratoire (LESSI) à la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz – Fès. Je le remercie de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire.

Je voudrais aussi remercier tout particulièrement mes camarades du laboratoire LESSI. En particulier je tiens à remercier mon camarade Monsieur Hicham Karmouni.

Je tiens à remercier tous les professeurs qui m'ont enseigné depuis mon entrée en primaire jusqu'à aujourd'hui où je me présente à vous, en vue de l'obtention de mon doctorat.

Enfin, une pensée particulière et pleine de gratitude à mes parents et à toute ma famille.

Résumé

Dans le cadre de cette thèse, nous concentrons notre attention sur l'optimisation de la bande passante IPTV (Internet Protocol Television) au niveau des réseaux offrant des liaisons d'accès très haut débit. Nous proposons deux nouvelles solutions pour réduire la consommation de la bande passante allouée aux services FCC (Fast Channel Change) et TSTV (Time Shift TV).

Les deux solutions sont basées sur l'implémentation de quelques fonctionnalités des serveurs TSTV et FCC sur le décodeur STB (Set Top Box) du client. Les serveurs TSTV et FCC peuvent gérer et contrôler les STBs et en même temps assurer leur fonction principale consistant à fournir le flux IPTV aux clients. Le flux de la chaine IPTV demandée par le client sera décodé et affiché sur l'écran de la télévision, et sera stcoké en même temps sur le STB pendant quelque temps pour qu'il soit disponible localement au cas où les STBs voisins (STBs appartenant au même nœud d'accès) demanderaient le même flux.

Les STBs peuvent partager ce flux entre eux en unicast (via le nœud d'accès) sans avoir besoin de demander l'assistance des serveurs FCC et TSTV, ce qui permet de réduire la consommation de la bande passante unicast au niveau du réseau.

Mot clés : IPTV, FCC, TSTV, STB, Haut débit, Unicast, Bande passante.

Abstract

In this thesis, we focus on the issues related to improving IPTV (Internet Protocol Television) bandwidth utilization in a high-speed access network. We propose two new solutions to reduce the bandwidth occupancy of the FCC (Fast Channel Change) and TSTV (Time Shift TV) services.

The proposed solutions based on a peer-assisting content delivery model, a solution in which the user's STB (Set Top Box) assist the central FCC and TSTV servers in the service fulfilment. For this purpose, for each FCC or TSTV request, the STB will be receiving the service traffic from a neighbour STB (STB connected to the same access network node) instead of the central servers. By using these methods, the unicast traffic will not pass through the IP network, it will be a peer-to-peer communication through the access network node only.

Key words: IPTV, FCC, TSTV, STB, High speed, Unicast, Bandwidth.

Table des matières

Remerciements **3**
Résumé **5**
Abstract **6**
Table des matières **7**
Liste des figures **11**
Abréviations **14**
Introduction générale **18**
1 Contexte et motivations 18
2 Applications 19
3 Contributions scientifiques 21
4 Organisation du document 22
5 Publications retenues 23
Chapitre 1 ..... **27**
Introduction à l'IPTV **27**
1.1 Introduction 27
1.2 Architecture générale d'un réseau IPTV 29
1.2.1 Couche de gestion 29
1.2.2 Couche réseau 30
1.2.3 Couche d'accès 30
1.3 Serveurs IPTV 30
1.3.1 Plateforme IPTV 30
1.3.2 Serveur VOD 31
1.3.3 Serveur TSTV 31

1.4 Nœuds et terminaux d'accès 32
1.4.1 Serveur d'accès 32
1.4.2 Nœud d'accès (AN) 33
1.4.3 Set-Top-Box (STB) 33
1.5 Services offerts par l'IPTV 33
1.5.1 Télévision en direct (BTV) 34
1.5.2 Vidéo à la demande (VOD) 35
1.5.3 Télévision à rattrapage (TSTV) 37
1.6 Routage unicast 37
1.6.1 Protocole OSPF 39
1.6.2 Protocoles BGP 39
1.7 Routage multicast 40
1.7.1 Protocole IGMP 42
1.7.2 Protocole PIM 44
1.8 Protocoles de Transport 47
1.8.1 Protocole RTP 47
1.8.2 Protocole RTCP 48
1.8.3 Protocole RTSP 48
1.9 Conclusion 49
Chapitre 2 50
Protocoles et technologies d'accès 50
2.1 Introduction 50
2.2 Protocole PPPOE 52
2.2.1 Introduction au protocole PPPoE 52
2.2.2 Option PPPoE+ 53
2.3 Protocole DHCP 55
2.3.1 Introduction au protocole DHCP 55

2.3.2 Option DHCP Option 82 56
2.4 Technologie GPON 58
2.5 Technologie VDSL 60
2.6 Conclusion 61
Chapitre 3 63
Délai de changement de chaines IPTV 63
3.1 Introduction 63
3.2 Group of Pictures (GOP) 64
3.3 Délai de changement de chaînes BTV 66
3.4 Techniques de réduction du délai de changement de chaines IPTV 70
3.4.1 Réduction du délai d'acquisition d'images I 70
3.4.1.1 Ajout d'un flux supplémentaire. 70
3.4.1.2 Insertion des images I supplémentaires et réduction de la taille du GOP 72
3.4.2 Techniques de prédiction des chaines 73
3.4.3 Techniques basées sur le codage vidéo évolutif 74
3.4.4 Techniques basées sur le protocole IGMP 75
3.4.5 Solution FCC 76
3.5 Conclusion 78
Chapitre 4 79
Contribution 1 : Optimisation de la bande passante FCC 79
4.1 Introduction 79
4.2 Solution proposée pour optimiser la bande passante FCC 81
4.3 Principe de fonctionnement de la solution proposée 84
4.4 Algorithme de sélection du STB source (Serveur FCC local) 87
4.5 Evaluation de performances 92
4.6 Conclusion 96

Chapitre 5 97

Contribution 2 : Optimisation de la bande passante TSTV 97

5.1 Introduction 97

5.2 Solution proposée pour optimiser la bande passante TSTV 100

5.3 Principe de fonctionnement de la solution proposée 103

5.4 Algorithme de sélection du STB source (Serveur TSTV local) .. 106

5.5 Evaluation de performances 107

5.5.1 Simulation sur GNS3 107

5.5.1.1 Environnement de simulation 107

5.5.1.2 Topologie 109

5.5.1.3 Simulation du service BTV 110

5.5.1.4 Simulation du service TSTV existant 112

5.5.1.5 Simulation de la solution TSTV proposée 115

5.5.2 Simulation sur Matlab 118

5.6 Conclusion 119

Conclusions et Perspectives 121

1 Conclusion générale 121

2 Perspectives et travaux futurs 122

Références bibliographiques 124

Liste des figures

Figure 1-1 : Topologie d'un réseau IPTV 29
Figure 1-2 : Fonctionnement du service BTV 34
Figure 1-3 : Fonctionnement du service VOD 35
Figure 1-4 : Fonctionnement du service TSTV 36
Figure 1-5 : Topologie type d'un réseau OSPF 38
Figure 1-6 : Topologie des interconnexions ASs d'un réseau BGP 40
Figure 1-7 : Fonctionnement du protocole IGMP. 42
Figure 1-8 : Fonctionnement du protocole PIM-SM. 45
Figure 2-1 : Etablissement d'une session PPPoE 53
Figure 2-2 : Réseau PPPoE+ 54
Figure 2-3 : Fonctionnement du protocole PPPoE+. 54
Figure 2-4 : Affectation d'adresses IP en utilisant DHCP 56
Figure 2-5 : Relais DHCP Option 82. 57
Figure 2-6 : Fonctionnement du DHCP Option 82. 58
Figure 2-7 : Schéma d'un réseau GPON 58
Figure 2-8 : Trafic montant et descendant dans un réseau GPON, (a) Sens descendant, (b) sens montant 59
Figure 2-9 : Plan de fréquences ADSL2+ et VDSL 60
Figure 2-10 : Plan de fréquences VDSL2 61
Figure 3-1 : Exemple d'une structure de Group of Pictures 65
Figure 3-2 : Différentes composantes du délai de changement de chaines 67
Figure 3-3 : Délai moyen de chaque composante de délais de changement de chaines 70

Figure 3-4 : Flux supplémentaires pour réduire le délai de changement de chaines 71

Figure 3-5 : Pré-demande des chaines pour réduire le délai de changement de chaines 73

Figure 3-6 : Technique SVC pour réduire le délai de changement de chaines 75

Figure 3-7 : Architecture de la solution FCC 76

Figure 3-8 : Principe de fonctionnement d'une solution FCC 77

Figure 4-1 : Trafic FCC au niveau d'un nœud d'accès 80

Figure 4-2 : Déploiement des serveurs FCC régionaux 81

Figure 4-3 : Solution proposée pour optimiser la bande passante FCC 82

Figure 4-4 : Schéma de communication de la nouvelle solution FCC proposée 83

Figure 4-5 : Technique de localisation des STB 83

Figure 4-6 : Principe de fonctionnement de la nouvelle solution FCC proposée 85

Figure 4-7 : Etapes de la solution FCC proposée 88

Figure 4-8 : Base de données FCCC 89

Figure 4-9 : Exemple d'une base de données FCCC 89

Figure 4-10 : Consommation de la bande passante FCC avant et après l'utilisation de la nouvelle solution 92

Figure 4-11 : Consommation de la bande passante FCC en fonction du nombre de chaines BTV 93

Figure 4-12 : Consommation de la bande passante FCC en fonction du nombre de clients 94

Figure 4-13 : Comportement de la bande passante FCC en fonction de la durée moyenne de visionnage 94

Figure 5-1 : Fonctionnement de la solution TSTV proposée 101

Figure 5-2 : Schéma de communication de la nouvelle solution TSTV 102

Figure 5-3 : Exemple d'une base de données TSTV 102

Figure 5-4 : Mise à jour de la base de données TSTV 104
Figure 5-5 : Technique de localisation des STBs 104
Figure 5-6 : Etapes de la nouvelle solution TSTV 105
Figure 5-7 : Algorithme de sélection des serveurs TSTV locaux (STBs)..... 107
Figure 5-8 : Réseau IPTV typique simulé sur GNS3..... 109
Figure 5-9 : Trafic BTV sortant de la source BTV..... 110
Figure 5-10 : Trafic BTV reçu par STB1 111
Figure 5-11 : Simulation du service BTV sur GNS3..... 112
Figure 5-12 : Trafic TSTV sortant du serveur TSTV 113
Figure 5-13 : Trafic TSTV reçu par l'utilisateur 2..... 113
Figure 5-14 : Simulation du service TSTV existant..... 114
Figure 5-15 : Simulation de la solution TSTV proposée. 114
Figure 5-16 : Enregistrement du flux BTV reçu par STB1. 115
Figure 5-17 : l'utilisateur 1 remplace le serveur TSTV pour envoyer le flux TSTV vers l'utilisateur 2 116
Figure 5-18 : Absence du trafic au niveau du serveur TSTV central 117
Figure 5-19 : Trafic TSTV sortant du STB1 (Serveur TSTV local)..... 117
Figure 5-20 : Trafic TSTV reçu par STB2 118
Figure 5-21 : Simulation de la bande passante avant et après l'implémentation de la nouvelle solution TSTV 119

Abréviations

AC	:	Access Concentrator
ACK	:	Acknowledgement
ADSL	:	Asymmetric Digital Subscriber Line
AGR	:	Aggregation Router
AN	:	Access Node
ANSI	:	American National Standards Institute
AS	:	Autonomous System
ATM	:	Asynchronous Transfer Mode
BDR	:	Backup Designated Router
BGP	:	Border Gateway Protocol
BNG	:	Broadband Network Gateway
BRAS	:	Broadband Remote Access Server
BTV	:	Broadcast Television
CCT	:	Channel Change Time
CHAP	:	Challenge Handshake Authentication Protocol
DHCP	:	Dynamic Host Configuration Protocol
DMT	:	Discrete Multi-Tone
DNS	:	Domain Name System
DR	:	Designated Router
DSL	:	Digital Subscriber Line
DSLAM	:	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DVR	:	Digital Video Recorder
EGP	:	Exterior Gateway Protocol
EPG	:	Electronic Programme Guide
ETSI	:	European Telecommunications Standards Institute
FCC	:	Fast Channel Change
FCCC	:	Fast Channel Change Controller

FEC	:	Forward Error Correction
FTTB	:	Fiber To The Building
FTTC	:	Fiber To The Curb
FTTx	:	Fiber To The …
GNS3	:	Graphical Network Simulator 3
GOP	:	Group Of Pictures
GPON	:	Gigabit Passive Optical Network
HDTV	:	High Definition TV
HG	:	Home Gateway
ICMCS	:	International Conference on Multimedia Computing and Systems
ID	:	Identifier
IEEE	:	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IGMP	:	Internet Group Management Protocol
IGP	:	Interior Gateway Protocol
IGRP	:	Interior Gateway Routing Protocol
IP	:	Internet Protocol
IPTV	:	Internet Protocol Television
ISCV	:	Intelligent Systems and Computer Vision
IS-IS	:	Intermediate system to intermediate system
LAN	:	Local Area Network
LSA	:	Link State Advertisements
MAC	:	Media Access Control Address
MPEG	:	Moving Picture Experts Group
MSAN	:	Multi-Service Access Node
OLT	:	Optical Line Termination
ONU	:	Optical Network Unit
OSPF	:	Open Shortest Path First
PADI	:	PPPoE Active Discovery Initiation
PADO	:	PPPoE Active Discovery Offer
PADR	:	PPPoE Active Discovery Request
PADS	:	PPPoE Active Discovery Session-confirmation

PADT	:	PPPoE Active Discovery Termination
PAP	:	Password Authentication Protocol
PIM	:	Protocol Independent Multicast
PIM DM	:	PIM Dense Mode
PIM SM	:	PIM Sparse Mode
PIM-SSM	:	PIM Source-Specific Multicast
PON	:	Passive Optical Network
PPP	:	Point-to-Point Protocol
PPPOE	:	Point-to-Point Protocol Over Ethernet
PTM	:	Packet Transfer Mode
QOE	:	Quality Of Experience
QPSK	:	Quadrature Phase Shift Keying
RADIUS	:	Remote Authentication Dial-In User Service
RIP	:	Routing Information Protocol
RP	:	Rendez-vous Point
RPT	:	Root Path Tree
RTCP	:	Real-time Transport Control Protocol
RTP	:	Real-Time Transport Protocol
RTSP	:	Real Time Streaming Protocol
SDTV	:	Standard Definition Television
SPT	:	Shortest Path Tree
STB	:	Set-Top Box
SVC	:	Scalable Video Coding
TCP	:	Transmission Control Protocol
TDMA	:	Time Division Multiple Access
TSTV	:	Time Shift Television
TV	:	Television
UDP	:	User Datagram Protocol
UIT	:	Union Internationale des Télécommunications
VDSL	:	Very High Bit Rate Digital Subscriber Line
VLC	:	VideoLan Client
VOD	:	Video On Demand

VQE : Visual Quality of Experience

Introduction générale

Dans les dix dernières années, la naissance de la télévision numérique a laissé sa marque sur le monde audiovisuel. Aujourd'hui, des nouvelles solutions de livraison commencent à faire bouger les opérateurs télécoms, la télévision sur IP (IPTV). L'IPTV est capable d'offrir plus d'interactivité, le droit au choix du contenu aux utilisateurs et apporte une bonne dose de concurrence dans le domaine de la vente TV [1].

L'IPTV a bénéficié de l'expansion du réseau IP ainsi que le progrès réalisé au niveau des réseaux d'accès (xDSL et FTTx) en termes de débit et de qualité de service. Un tel progrès a permis à l'IPTV d'offrir plusieurs services basés sur la livraison du contenu vidéo et services liés répondant aux besoins traditionnels des consommateurs en plus des services uniques que seule l'IPTV peut offrir (VOD, TSTV…).

1 Contexte et motivations

Un système IPTV est un système capable d'envoyer, de recevoir et d'afficher un flux vidéo codé comme une série de paquets IP. L'IPTV fonctionne sur le téléviseur avec un décodeur (STB) qui accède aux chaînes, services à la demande et autres services multimédias interactifs sur un réseau de données IP à large bande sécurisé géré par l'opérateur de bout en bout avec la qualité de service souhaitée.

L'avantage de cette solution est que l'on peut réutiliser le réseau fixe en place pour utiliser l'IPTV et que l'on peut dès lors mutualiser les services sur un seul accès fixe (ADSL, Ethernet, GPON…). De nombreux opérateurs télécoms fournissent déjà ce service inclus pour la plus-part dans l'offre internet triple play (Internet, Téléphone et Télévision).

Avec la télévision par satellite, les téléspectateurs ne peuvent regarder que les programmes diffusés par les différentes chaînes. Contrairement à l'IPTV qui donne aux clients l'avantage et la possibilité d'être en mesure de choisir le programme qu'ils veulent regarder.

Le terme IPTV regroupe plusieurs types de services tels que la télévision en direct BTV (Broadcast TV), la vidéo à la demande VOD (Video On Demand), télévision à rattrapage TSTV (Time Shift TV) ou encore la navigation vidéo.

Ces services sont livrés au client final via deux différentes technologies, Unicast et Multicast. Le Multicast est utilisé pour la livraison du flux BTV puisque plusieurs clients demandent simultanément la même copie de flux, et l'unicast pour livrer les flux TSTV et VOD.

2 Applications

Contrairement à la télévision en propagation électromagnétique qui permet de recevoir le signal de manière quasi instantanée. Le temps de changement de chaines BTV est généralement long (Channel Switching Time), Ceci est dû au fait que l'utilisateur ne reçoit qu'une chaîne par manque de la bande passante.

La rapidité de changement de chaines dépend du :

- Temps de traitement de la demande de changement de chaine.
- Délai réseau : le délai entre la transmission du message IGMP (Internet Group Management Protocol) et la réception du flux vidéo.
- Délai de mise en mémoire tampon.
- Délai de synchronisation vidéo.

Le délai de synchronisation représente une part importante du temps de changement de chaînes, c'est pour cela plusieurs chercheurs se sont focalisés sur ce type de délai afin d'essayer de le réduire. Le délai de synchronisation est généralement lié au fait que lorsque le STB reçoit le premier paquet du groupe de multicast récemment demandé, le STB doit attendre l'arrivée de la prochaine image de référence I pour pouvoir commencer le décodage,

La solution FCC (Fast Channel Change) est la technique la plus répandue et la plus déployée par les opérateurs télécoms pour réduire le délai de synchronisation, cette technique se base sur l'envoie d'un flux (contenant l'image I) en unicast au STB après chaque demande de changement de chaine, dans ce cas, le STB peut commencer le décodage du flux vidéo immédiatement sans être obligé d'attendre le prochain flux de référence.

Cette solution consiste à déployer un serveur FCC au niveau du réseau cœur IP capable de recevoir et stocker instantanément le trafic de toutes les chaines BTV pour l'envoyer après aux clients qui sont en train de changer les chaines.

Les chaines IPTV sont diffusées en multicast, qui est très bien dimensionné vis-à-vis de l'augmentation du nombre d'abonnés. En revanche, les contenus TSTV, VOD et FCC sont généralement diffusés en unicast, ce qui impose une lourde charge aux serveurs et à tous les composants du réseau surtout quand la demande augmente [2]. Avec la croissance rapide du nombre d'abonnés IPTV et le changement des habitudes de visionnage de la vidéo, les fournisseurs de services IPTV et les intervenants associés ont grand besoin de réduire efficacement l'énorme bande passante du trafic unicast et de trouver des nouvelles alternatives pour la diffusion du contenu [3], [4].

3 Contributions scientifiques

L'objectif des travaux réalisés tout au long de la préparation de cette thèse est donc d'étudier les différentes solutions proposées pour réduire le délai de changement de chaines et de se focaliser précisément sur la solution FCC afin proposer des nouvelles solutions pour réduire la consommation de la bande passante unicast.

La première contribution présentée dans cette thèse porte sur l'optimisation du trafic FCC, notre solution consiste à implémenter les capacités et les fonctionnalités du serveur FCC au niveau des STB des clients en parallèle avec le serveur FCC central. Le serveur FCC fonctionne dans ce cas comme contrôleur des STBs et en même temps assure sa fonction principale, qui consiste à fournir le flux FCC. Après la réception du flux d'une chaine, le STB le décode et l'affiche sur l'écran de l'utilisateur et en même temps il met ce flux dans son cache pendant quelques secondes pour le transmettre après à un autre STB voisin au cas où ce dernier demanderait la même chaine.

La deuxième contribution consiste à réduire le trafic TSTV, cette solution est basée sur l'implémentation d'une partie des fonctionnalités du serveur TSTV sur chaque STB utilisateur, dans ce cas le serveur TSTV va jouer le rôle d'un contrôleur des STBs et en même temps va assurer la livraison du contenu TSTV. Le flux des chaines BTV demandé par l'utilisateur sera stocké localement sur le STB pendant quelque temps pour qu'il soit disponible au cas où d'autres STBs voisins (STBs appartenant au même AN) demanderaient le même flux.

Les deux améliorations proposées sont évaluées et simulées en utilisant les logiciels Matlab et GNS3. Il est vérifié que les améliorations faites ont un impact significatif sur le taux de charge de la bande passante unicast consommée par les services TSTV et FCC.

4 Organisation du document

Ce mémoire est composé de cinq chapitres outre l'introduction générale et la conclusion. Les grandes lignes de chaque chapitre de cette thèse se présentent comme suit.

Le premier chapitre introduit les différentes notations et concepts nécessaires à la compréhension des chapitres suivants. Il a pour objectif de présenter, tout d'abord, le système IPTV, les différents services offerts et les protocoles de routage unicast (OSPF et BGP) et multicast (PIM et IGMP) nécessaires pour le routage du flux depuis les serveurs IPTV jusqu'au client final, ainsi, les protocoles de transport multimédia (RTP, RTCP et RSTP) utilisés pour le transport et le control des flux vidéo demandés.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les protocoles d'accès DHCP et PPPOE nécessaires pour permettre aux opérateurs et fournisseurs IPTV de gérer efficacement le trafic et les accès des STBs clients. Ces deux protocoles possèdent des extensions de sécurité supplémentaires, qui sont les options PPPOE+ et DHCP option 82 [5] que nous allons exploiter pour optimiser la bande passante unicast dans les réseaux IPTV .

Nous avons développé dans le troisième chapitre la notion de délai de changement de chaines IPTV ainsi les différentes solutions proposées pour le réduire y compris la fameuse solution FCC.

Dans le quatrième et le cinquième chapitre nous avons présenté les deux contributions proposées pour réduire la consommation de la bande passante des services TSTV et FCC en se basant sur le principe de partage des flux entre les STBs voisins.

Finalement, la conclusion générale de ce travail synthétisera les différentes idées présentées dans ce document et introduira également les perspectives et travaux futurs.

5 Publications retenues

Les travaux qui ont été effectués tout au le long de cette thèse ont donné lieu aux publications suivantes :

Aux Journaux Internationaux :

- **El Hassane Khabbiza**, Rachid El Alami and Hassan Qjidaa; "Peer-Assisted Content Delivery to Reduce the Bandwidth of TSTV Service in IPTV System"; in International Journal of Digital Multimedia Broadcasting 2019

Abstract – With great technologies, emerge new needs and requirements. The progress achieved in Access broadband rates accentuated the demand on IPTV (Internet Protocol Television) services specially Video on Demand (VOD) and Time Shift TV (TSTV) which led subsequently to a great need for efficiency in the use of bandwidth consumed by those services. Optimization solutions are considered by IPTV service providers to lighten the service load especially on Access Nodes uplinks. This paper describes an optimization of TSTV dedicated bandwidth based on a peer-assisting TSTV content delivery, a solution in which the user's STBs (set-top-boxes) assist the central TSTV servers in the service fulfilment. For this purpose, for each TSTV request, the STB will be receiving the TSTV stream from a neighbour STB instead of the central server. By using this method, the unicast traffic will not pass through the IP network; it will be a peer-to-peer communication within the access network. Extensive simulation results were included to illustrate the validity of the proposed new solution.

- **El Hassane Khabbiza**, Rachid El Alami and Hassan Qjidaa; "A Novel Approach to Reduce the Unicast Bandwidth of an IPTV System in a High-Speed Access Network"; in International Journal of Digital Multimedia Broadcasting 2017.

Abstract – Channel change time is a critical quality of experience (QOE) metric for IP-based video delivery systems such as Internet Protocol Television (IPTV). An interesting channel change acceleration scheme based on peer-assisted delivery was recently proposed, which consists of deploying one FCC server (Fast Channel Change Server) in the IP backbone in order to send the unicast stream to the STB (Set-Top Box) before sending the normal multicast stream after each channel change. However, deploying such a solution will cause high bandwidth usage in the network because of the huge

unicast traffic sent by the FCC server to the STBs. In this paper, we propose a new solution to reduce the bandwidth occupancy of the unicast traffic, by deploying the FCC server capabilities on the user STB. This means that, after each channel change request, the STB will receive the unicast traffic from another STB instead of the central server. By using this method, the unicast traffic will not pass through the IP network; it will be a peer-to-peer communication via the Access Network only. Extensive simulation results are presented to demonstrate the robustness of our new solution.

Aux Conférences Internationales :

- **El Hassane Khabbiza,** Rachid El Alami and Hassan Qjidaa; "A new solution to optimize the time shift TV bandwidth»; in Proc. of IEEE 5th International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS), Oct 2016, Marrakech.

Abstract: Internet Protocol (IPTV) is becoming more and more widely used to provide video and audio services for a huge number of users, thanks to the IP network expansion, quality of content, and added value service for enhancing user experience comparing with traditional TV. The channel change time (CCT) during the channel surfing is a key factor impacting the quality of experience of end user especially when the user compares this delay with the traditional TV (cable TV or TV over satellite). A few years ago, many researches have been done in this domain to mitigate the IPTV CCT and improve the user experience, one of the most deployed solution is the implementation of the fast channel change solution (FCC) in the network in order to unicast the needed stream during the CCT. In this paper we propose a new solution by enabling the communication between STBs to unicast the stream needed during the channel change period.

- **El Hassane Khabbiza**, Rachid El Alami and Hassan Qjidaa; "A new method to reduce the bandwidth of IPTV systems»; in Proc. of IEEE International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV), April 2018, Fez

Abstract: With the rapid growth of IPTV (Internet Protocol Television), the need to efficiently disseminate the large volumes of IPTV unicast services such video on Demand (VOD) and Time shift TV (TSTV) has prompted IPTV service providers to search for new solutions to optimize the video bandwidth and service load. This paper describes a new peer-assisted solution to optimize the TSTV bandwidth, a solution that uses the users Set-Top-Boxes (STB) to assist the central TSTV servers in the content delivery, this mean that, after each TSTV request, the STB will receive the TSTV stream from another STB instead of the central server by using this method the unicast traffic will not pass through the IP network, it will be a peer to peer communication via the Access Network only. Extensive simulation results have presented to demonstrate the robustness of our new solution.

Chapitre 1

Introduction à l'IPTV

1.1 Introduction

Le monde de la TV est en cours de transformation de la télévision analogique à la télévision numérique, qui est capable de diffuser des contenus de haute qualité, offrir aux consommateurs davantage de choix, et rendre l'expérience de visualisation plus interactive .L'IPTV (Internet Protocol TV) présente une révolution dans la télévision numérique dans lequel les services de télévision numérique sont fournis aux utilisateurs en utilisant le protocole Internet (IP) au-dessus d'une connexion haut débit. Les progrès de la technologie IPTV permettra donc un nouveau modèle de fourniture de services. Les fonctions offertes aux utilisateurs leur permettent de plus en plus d'autonomie et de plus en plus de choix. Il en est notamment ainsi de services de type :

- **BTV (Broadcast TV)** ou la télévision en direct : qui fournit un nombre important de chaines de télévision avec différentes qualités en temps réel.

- **TSTV (Time Shift TV)** ou télévision à rattrapage : qui permet à un utilisateur de visionner un programme de télévision en décalage par rapport

à sa programmation de diffusion.

- **VOD (Video on Demand)** ou vidéo à la demande : permettant de visionner un film, une émission ou un programme à toute heure et sur différentes plateformes.

Afin d'acheminer ces services vers le client final le réseau IPTV se base principalement sur le routage IP. Le routage IP est le mécanisme par lequel des chemins sont sélectionnés dans un réseau pour acheminer les données d'un expéditeur jusqu'à un ou plusieurs destinataires. Le routage est une tâche exécutée dans de nombreux réseaux, tels que le réseau téléphonique, les réseaux de données électroniques comme Internet, et les réseaux de transports IPTV. Sa performance est importante dans les réseaux décentralisés, c'est-à-dire où l'information n'est pas distribuée par une seule source, mais échangée entre des nœuds indépendants. C'est grâce à ça que par exemple le flux IPTV est envoyé aux bons destinataires.

En fonction du nombre de destinataires et de la manière de délivrer le message, on distingue deux types de routage :

- **Routage unicast :** qui consiste à acheminer les données vers une seule destination déterminée.

- **Routage multicast :** qui consiste à délivrer le message à l'ensemble des machines manifestant un intérêt pour un groupe**.**

Les paquets IPTV routés, sont soumis à plusieurs contraintes temporelles, de perte et de synchronisation. Pour cela, les fournisseurs IPTV utilisent souvent les fameux protocoles de transport RTP, RTCP et RTSP pour remédier à ces problèmes de synchronisation et de perte.

1.2 Architecture générale d'un réseau IPTV

Un réseau de distribution IPTV est composé de trois couches : la couche de gestion, la couche réseau et la couche d'accès comme illustré dans la figure 1-1 [6]–[10].

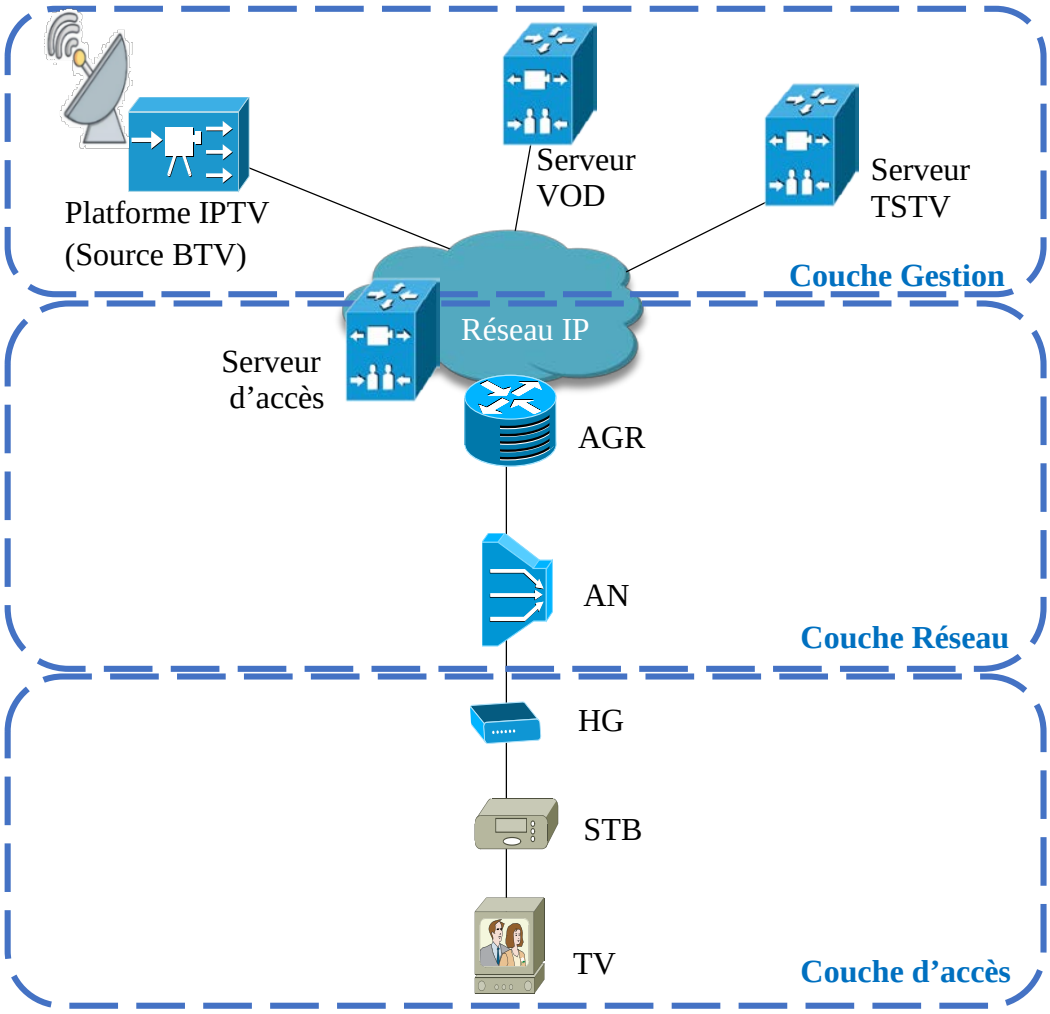

Figure 1-1 : Topologie d'un réseau IPTV

1.2.1 Couche de gestion

La couche de gestion est composée de la plateforme IPTV (source BTV), du serveur VOD et du serveur TSTV . Elle gère essentiellement le contenu, les

services et les abonnés, les données de consommation des services, effectue la facturation et établit des rapports statistiques.

1.2.2 Couche réseau

Cette couche est composée de différents équipements réseau (routeurs et switches) capables de transmettre le flux vers l'abonées final en fournissant les fonctions suivantes :

- Multicast à l'ensemble du réseau.
- Traduction des adresses réseau.
- Protection à travers des Firewalls (Pare feux).

1.2.3 Couche d'accès

Abrite les différents équipements et terminaux (décodeur STB et routeur Home Gateway HG) capables de recevoir et d'afficher le contenu IPTV demandé par l'utilisateur grâce à l'EPG (Electronic Program Guide).

1.3 Serveurs IPTV

1.3.1 Plateforme IPTV

Comme montré dans la figure 1-1 [11], la plateforme IPTV est formée de plusieurs éléments capables de recevoir le signal, le convertir et le transmettre aux clients via le réseau IP existant.

La plateforme IPTV se charge de trois opérations suivantes :

- Démodulation du signal en utilisant la norme QPSK.
- Cryptage des chaines.

- Codage en utilisant la norme MPEG-2 et MPEG-4.
- Encodage pour attribuer une adresse IP multicast à chaque chaîne BTV.
- Gestion des droits et privilèges.
- Gestion des données de consommation des services.

Pour les réseaux de petite ou moyenne taille, la plateforme IPTV peut abriter et gérer les différents serveurs de contenu TSTV, FCC et VOD. Mais pour les réseaux de grande taille et afin d'économiser les ressources de bande passante, ces serveurs de contenu sont généralement déployés au niveau de chaque région (une ville ou une zone géographique donnée).

1.3.2 Serveur VOD

Le serveur VOD est situé dans chaque zone requise pour fournir des services de livraison et de traitement vidéo sur demande pour une ville ou une zone géographique donnée. Chaque serveur de vidéo à la demande obtient le contenu de la plateforme IPTV et des sources de programmation locales. Ainsi, le serveur VOD est utilisé pour la distribution de ce contenu aux différents serveurs VOD régionaux.

Le flux VOD est distribué aux abonnées en unicast. Dans ce cas, chaque téléspectateur sera en mesure de mettre en pause, de relire et d'avancer rapidement les contenus vidéo.

1.3.3 Serveur TSTV

Le service TSTV (Time Shift TV) est l'un des services issus du service BTV, qui utilise la capacité de transmission bidirectionnelle du réseau IP. Le serveur TSTV permet aux utilisateurs d'une zone géographique donnée de

regarder des programmes déjà diffusés. Pendant la lecture des programmes de TSTV, les utilisateurs peuvent effectuer des opérations interactives telles que la pause, l'avancement rapide, la recherche et l'affichage de l'état et du temps.

Ce serveur peut être déployé soit au niveau central soit au niveau régional afin de réduire la consommation de la bande passante unicast. Plusieurs solutions IPTV déploient le serveur TSTV et VOD sur le même hardware puisque les deux services ont presque le même principe de fonctionnement.

1.4 Nœuds et terminaux d'accès

1.4.1 Serveur d'accès

Le serveur d'accès (Aussi appelé BRAS (Broadband Remote Access Server) ou BNG (Broadband Network Gateway)) est l'équipement du réseau qui fait l'interface entre le réseau d'accès et le backbone IP [12], [13]. Ce serveur est utilisé pour assurer l'établissement et la gestion des sessions d'accès. Lorsqu'une session est active, le serveur d'accès agrège le trafic provenant de différentes sessions d'abonné d'un réseau d'accès et le route vers le réseau de l'opérateur.

Les taches principales d'un serveur d'accès sont :

- Agréger le trafic en provenance des nœuds d'accès.
- Authentifier et comptabiliser les sessions des utilisateurs (contrôle d'accès), souvent via un autre serveur RADIUS .
- Etablir des sessions utilisateurs : PPPOE et DHCP.

1.4.2 Nœud d'accès (AN)

Un nœud d'accès ou AN (Access Node) est l'un des éléments clés d'un réseau IPTV. Le nœud d'accès que ce soit switch, DSLAM, MSAN ou OLT collecte les données de ses ports et combine leurs données et leur trafic en un signal composite complexe utilisant une méthode de multiplexage [14].

En fonction du type de produit et de la configuration, cet équipement connecte les lignes d'abonnés via les différents modes de transferts : ATM, PTM, Ethernet ou GPON.

1.4.3 Set-Top-Box (STB)

Un STB est un appareil multimédia qui sert d'interface entre un téléviseur et les différents serveurs IPTV. En plus du décodage et de diffusion de signal sur la télévision en direct, un STB permet d'accéder à d'autres services tels que la vidéo à la demande (VOD) et la télévision à rattrapage (TSTV).

Les STBs peuvent prendre en charge des fonctions supplémentaires telles que la navigation sur le Web, le courrier électronique etc…

Ces types de fonctionnalités avancées attirent les utilisateurs finaux, et permettent aux opérateurs de réseaux de commercialiser des nouvelles offres de services et permettent aux fabricants de STBs d'offrir une large gamme d'appareils [15], [16].

1.5 Services offerts par l'IPTV

La solution IPTV offre un large nombre de services interactifs qui ne cessent de se démultiplier à savoir [15], [17] :

1.5.1 Télévision en direct (BTV)

Le service BTV (Broadcast TV) offre à l'utilisateur la perspective d'un large choix et de commodité offrant des avantages particuliers au consommateur dans les zones où d'autres moyens de livraison sont difficiles à recevoir, non disponibles ou non autorisés, par exemple dans les zones urbaines denses où les antennes satellites et terrestres ne peuvent pas être installées, ou dans lesquelles l'émetteur n'est pas en visibilité directe. L'infrastructure de télécommunication permet généralement un large choix (plusieurs centaines) de chaînes BTV.

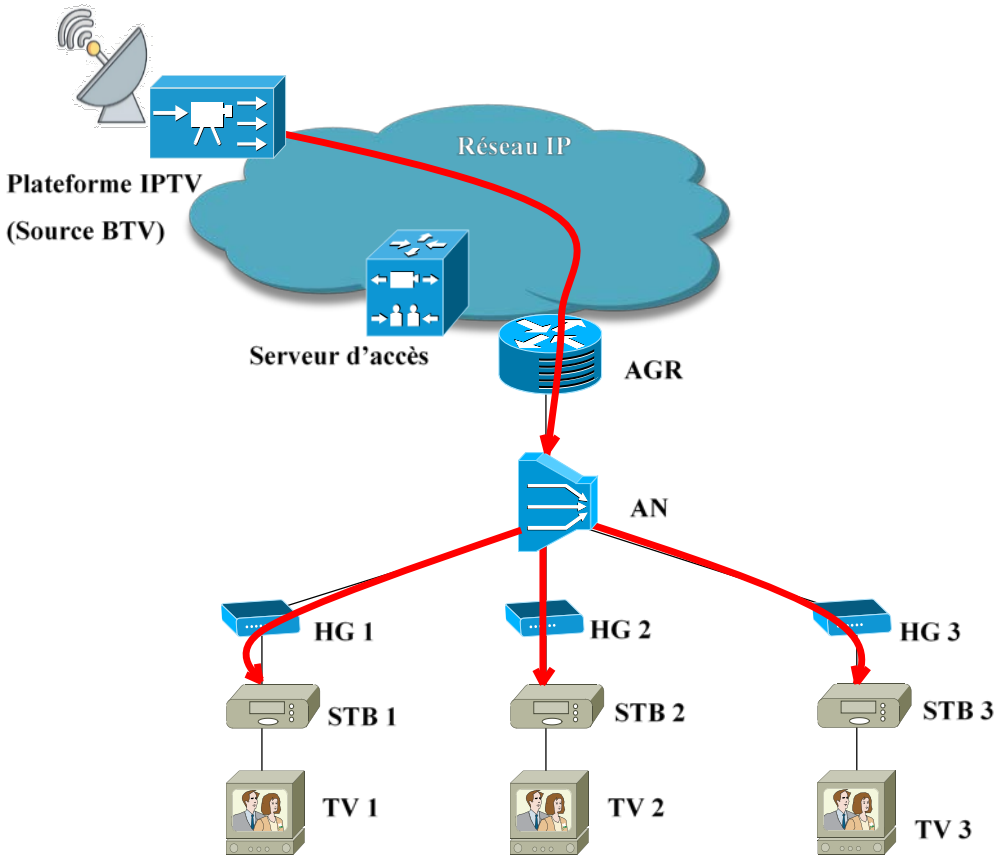

Figure 1-2 : Fonctionnement du service BTV

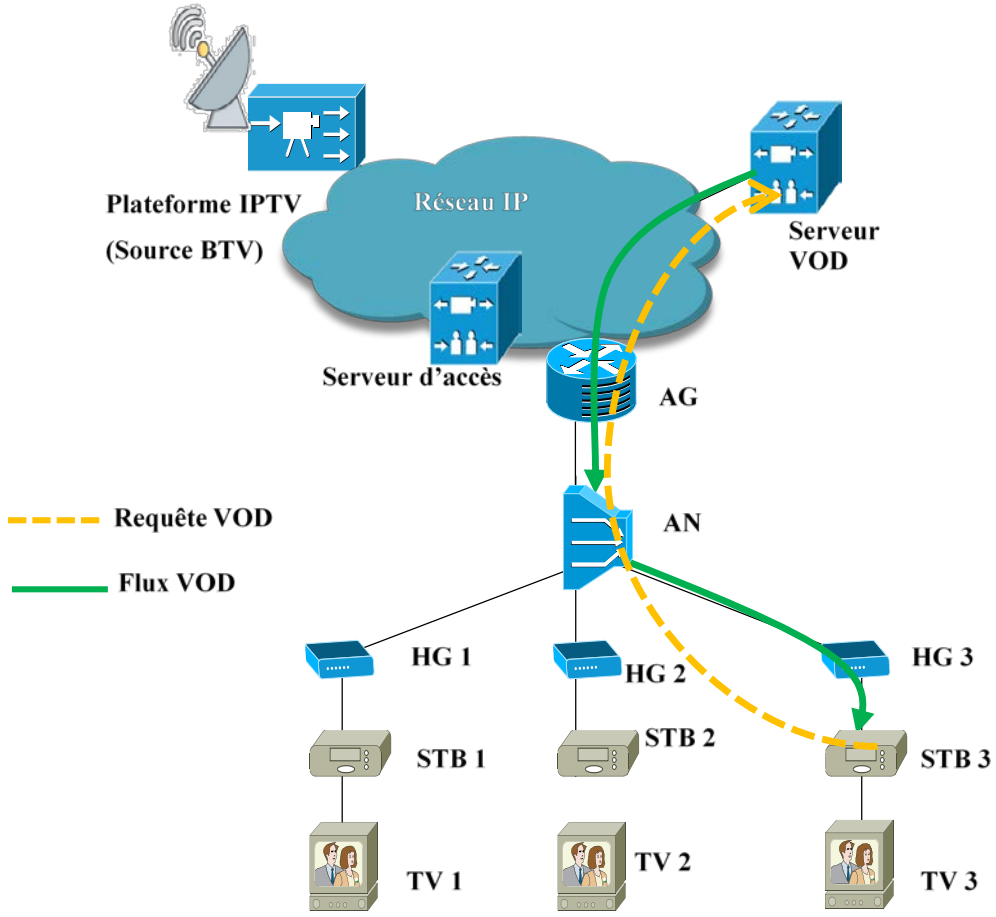

Figure 1-3 : Fonctionnement du service VOD

Pour diffuser des programmes de télévision pour un grand nombre d'abonnés intéressés par le même flux (figure 1-2), les fournisseurs de services IPTV peuvent utiliser la technologie multicast (Protocole PIM et IGMP), et le réseau de transport IPTV dispose de différents mécanismes pour assurer une distribution sécurisée et fiable des flux aux abonnés.

1.5.2 Vidéo à la demande (VOD)

Le service VOD (Video On Demand) permet aux utilisateurs de commander des films, documentaires ou encore des émissions de télévision à la demande, à l'heure souhaitée. Les clients apprécient la souplesse de la vidéo à la demande, offrant une grande liberté et un choix de plus en plus

phénoménal ; l'exact contraire des chaînes de télévision traditionnelles imposant leurs grilles de programmes et leurs horaires. Cette avancée importante pour la consommation culturelle s'est développée grâce à l'extension des accès très haut débit dans les foyers.

La diffusion VOD se fait en unicast (figure 1-3), la pile protocolaire IP/UDP/RTP [18]–[20] est toujours utilisée pour les contenus vidéo et audio. A cela s'ajoute le protocole de contrôle du streaming RTSP (Real Time Streaming Protocol) [21]. Ce protocole permet entre autres, d'utiliser les commandes suivantes : play, pause et record.

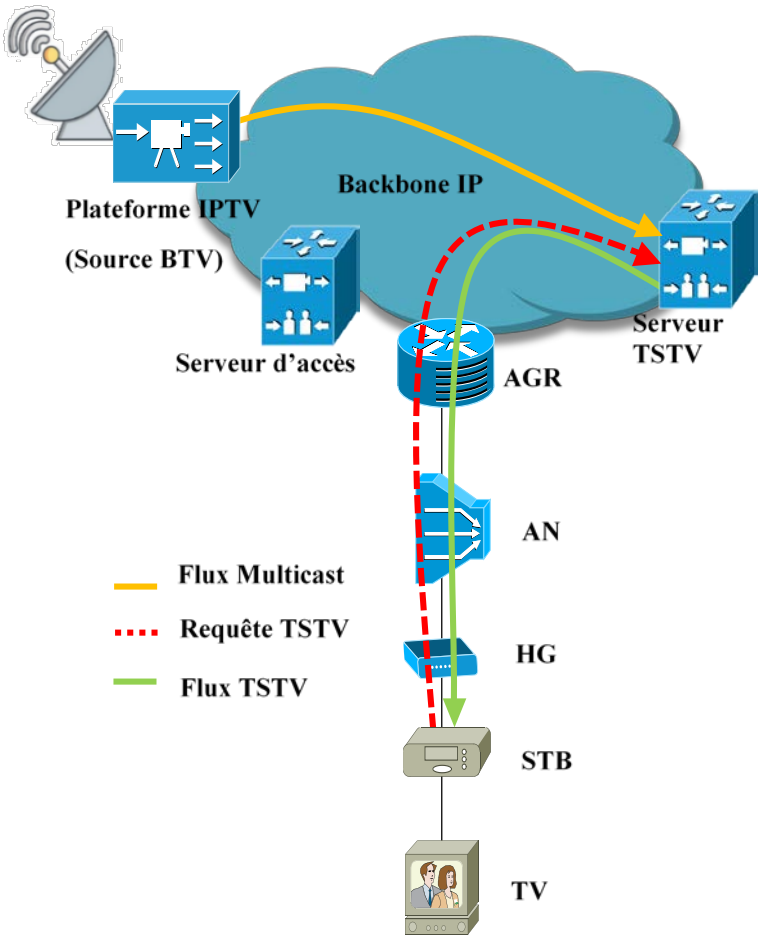

Figure 1-4 : Fonctionnement du service TSTV

1.5.3 Télévision à rattrapage (TSTV)

Le service TSTV (Time-Shift TV) permet aux utilisateurs de regarder les programmes qu'ils souhaitent après leur diffusion initiale en direct. Le serveur TSTV demande et enregistre automatiquement toutes les chaines BTV diffusées en directe (en multicast). Ces programmes peuvent ensuite être facilement récupérés par les utilisateurs qui peuvent les demander (en unicast) et les regarder à leurs guises (figure 1-4).

Cela contraste avec le DVR (Digital Video Recorder), qui demande aux utilisateurs de décider à l'avance des programmes qu'ils souhaitent regarder et de programmer explicitement leurs appareils pour les enregistrer. En outre, le DVR ne permet pas l'enregistrement de programmes concurrents alors que, avec la TSTV, tous les programmes diffusés au cours des derniers jours sur les chaînes couvertes par le service sont accessibles aux utilisateurs.

1.6 Routage unicast

D'une manière générale, tous les protocoles de routage ont pour objectif de maintenir les tables de routage du réseau dans un état intègre et cohérent. Pour y parvenir, les protocoles diffusent des informations de routage aux autres systèmes du réseau afin de transmettre les modifications des tables de routage. Ces protocoles réceptionnent en contrepartie les informations de routage des autres systèmes du réseau afin de mettre à jour les tables de routage [22], [23].

Le déploiement de réseaux IP de grande taille a rapidement nécessité la mise au point de protocoles de routage dynamiques chargés de déterminer le plus efficacement possible la meilleure route pour atteindre une destination

donnée. Il a aussi été nécessaire de découper le réseau en différents systèmes autonomes, ou AS (Autonomous System), afin de réduire cette complexité.

Ces considérations ont donné lieu à une classification des protocoles de routage dynamique en deux grandes familles :

Protocoles IGP (Interior Gateway Protocol), qui permettent d'échanger des informations d'accessibilité au sein d'un système autonome, parmi ces protocoles on trouve :

- OSPF (Open Shortest Path First) [24].
- IS-IS (Intermediate System to Intermediate Systems) [25].
- RIP (Routing Information Protocol) [26].
- IGRP (Interior Gateway Routing Protocol) [27].

Protocoles EGP (Exterior Gateway Protocol), qui permettent d'échanger des informations d'accessibilité entre systèmes autonomes. Le protocole EGP utilisé actuellement est le protocole BGP (Border Gateway Protocol) [28].

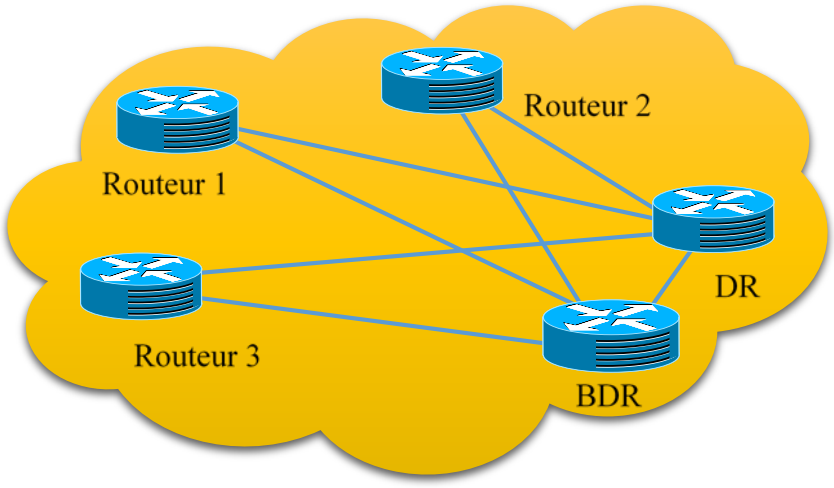

Figure 1-5 : Topologie type d'un réseau OSPF

Dans ce chapitre nous allons présenter seulement les protocoles OSPF et BGP puisqu'ils sont les protocoles les plus utilisés par les fournisseurs IPTV au niveau de leurs réseaux de transport IP.

1.6.1 Protocole OSPF

Open Shortest Path First (OSPF) est un protocole de routage interne IP de type « à état de liens » [29]. C'est un protocole standard et ouvert utilisé par plusieurs constructeurs. OSPF utilise l'algorithme de Dijkstra pour déterminer le meilleur chemin vers le réseau de destination.

Les DR (Designated Router) et BDR (Backup Designated Router) servent de point central pour diminuer la quantité de paquets LSA (figure 1-5) qui sont diffusés sur le réseau pour envoyer les mises à jour. Sans DR tous les routeurs enverraient les mises à jour à tous les routeurs et donc cela génèrerait un très grand nombre de messages inutiles. Avec l'utilisation de DR, tous les routeurs envoient les mises à jour uniquement aux DR/BDR et ce n'est que ceux-ci qui répercutent ces mises à jour aux autres routeurs.

1.6.2 Protocoles BGP

BGP s'appuie sur la couche TCP (port 179) pour établir une connexion TCP entre deux routeurs et échanger d'une manière dynamique les annonces de routes [30], [31].

Contrairement aux protocoles de routage IGP, le protocole BGP n'utilise pas de métrique classique mais fonde les décisions de routage sur les attributs des préfixes, chemins parcourus et un ensemble de règles de sélection définies par l'opérateur au niveau de chaque système autonome (AS). L'objectif principal de BGP n'est pas la performance (il converge lentement), son objectif

est d'échanger des informations de routage et d'accessibilité entre les différents systèmes autonomes (AS).

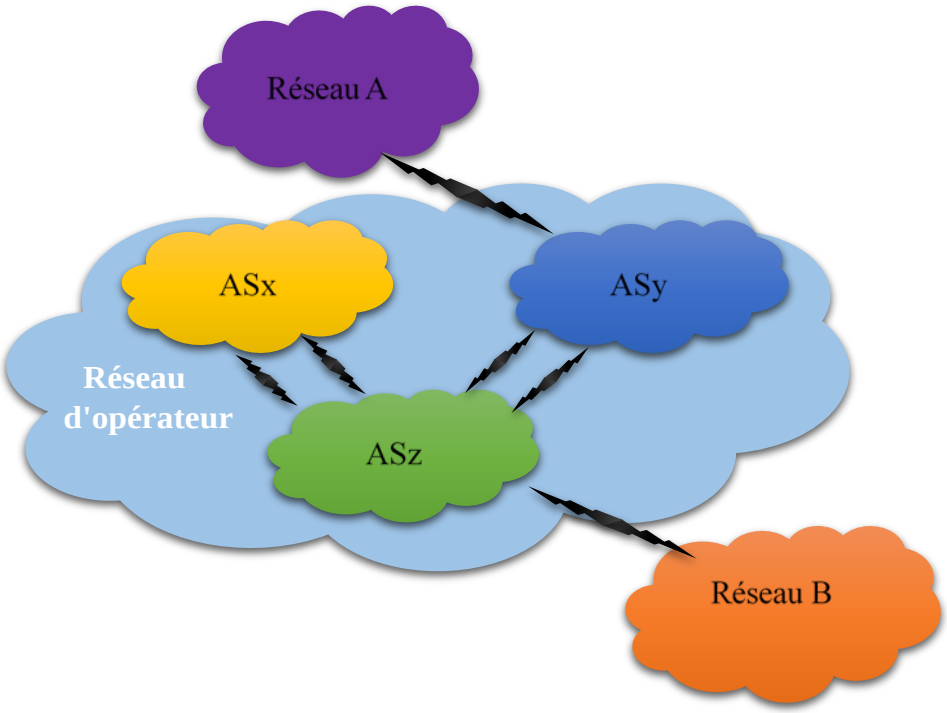

Figure 1-6 : Topologie des interconnexions ASs d'un réseau BGP

L'architecture montrée dans la figure 1-6 définit les différentes interconnexions entre systèmes autonomes. Le découpage en différents AS dépend de nombreux paramètres, tels que le nombre d'équipements réseau, la localisation géographique, etc….

1.7 Routage multicast

Dans les réseaux IP, les paquets sont généralement acheminés d'une seule source vers un seul récepteur, de proche en proche, par des routeurs (mode unicast IP). Cependant, pour les applications telles que la diffusion de contenus BTV nécessitant que les paquets IP soient délivrés à de multiples destinations, l'émission d'une copie de chaque paquet IP à chaque destinataire

atteint ses limites lorsque le nombre de récepteurs est important (la bande passante réseau nécessaire augmente, la même donnée étant transportée de multiples fois sur les mêmes liens) [23], [32].

Le multicast répond à cette problématique en fournissant une méthode efficace pour le transport des communications multipoint-à-multipoint. Ce mode de diffusion permet à une source d'émettre une seule copie de son trafic à destination de plusieurs récepteurs. C'est alors au réseau de répliquer de façon optimale le trafic au plus près des récepteurs en créant des arbres de distribution (arbre spécifique, arbre partagé).

Le multicast IP est de plus en plus couramment déployé, à la fois dans l'internet et dans les réseaux privés, pour fournir des services de diffusion de contenu multimédia nécessitant de diffuser des données de façon simultanée à un ensemble d'abonnés. Il permet d'économiser de précieuses ressources de bande passante et de capacités réseau et allège la charge des applications de diffusion, qui n'ont plus à émettre autant de copies du programme à diffuser qu'elles ont de destinataires.

Des protocoles très différents doivent être activés au niveau du réseau pour mettre en œuvre un service de diffusion multicast, notamment les suivants :

- Protocoles d'accès multicast tels que le protocole IGMP (Internet Group Management Protocol) [33], [34].
- Protocoles de routage multicast intra domaines tels que le protocole PIM-SM (Protocol Independant Multicast Sparse Mode) [35].

1.7.1 Protocole IGMP

IGMP (Internet Group Management Protocol) [33], [36] est un protocole qui permet d'échanger des informations d'appartenance aux groupes entre les clients qui veulent adhérer à un groupe et les routeurs de bordure [37].

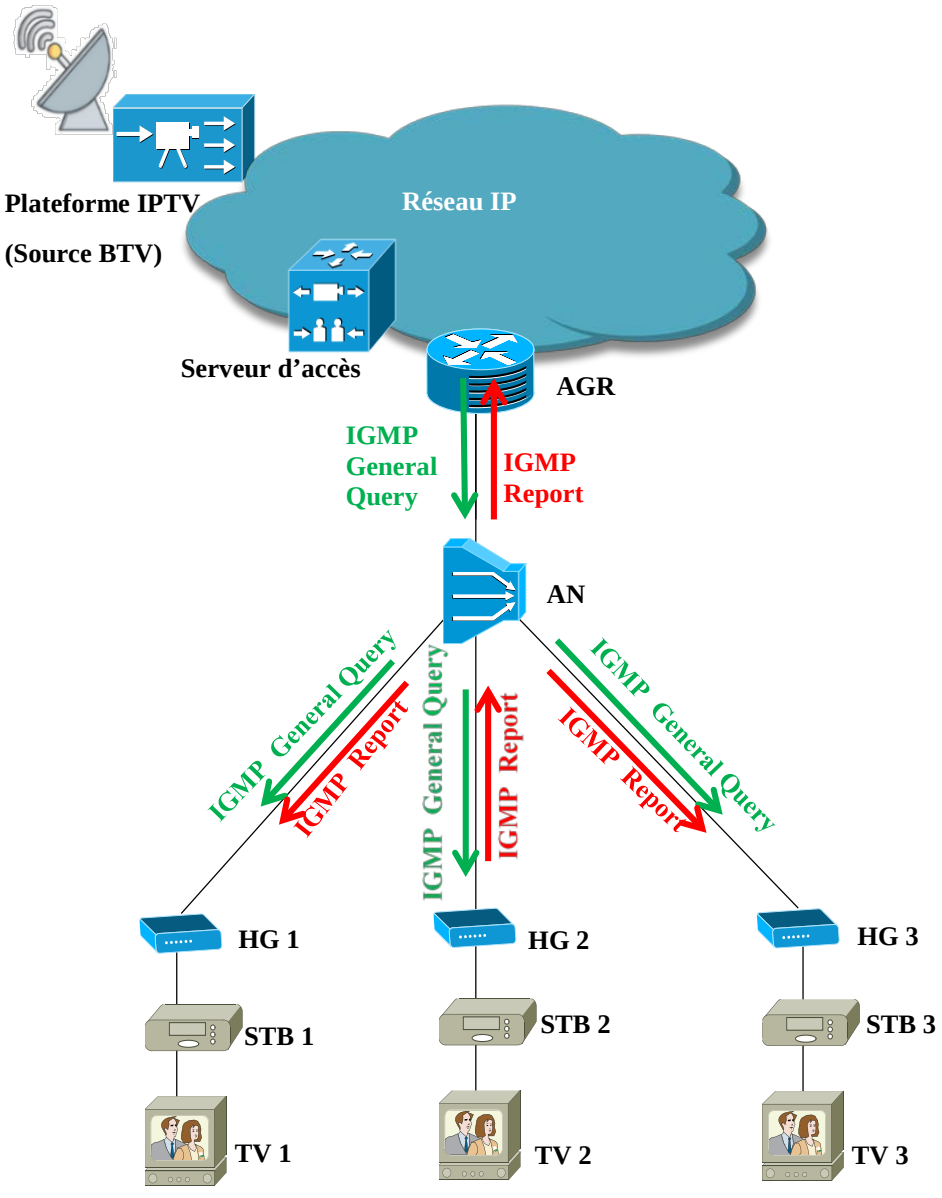

Figure 1-7 : Fonctionnement du protocole IGMP.

Il existe trois versions de ce protocole ,IGMPv2 est la version la plus utilisée actuellement dans les solutions IPTV, un client final en choisissant une chaîne envoi « IGMP membership report » au routeur d'accès AGR à l'entrée du réseau IP en traversant le nœud d'accès qui est considéré comme un équipement couche 2, et par la suite implémente le mécanisme de l'IGMP Snooping, Le routeur AGR qui est PIM-DR sera chargé d'envoyer le « PIM join » au RP (Rendez-vous Point) et par la suite le trafic multicast sera délivré à travers ce routeur élu DR à destination de STB demandeur (figure 1-7).

- **IGMP Snooping**

IGMP Snooping consiste à donner à un switch ou un nœud d'accès une fonctionnalité de niveau 3. Ainsi un switch au niveau duquel l'IGMP Snooping est activé va analyser les trames IGMP qui transitent par lui, afin de déterminer si l'hôte situé dans un port donné doit ou non, recevoir le flux multicast à destination d'un groupe donné. S'il voit passer « IGMP report » pour un groupe donné, il réémettra sur le port concerné tout le flux multicast du groupe correspondant.

- **IGMP Proxy**

IGMP proxy est configuré dans un dispositif de couche 2 entre un routeur et un hôte pour qu'il puisse fonctionner en tant que serveur proxy afin de réduire la charge du routeur.

L'agent IGMP proxy envoie des paquets IGMP query à l'hôte et traite les paquets IGMP envoyés par l'hôte. En outre, l'IGMP proxy répond aussi aux paquets query envoyés à partir du routeur, résume les messages que l'hôte envoie pour rejoindre ou quitter le groupe multicast, et en informe le routeur.

Pour l'hôte, l'agent IGMP proxy fonctionne comme un routeur. Et pour le routeur, l'agent IGMP proxy fonctionne comme un hôte.

1.7.2 Protocole PIM

PIM (Protocol Independent Multicast) est un protocole de routage IP multicast qui permet la diffusion vers un groupe d'hôtes [38]. PIM est dit Protocol-Independent car il se base dans ses décisions de routage sur la topologie établie par d'autres protocoles de routage unicast (OSPF, RIP, IS-IS…).

Il existe trois modes de fonctionnement du PIM, PIM Dense Mode (PIM-DM) pour les réseaux denses, tels que les LAN, et le PIM Sparse Mode (PIM-SM) pour les réseaux à large échelle, extensible au routage multicast inter domaines et PIM Specific Sparse Mode (PIM-SSM). PIM-SM, est la variante PIM utilisée par la plupart des fournisseurs IPTV.

En mode sparse (SM), seuls les clients ayants fait un « IGMP join » sur un groupe feront partie de l'arbre de distribution (figure 1-8). Quand un client rejoint un groupe multicast (pour demander une chaine BTV), le routeur d'agrégation AGR envoie un message PIM (*, G) Join vers le RP associé à ce groupe (On utilise la notation (*, G) car cela concerne n'importe quelle source pour le groupe G) [39][40].

Ce message va être propagé de routeur en routeur vers le RP de ce groupe. A chaque routeur traversé un état associé à l'arbre multicast du groupe G est créé. Finalement le message PIM (*, G) Join va atteindre soit le RP, soit un routeur possédant déjà un état (*, G) associé au groupe.

Des messages PIM d'adhésion sont envoyés périodiquement tant qu'au moins un destinataire est membre du groupe. Quand tous les destinataires situés sur un lien-local quittent un groupe, le DR peut envoyer un message PIM d'élagage (PIM Prune). Une durée limite de validité étant associée à chaque adhésion, si aucun message PIM ne parvient, l'adhésion sera résiliée.

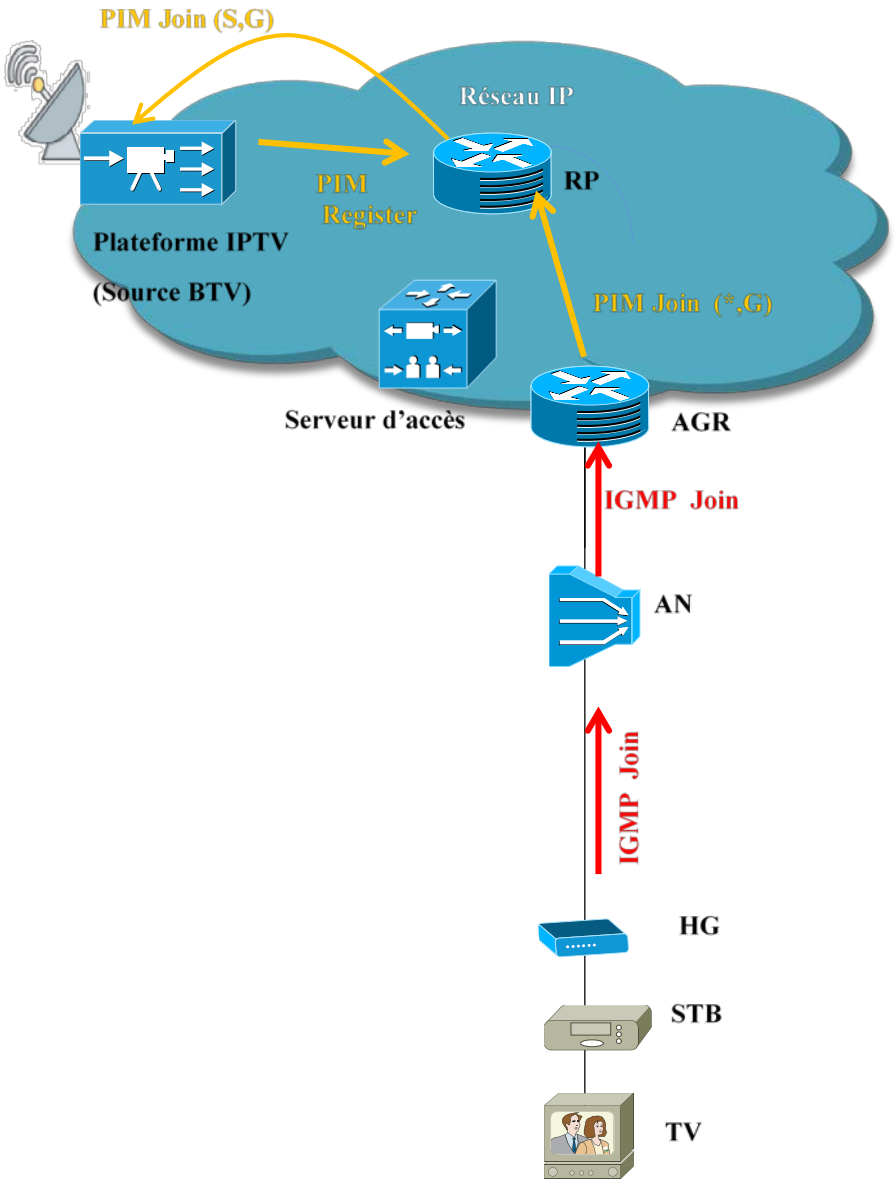

Figure 1-8 : Fonctionnement du protocole PIM-SM.

Dès que la source BTV émet un paquet multicast vers un groupe, son DR local encapsule ce paquet dans un datagramme unicast ayant pour adresse de destination le RP associé au groupe. Lorsque le RP reçoit ce datagramme, il décapsule le paquet multicast, et le propage sur le RPT (Shared Tree) associé au groupe. Le paquet est dupliqué aux nœuds qui forment de nouvelles branches, et donc parvient à l'ensemble des destinataires membres du groupe. Les datagrammes ayant encapsulé les paquets multicast sont appelés messages PIM Register.

Le transit par le RP provoque un détour important si on compare ce chemin avec le chemin le plus court entre l'AGR et la source BTV .Dans ce cas, l'AGR émet un message PIM (S,G) Join vers la source BTV. Cela crée des états spécifiques (S,G) dans les routeurs rencontrés sur le chemin vers l'émetteur. Le message atteint le DR de la source ou un autre routeur ayant déjà l'état (S,G). Les paquets multicast dorénavant émis par la source S suivront les états (S,G).

À partir de cet instant l'AGR peut recevoir deux copies de chaque paquet multicast : une provenant du RP et ayant suivi l'arbre RPT associé, l'autre provenant directement de la source BTV en ayant emprunté l'arbre centré sur la source (SPT). Dès que le premier paquet multicast est reçu en provenance de l'arbre centré sur la source, l'AGR détruit les paquets qui arrivent via le RPT. Il envoie un message d'élagage PIM (S,G) Prune qui est propagé de routeur en routeur vers le RP. Dans chaque routeur rencontré ce message place un état indiquant que le trafic multicast (S,G) ne doit plus être propagé sur l'arbre partagé.

1.8 Protocoles de Transport

Les paquets IP véhiculant du contenu IPTV sont soumis à des contraintes temporelles, de perte et de synchronisation. Pour cela, le protocole RTP (Real-time Transport Protocol) est utilisé afin d'identifier le type d'information transportée, d'ajouter des marqueurs temporels et des numéros de séquence aux paquets RTP et pour finir, de contrôler en bout de chaîne l'intégrité des paquets. L'utilisation de RTP [41] est associée au protocole RTCP qui permet d'échanger périodiquement des informations sur la qualité de la session en cours et le protocole RTSP pour contrôler les différents contenus IPTV demandés par le client.

1.8.1 Protocole RTP

Ce protocole utilise un protocole de transport, généralement UDP [42] lorsqu'il s'agit d'applications temps réel. Il peut être utilisé dans le cas de livraison du flux BTV ou bien TSTV et VOD. Pour la transmission d'un flux multimédia IPTV, chaque média est transporté dans une session RTP différente [43], [44] notamment pour permettre de l'adapter à la bande passante des clients. Dans un réseau comme l'IPTV, les paquets peuvent arriver à la destination dans un ordre différent de celui de leur émission. Or pour la plupart des applications temps-réel, la conservation de l'ordre est importante pour la présentation du média. De plus plusieurs flux peuvent nécessiter une synchronisation. Grâce à un système d'estampillage dans l'entête des paquets RTP, le récepteur peut reconstruire la chronologie précise des données, et a fortiori synchroniser les flux. En effet, chaque paquet est estampillé avec l'instant de présentation du premier octet contenu dans le paquet. Le paquet suivant sera estampillé avec l'estampille du paquet

précédent, augmentée de la durée de présentation du paquet précédent. La synchronisation peut ainsi être effectuée de manière simple. Aussi, les paquets sont numérotés avec un numéro de séquence dans l'entête RTP. L'application peut donc facilement détecter la perte d'un paquet.

Les paquets RTP sont munis d'un identifiant de type de données qui permet de reconnaître facilement le format et le type de compression des données contenues dans le paquet.

1.8.2 Protocole RTCP

Dans chaque session RTP [20], les participants (Serveurs IPTV ou STB) envoient périodiquement des paquets RTCP pour rendre compte de la qualité des données reçues ou envoyées et donner des informations concernant leur participation. Ces paquets de contrôle RTCP permettent de mettre en évidence des défauts dans la transmission et permettent aussi à la source de connaître le nombre de participants et leurs identifiants.

1.8.3 Protocole RTSP

Au-dessus de RTP dans la couche application on utilise bien souvent RTSP pour contrôler les différents flux IPTV [21] . RTSP ne s'occupe pas du transport de données. C'est pourquoi il n'envoie que des messages et pas des paquets. RTSP fourni des messages pour établir une connexion temps réel, pour lancer, pauser et arrêter la reproduction du contenu et pour avancer ou rembobiner le contenu multimédia.

1.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté dans la première partie l'architecture et les éléments constituant un system IPTV ainsi les différents services qu'il offre à savoir le BTV, TSTV et VOD.

Le principe de fonctionnement de chaque service a été détaillé également en spécifiant les différents mécanismes et protocoles utilisés. Dans la deuxième partie, nous avons présenté les protocoles de routage et de transport nécessaires pour faire fonctionner un système IPTV.

Chapitre 2

Protocoles et technologies d'accès

2.1 Introduction

Les technologies d'accès modernes sont confrontées à plusieurs objectifs contradictoires. Il est donc souhaitable de connecter plusieurs hôtes sur un site distant via le même dispositif d'accès chez le client. C'est aussi un objectif de fournir des fonctionnalités de contrôle d'accès et de facturation d'une manière similaire aux services d'accès à distance en utilisant le protocole PPP (Point-to-Point Protocol). Dans de nombreuses technologies d'accès, la méthode la plus rentable pour attacher plusieurs hôtes à un client, est via l'Ethernet [45]. En effet en utilisant PPPoE [46] ou DHCP [47], les opérateurs peuvent atteindre cet objectif à moindre coût, car l'Ethernet est plus rentable que toutes autres technologies d'accès.

Ces protocoles permettent à un grand nombre d'hôtes sur un réseau d'accès de se connecter à un réseau à l'aide d'un périphérique d'accès distant et de contrôler chaque hôte de réseau. PPPoE et DHCP sont les protocoles les plus utilisés et se caractérisent par une large échelle d'applications, une sécurité élevée et une comptabilité pratique.

Les réseaux d'accès représentent la partie du réseau qui relie les opérateurs de télécommunication avec leurs clients. C'est la partie du réseau qui se charge de collecter le trafic provenant des abonnés puis de son transfert

vers le réseau backbone IP. Dans ce cas, on parle de transmission en « sens montant ». Dans le « sens descendant », les réseaux d'accès allouent des sous-porteuses pour fournir la voix, des données, la vidéo et d'autres services aux différents abonnés. Compte tenu de la dimension géographique limitée des réseaux d'accès, l'enjeu actuel est basé sur l'usage de nouvelles technologies, d'architectures et infrastructures d'accès [48], [49] permettant d'apporter de connections hauts débits aux abonnés avec un déploiement rentable, bas coût.

La demande croissante en termes de débits et l'apparition de nouveaux services trop gourmands en bande passante surtout avec l'arrivée de l'IPTV a conduit à une énorme pénétration dans les réseaux d'accès et cœurs. Le débit de transmission dans le réseau d'accès optique à dix fois augmenté ces dix dernières années. Ce qui a entrainé également une forte croissance du débit dans les réseaux cœurs [50].

Afin de pouvoir satisfaire les besoins en bande passante des utilisateurs, plusieurs technologies d'accès ont donc été déployées. La plus courante d'entre elles est la technologie xDSL (Digital Suscriber Loop) qui peut être subdivisée en deux standards communément déployés, l'ADSL (Asymmetric DSL) [51] et le VDSL (Very high speed DSL) [52]. Le réseau d'accès à base de fibre optique FTTx [53], qui a beaucoup évolué pendant ces trente dernières années est la technologie d'accès la plus prometteuse en termes de déploiement, de débit et de maintien.

2.2 Protocole PPPOE

2.2.1 Introduction au protocole PPPoE

Le protocole PPP(Point to Point Protocol) fonctionne pour les liaisons point à point [54]. Mais il n'est pas applicable pour le Broadcast Ethernet et tout autre réseau d'accès multipoint. De ce fait, le protocole PPPoE (Point to Point Protocol Over Ethernet) [46] a été mis en place.

PPPoE est un protocole d'encapsulation de PPP sur Ethernet (figure 2-1). Il permet de connecter un réseau d'hôtes (clients) à un concentrateur. Il assure non seulement l'accès des utilisateurs Ethernet avec un moyen d'accès à large bande, mais fournit aussi des solutions pratiques de contrôle d'accès et de traçabilité.

Une session PPPoE passe par deux étapes différentes : étape de découverte « discovery stage » et étape de la session PPP « PPP session stage ». Chaque utilisateur doit établir une unique session PPP. Mais avant cela, l'hôte doit connaître l'adresse MAC du serveur et cela se fait dans l'étape de découverte.

- **Etape de la découverte :**

Cette étape permet à un hôte de découvrir tous les serveurs ACs (Access Concentrator) et de choisir ensuite un. Cette étape s'effectue en quatre sous étapes :

- Emission en broadcast d'un paquet d'initialisation (PADI) par l'hôte.
- Emission de paquets d'offres (PADO) en unicast par un ou plusieurs serveurs.
- Emission en unicast d'un paquet de requête de session (PADR) par

l'hôte.

- Emission d'un paquet d'acquittement (PADS) par le serveur.

- **Etape de la session PPP**

Lors de l'ouverture de la session PPPoE, Les données PPP sont envoyées de la même manière que pour toute autre communication PPP. Le schéma (figure 2-1) résume les étapes citées ci-dessus.

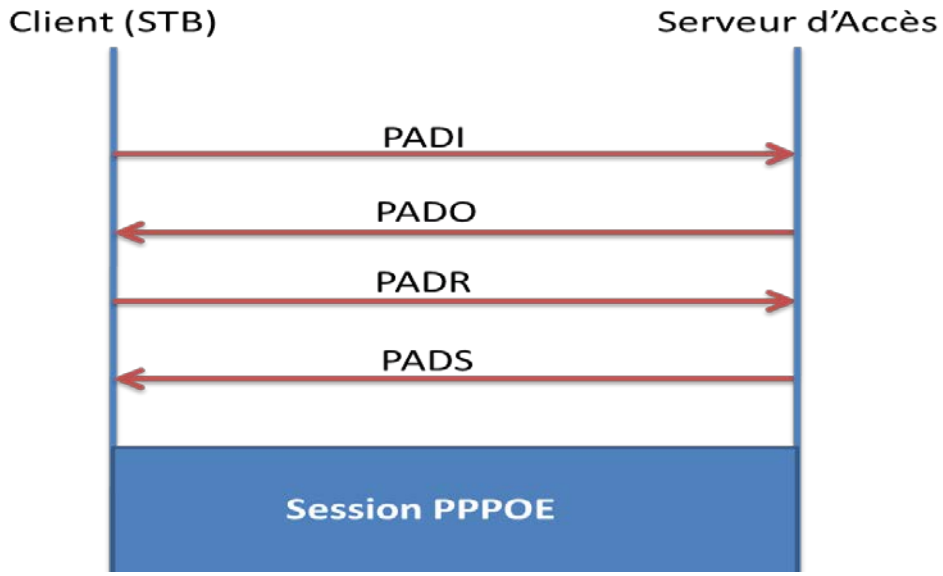

Figure 2-1 : Etablissement d'une session PPPoE.

2.2.2 Option PPPoE+

Le serveur PPPoE authentifie l'utilisateur à la base des comptes utilisateur (PAP ou CHAP), mais si ce compte est piraté, le pirate récupèrera aussi une adresse IP et il aura accès au service en question. D'où la nécessité d'introduire une nouvelle fonctionnalité de sécurité et cela était l'objectif de l'introduction du PPPoE+.

PPPoE+ [55] ou l'agent intermédiaire de PPPoE est déployé dans un équipement niveau 2 (nœud d'accès) qui est situé entre l'utilisateur et le serveur d'accès (figure 2-2).

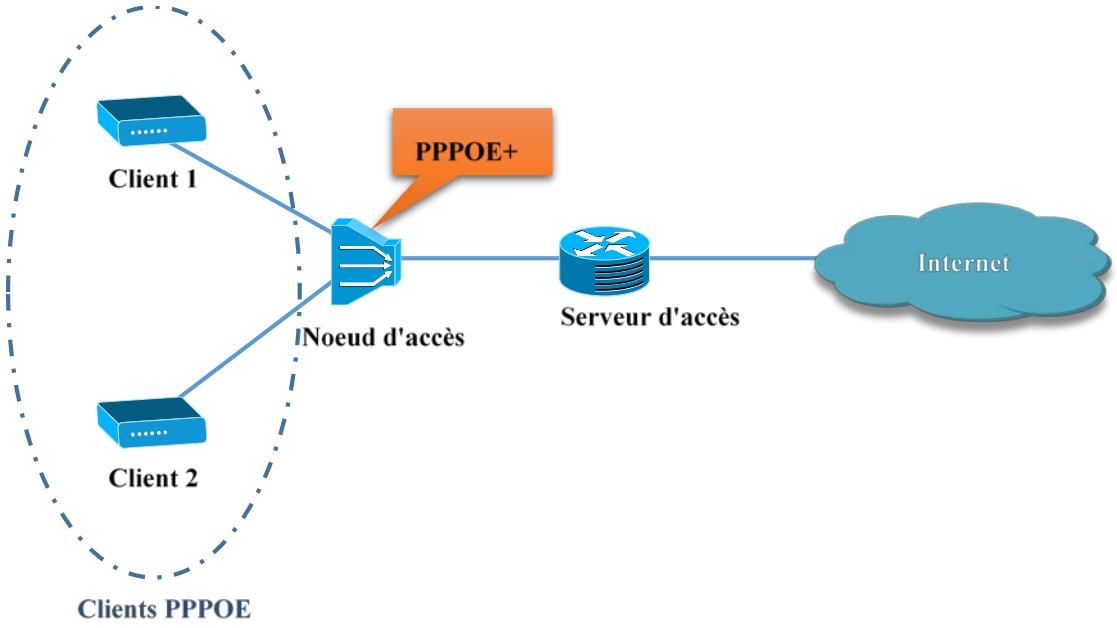

Figure 2-2 : Réseau PPPoE+.

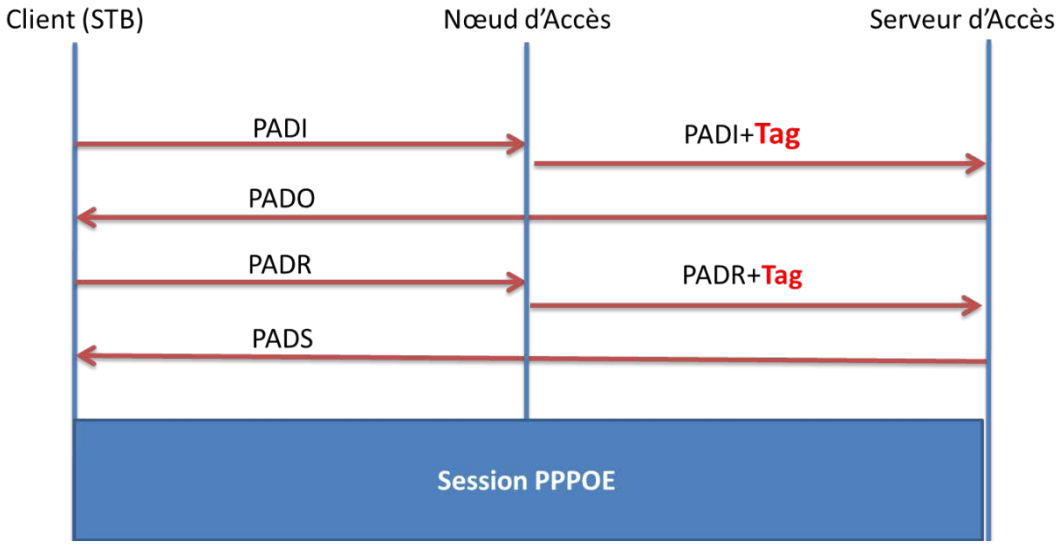

Figure 2-3 : Fonctionnement du protocole PPPoE+.

Le nœud d'accès envoie les paquets PADI reçus de l'utilisateur (notamment PADI et PADR) au serveur d'accès après avoir ajouté un tag contenant des informations sur l'interface connectée au client PPPoE comme le numéro d'interface, l'identifiant du nœud d'accès, etc…. Les informations du compte utilisateur et de l'interface d'accès sont authentifiées pour prévenir toute tentative de piratage du compte utilisateur. La figure 2-3 montre le principe de fonctionnement du PPPoE+.

2.3 Protocole DHCP

2.3.1 Introduction au protocole DHCP

Le protocole DHCP (Dynamique Host Configuration Protocol) [47], [56] est un protocole permettant d'affecter automatiquement des adresses IP aux clients d'un serveur pour une durée limitée (la durée du bail). Cela facilite la configuration des réseaux, surtout pour les réseaux les plus complexes, car au lieu de configurer manuellement chaque hôte, c'est à dire lui donner une adresse IP ainsi que tous les paramètres de réseau dont il a besoin à savoir le masque, la passerelle par défaut et l'adresse de DNS [57].

Comme montré dans la figure 2-4, quand le client DHCP démarre, il cherche un serveur DHCP en envoyant en Broadcast une demande de bail IP « DHCP Discover » avec une adresse d'émission 0.0.0.0 qu'il adopte puisqu'il n'a pas encore d'adresse IP, il fournit aussi son adresse MAC pour être identifié par le serveur.

Le ou les serveurs DHCP ayant des adresses IP non affectées vont répondre, en Broadcast, par un message « DHCP Offer » qui contient une

proposition de bail, l'adresse IP du serveur et l'adresse MAC du client. Le client, en temps normal, accepte la première réponse.

Dans ce cas, le client répond en Broadcast à tous les serveurs par un « DHCP Request » contenant l'adresse IP choisie et l'adresse IP du serveur choisi pour à la fois demander cette adresse IP ainsi que les autres paramètres de configuration à ce serveur et informer les autres de ce choix pour qu'ils libèrent les adresses IP proposées.

Le serveur choisi répond donc en unicast par un acquittement « DHCP Ack (DHCP Acknoledgement) » qui comporte l'adresse IP allouée, le masque, l'adresse du DNS et l'adresse de la passerelle. Le serveur ajoute aussi trois autres champs contenant le temps du bail, la date de demande de renouvellement et la période durant laquelle le client a la possibilité de rediffuser des recherches de DHCP dans le cas où le serveur DHCP ne répond pas.

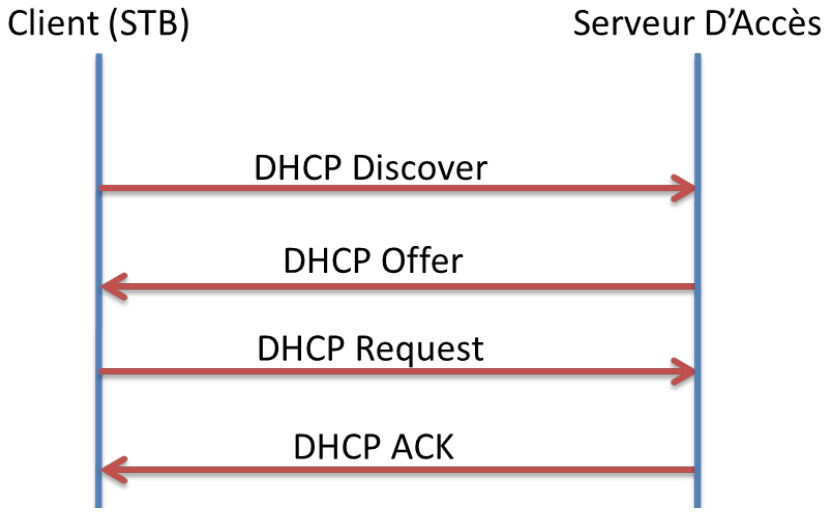

Figure 2-4 : Affectation d'adresses IP en utilisant DHCP.

2.3.2 Option DHCP Option 82

Malgré les avantages qu'offre le protocole DHCP qui facilite la configuration du réseau, simplifie la configuration des machines portables et économise l'utilisation des adresses, il reste imparfait et l'un de ses plus importants défauts est sa vulnérabilité face aux attaques, vue que tout utilisateur peut avoir une adresse IP s'il envoie un message DHCP Discover sans authentification. C'est pour cela que le DHCP Option 82 a été mis en place (figure 2-5).

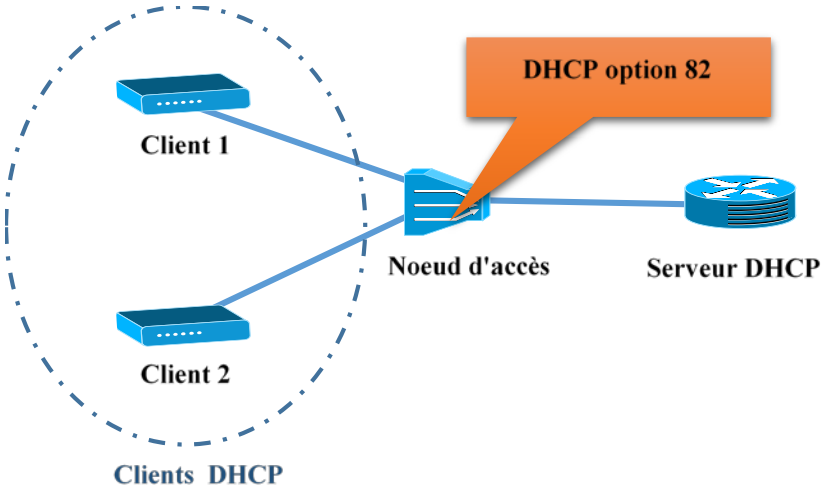

Figure 2-5 : Relais DHCP Option 82.

DHCP Option 82 [58] est utilisé dans des switch pour éviter les attaques du serveur DHCP. Il consiste à ajouter dans le message DHCP Discover envoyé par le client (ou DHCP Request), un tag contenant le port et l'adresse du switch (dans notre cas le switch est le nœud d'accès et c'est lui qui va assurer le rôle de relais). De cette façon le serveur connait les abonnés et la provenance des messages et il sera donc plus sécurisé contre toute tentative d'attaque. Cette méthode présente des similarités avec l'option PPPOE+ (figure 2-6).

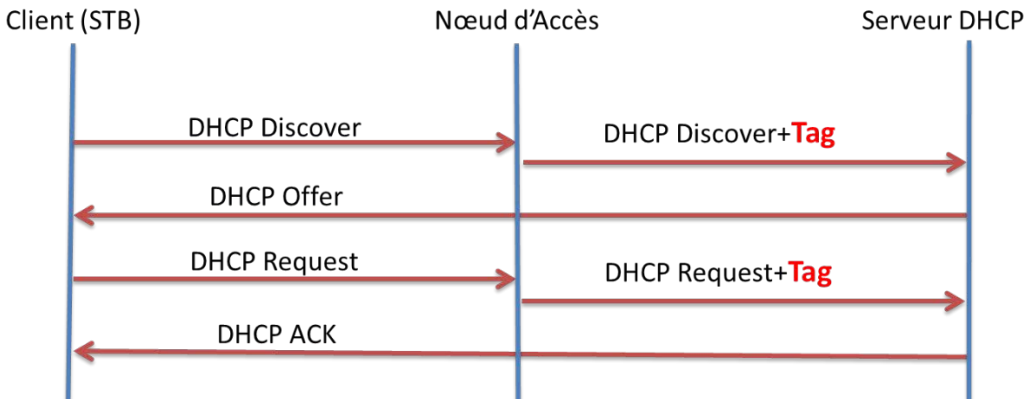

Figure 2-6 : Fonctionnement du DHCP Option 82.

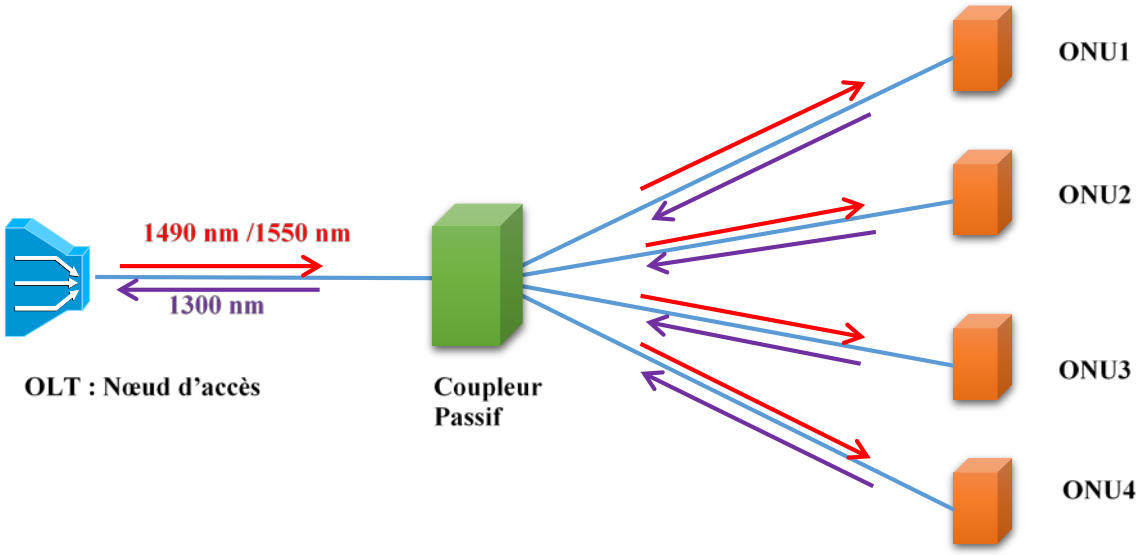

Figure 2-7 : Schéma d'un réseau GPON.

2.4 Technologie GPON

Le GPON est basé sur une architecture point à multipoint où chaque ONU reçoit la totalité du signal provenant de l'OLT (figure 2-7), le GPON nécessite un partage de l'information [59]–[62]. Ce partage de l'information se fait dans le domaine temporel de la manière suivante (figure 2-8) :

- **Sens descendant (de l'OLT vers l'ONU)**

Chaque client reçoit toutes les données mais n'est autorisé à recevoir que les données qui lui sont destinées. La répartition du débit entre les clients peut être fixe ou variable.

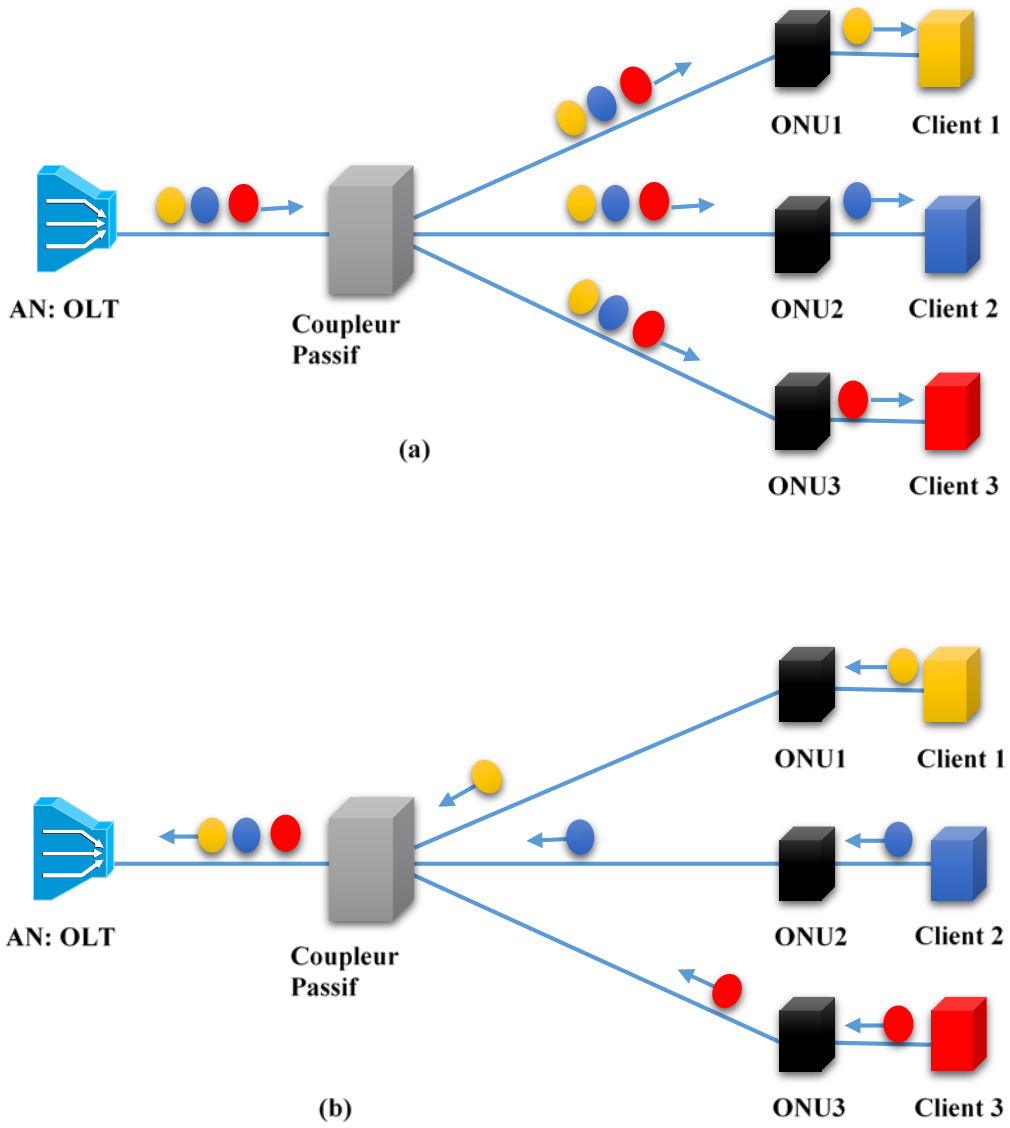

Figure 2-8 : Trafic montant et descendant dans un réseau GPON, (a) Sens descendant, (b) sens montant.

- **Sens montant (de l'ONU vers l'OLT)**

Le partage de la bande passante dans le sens montant (ou upstream) s'effectue par le TDMA (Time Division Multiple Access). Chaque client dispose d'un intervalle de temps bien précis pour envoyer son trafic afin de ne pas interférer avec un autre client. Un récepteur en mode rafale (burst) est nécessaire à l'OLT.

Les solutions G-PON déployées aujourd'hui offrent un débit de 2,5 Gbit/s dans le sens descendant et 1,25 Gbit/s dans le sens montant.

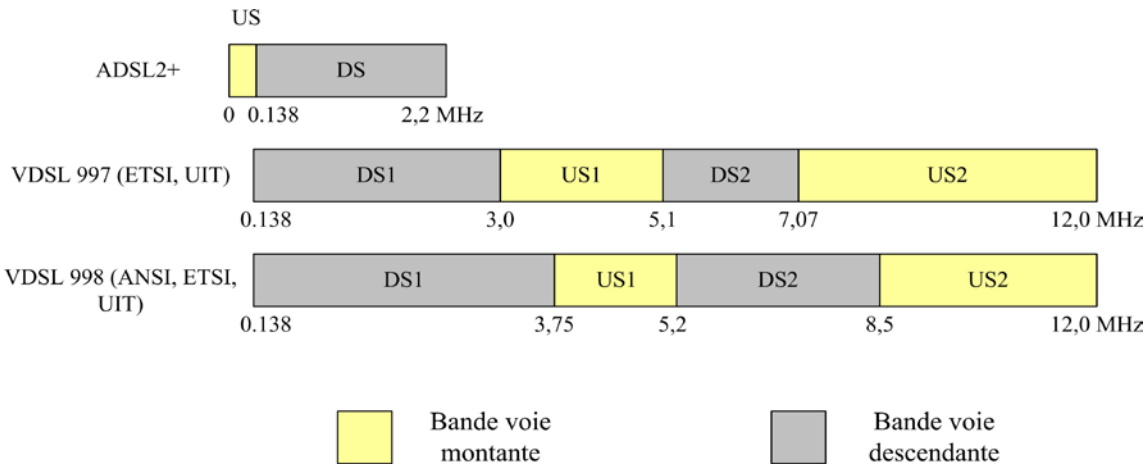

Figure 2-9 : Plan de fréquences ADSL2+ et VDSL

2.5 Technologie VDSL

La technologie VDSL fonctionne en se basant sur la même infrastructure que l'ADSL traditionnelle, à savoir le réseau téléphonique. Pour fournir un débit de connexion supérieur à celui de l'ADSL (52 Mbit/s débit montant et 16 Mbit/s débit descendant) sur une seule paire de cuivre (figure 2-9). Cette augmentation de débit est due à l'élargissement de la bande passante au détriment de la portée [63]–[66].

La technologie VDSL2 est la toute dernière des technologies DSL. Elle permet de fournir un débit symétrique de 100 Mbits/s sur environ 300 mètres et sur une seule paire de cuivre. Tout comme la technologie VDSL, le déploiement du VDSL2 repose sur des architectures de type FTTC ou FTTB [67]. La bande de fréquence est élargie jusqu'à 30 MHz, la figure 2-10 représente le plan de fréquences allouées pour une transmission VDSL2 selon les standards [68].

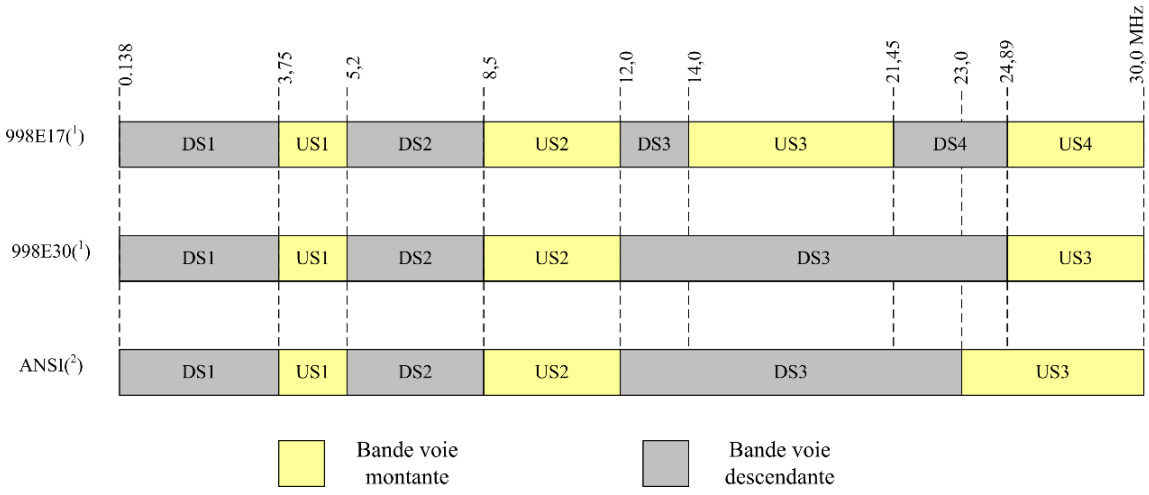

Figure 2-10 : Plan de fréquences VDSL2

Comme pour l'ADSL2+, la technologie VDSL2 combine le codage Reed Solomon et le codage en treillis pour augmenter le gain de codage. La modulation utilisée pour le VDSL2 est la modulation discrète multi porteuse DMT.

2.6 Conclusion

Nous avons présenté dans la première partie de ce chapitre les deux protocoles d'accès les plus utilisés par les fournisseurs d'accès IPTV, Ces protocoles permettent aux clients de se connecter au réseau de l'opérateur à

l'aide d'un routeur HG ou bien à l'aide d'un STB tout simplement. PPPoE et DHCP se caractérisent par une large échelle d'applications, une sécurité élevée et une comptabilité pratique, sans oublier qu'ils offrent deux options très intéressantes qui sont le DHCP option 82 et PPPOE+ que nous avons exploité durant notre projet de recherche pour optimiser la consommation de la bande passante unicast d'un réseau IPTV.

Dans la deuxième partie nous avons presenté les technologies d'accès haut débit GPON et VDSL, qui ont connu un grand succès dans les dernières années suite à la forte demande de services multimédia qui nécessitent une très haute définition. Nous avons detaillé le principe de fonctionnement de chaque technologie ainsi les bandes passantes qu'elles peuvent offrir (montante et descendante).

Chapitre 3

Délai de changement de chaines IPTV

3.1 Introduction

En IPTV, nous ne pouvons pas transmettre toutes les chaînes simultanément aux clients, comme dans le cas de la télévision traditionnelle suite à la limitation de la bande passante. De ce fait, le changement de chaînes sans coupure, le grand besoin en bande passante, et la sensibilité aux pertes de paquets s'imposent comme des défis importants à l'IPTV pour assurer la meilleure qualité possible aux clients [17].

Une vidéo est une séquence d'images prises à des intervalles réguliers (généralement toutes les 33,3 ou 40 millisecondes [69]). La télévision standard non compressée SDTV nécessite un débit d'environ 200 Mbps, alors que la télévision haute définition HDTV exige des débits d'environ 1 Gb/s [70]. Le transport de la télévision traditionnelle SDTV ou bien HDTV via le réseau de télécommunication actuel reste quasiment impossible à cause de la grandeur de la bande passante demandée.

Afin de remédier à ce problème, des nouvelles techniques de compression et de codage ont vu le jour pour optimiser la consommation de la bande passante et de stockage; le codage MPEG-2 [71] et MPEG-4 [72] sont deux exemples de codages vidéo les plus répandus.

3.2 Group of Pictures (GOP)

Pour augmenter l'efficacité du codage, les techniques de compression exploitent les caractéristiques de redondance de l'audio et de la vidéo, les données moins utiles et la forte corrélation entre les images adjacentes d'une séquence vidéo [73].

Les vidéos compressées sont constituées de plusieurs groupe d'images GOP (Group Of Pictures), chaque GOP est constitué d'une suite d'images regroupées dans un flux vidéo encodé qui est répété périodiquement jusqu'à la fin de l'encodage.

Un GOP peut contenir les types d'images suivants :

- **I-Frame** : ou Image I, c'est une image de référence qui contient l'information complète de l'image. Chaque GOP possède une seule I-Frame et ne peut être affiché si celle-ci est perdue. L'image I contient le plus du flux de données et consomme plus d'espace par rapport aux autres frames du même GOP.
- **P-Frame** : ou Image P, cette image contient des informations de différence (par prédiction compensée de mouvement) avec l'image I (ou image P) passée.
- **B-Frame** : ou Image B, cette image contient des informations de différence avec les images I (ou image P) passées et futures à l'intérieur d'un GOP.

Un GOP (figure 3- 1) contient une seule image I qui correspond à la première image à encoder. Elle est suivie d'une succession d'images P et B

dont le motif se répète jusqu'à la fin du GOP. Les images P se situent à intervalle régulier et les images B complètent ces intervalles.

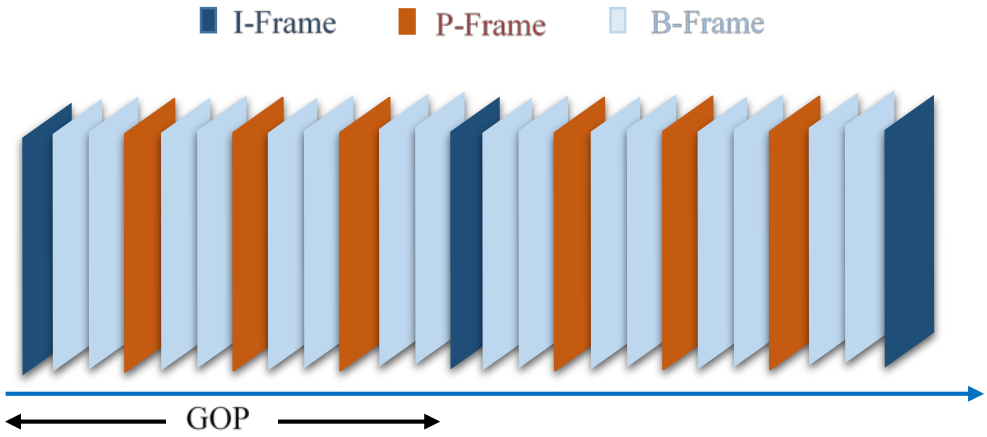

Figure 3-1 : Exemple d'une structure de Group of Pictures

Afin de décoder un flux vidéo, le décodeur a besoin des images I, la particularité des images I est qu'elles ne nécessitent aucune information supplémentaire pour être décodées puisque leur compression se base sur la prédiction du contenu présent dans la même image. Par conséquent, toute erreur dans la structure GOP est corrigée par l'image I suivante. Un GOP peut contenir plusieurs dizaines d'images mais plus il est long et plus les erreurs de prédictions seront importantes. Cela entraine des difficultés à prédire efficacement les images à encoder et donc une perte de qualité et une compression moins efficace.

Plus un flux vidéo contient d'images I, plus il est facilement modifiable. Cependant, avoir plus d'images I augmente la taille du flux vidéo. Afin d'économiser la bande passante et l'espace de stockage, les vidéos préparées pour diffusion sur un réseau, ont souvent une seule image I par GOP.

3.3 Délai de changement de chaînes BTV

Dans le cas de la télédiffusion analogique satellitaire, le changement de chaînes est presque instantané, puisqu'il consiste uniquement à régler le récepteur sur la fréquence spécifique de la chaine, à démoduler le contenu et l'afficher sur l'écran de télévision, ce qui permet d'avoir des délais de changement de chaines généralement inférieur à 200 millisecondes [74].

Avec l'arrivée de l'IPTV le temps de changement de chaines a considérablement augmenté. Ceci est dû au fait que le client ne reçoit qu'une chaîne par manque de débit de transmission, la réception du flux de la nouvelle chaine BTV n'est pas immédiat contrairement aux récepteurs TV en propagation électromagnétique qui reçoivent le signal de manière quasi instantanée [75].

Kooij et al. [76] ont présenté une étude dans laquelle ils concluent que pour obtenir un résultat acceptable pour le service BTV, le temps de changement de chaine doit être inférieur à 0,43 seconds. Même si que cette étude concerne uniquement un nombre de client limité, il est clair que le délai de changement de chaines élevé dégrade la qualité d'expérience des clients et constitue un obstacle majeur pour l'ensemble des services IPTV. Pour comprendre comment remédier à ce problème de délai, il est important de lister les différentes composantes du retard de changement de chaines BTV.

Les principaux facteurs contribuant au retard de changement de chaines ; sont représentés dans la figure 3- 2. L'utilisateur commence par émettre une demande de changement de chaine à l'aide de sa télécommande. La demande atteint le STB après un délai estimé de 5 à 10 millisecondes [77] (étape 1).

Après la réception de la demande de changement, le STB doit émettre une nouvelle demande de changement de chaine vers le réseau (étape 2), des requêtes IGMP Leave et IGMP Join sont respectivement envoyé au réseau pour arrêter la diffusion de la chaine en cours de visionnage et demander la nouvelle conformément au protocole IGMP (Internet Group Management Protocol). Le message IGMP atteint le premier nœud de réseau en amont qui possède déjà la chaine demandée, et l'infrastructure de routage existante permet par la suite de livrer le flux de cette nouvelle chaine au client concerné.

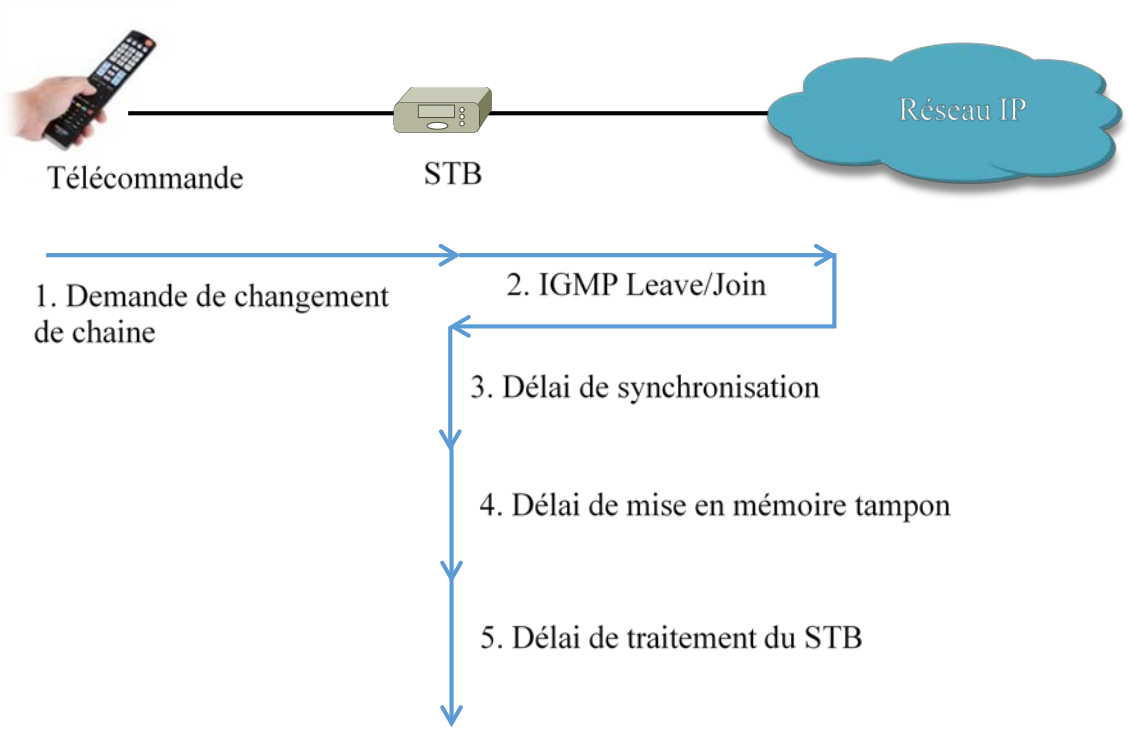

Figure 3-2 : Différentes composantes du délai de changement de chaines

Afin de minimiser ce retard, les chaînes BTV sont généralement distribuées très près de l'utilisateur, généralement vers les nœuds d'accès ou bien vers les routeurs d'agrégation (Aggregation Router AGR).

Quand le STB reçoit le premier paquet du groupe de multicast récemment demandé, le STB doit attendre l'arrivée de la prochaine image de référence I avant de pouvoir commencer le décodage, comme expliqué dans la section précédente, ce retard s'appelle le retard de synchronisation (étape 3).

Le délai de synchronisation maximal peut atteindre la durée d'un GOP, en moyenne, ce retard est souvent égal à la moitié de la durée du GOP. Le délai de synchronisation représente donc une part importante du temps de changement de chaînes (rappelons que la durée d'un GOP est généralement de l'ordre de 1 à 2 secondes).

Un autre type de retard s'ajoute au délai de synchronisation, c'est le délai de décryptage, puisque plusieurs services IPTV nécessitent un cryptage afin de sécuriser le contenu transmis au client, à l'arrivée au client, le STB doit décrypter le contenu afin de pouvoir l'afficher sur l'écran.

Généralement, les services IPTV, utilisent le protocole UDP pour distribuer le contenu, mais l'UDP est conçu de manière à ne jamais vérifier les pertes de pacquets (contrairement au TCP). Ce qui pousse les opérateurs télécoms à implémenter des serveurs de retransmission de paquets au niveau de leur réseau de transport en se basant sur les techniques FEC (Forward Error Correction) [78].

Indépendamment de la technique de retransmission déployée, une mise en mémoire tampon (Buffering) des paquets est nécessaire au niveau du STB afin de permettre au STB de récupérer les paquets retransmis avant d'entamer le décodage (étape 4).

Il y a d'autres raisons pour mettre en mémoire tampon les paquets entrants avant de les envoyer au décodeur :

1. Pour éviter le phénomène de la famine (under-run) qui se manifeste lorsque les paquets sont cryptés avec différentes vitesses, ce qui crée par la suite un désordre des paquets UDP transmis aux clients.
2. Le Jitter et le délai de packet-reordering représentent la variation de la latence d'un flux de paquets entre la source et la destination, lorsque certains paquets prennent davantage de temps pour passer d'un nœud à l'autre. Ce phénomène peut être le résultat d'un encombrement du réseau ou d'un changement d'acheminement.

Bien que le montant de protection offerte par une mémoire tampon augmente avec sa taille, la latence qu'il introduit augmente aussi, généralement les besoins en mémoire tampon (buffer) du décodeur varient entre 1 à 2 secondes [74].

La dernière source de retard est le retard de traitement du STB (étape 5). Il s'agit du délai de traitement au niveau STB et au niveau de l'écran d'affichage. Le temps de traitement dépend beaucoup du décodeur et prend généralement 150 millisecondes [79].

La figure 3- 3 résume graphiquement les différents types de délais durant le changement d'une chaine BTV. Comme on peut l'observer, les principaux facteurs contribuant au délai du changement de chaines sont la synchronisation et la mise en mémoire tampon (étapes 3 et 4 de la figure 3- 2), qui nécessitent généralement environ 2 secondes [79]–[81]. La principale préoccupation de l'industrie et du milieu de la recherche aujourd'hui est d'essayer de réduire ces deux types de délai [82].

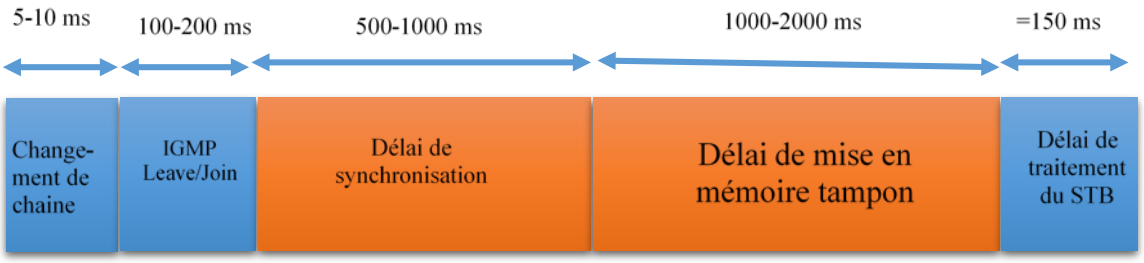

Figure 3-3 : Délai moyen de chaque composante de délais de changement de chaines

3.4 Techniques de réduction du délai de changement de chaines IPTV

Le délai de changement de chaines est l'un des problèmes les plus graves affectant le déploiement de l'IPTV, Au cours des dernières années de nombreuses recherches ont été menées dans ce domaine afin d'essayer de minimiser ce délai.

3.4.1 Réduction du délai d'acquisition d'images I

Dans cette méthode, un flux dédié est utilisé pour réduire le temps de synchronisation du flux original. Lorsque le client change la chaine, le STB reçoit un flux supplémentaire en parallèle avec le flux principal. Dès l'arrivée de la première I-frame (obtenue à partir du flux supplémentaire ou principal), le STB commence à décoder le flux vidéo. Le flux supplémentaire peut être un flux transmis en unicast ou en multicast.

3.4.1.1 Ajout d'un flux supplémentaire.

Cisco a proposé [83] d'appliquer la technique VQE (Visual Quality of Experience) pour quelques clients IPTV ayant des accès xDSL, et qui utilisent des flux I-frame pour accélérer le changement de chaîne.

Lin et al. [84] ont proposé une autre méthode qui consiste à distribuer un flux unicast commençant par l'image de référence I (pour réduire le temps d'acquisition des images I). Toutefois, cette solution entraîne une surcharge sur le réseau surtout pendant les pauses publicitaires. Pour éviter une telle charge impulsive, Banodkar et al. [85] et Sasaki et al. [75] ont utilisé des approches basées sur le multicast (utilisant un flux multicast supplémentaire au lieu d'un flux unicast).

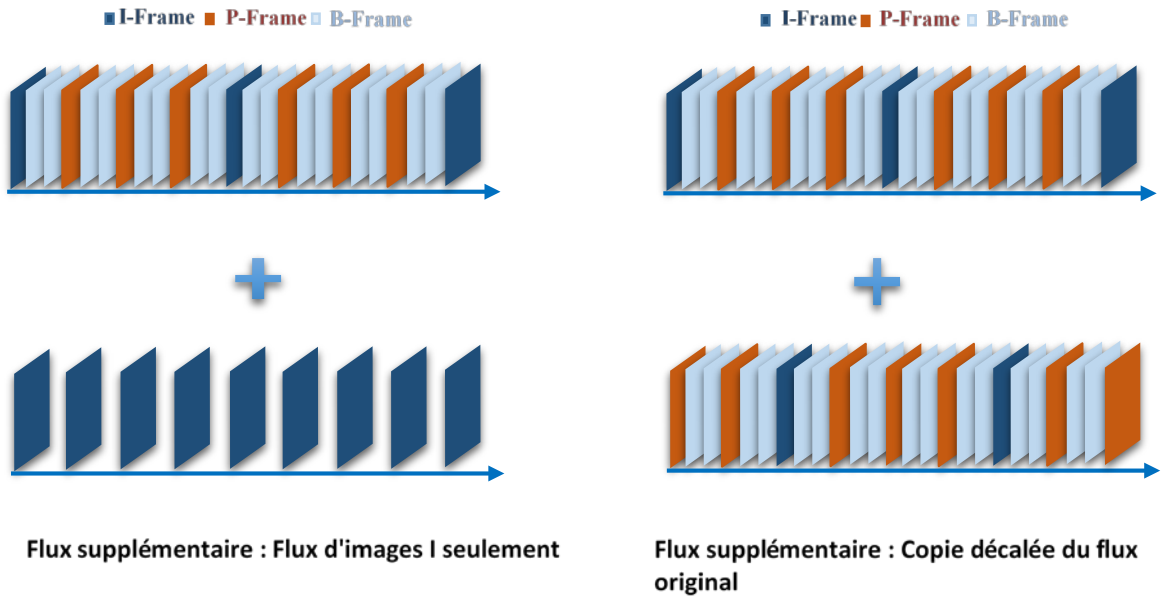

Figure 3-4 : Flux supplémentaires pour réduire le délai de changement de chaines

Il y a deux types de flux supplémentaires qui peuvent être utilisés dans cette technique (figure 3- 4) :

a) Un flux d'images I seulement avec une qualité inférieure et une fréquence supérieure.

b) Une copie décalée du flux original.

3.4.1.2 Insertion des images I supplémentaires et réduction de la taille du GOP

Pour augmenter la fréquence des images I dans le flux BTV et par conséquent réduire le délai d'acquisition de ce type d'images, des images I supplémentaires peuvent être insérées dans le flux d'origine.

Joo et al. [86] ont proposé une méthode pour insérer des images I supplémentaires dans les flux des chaines BTV en se basant sur la liste des chaines préférées ou bien les plus demandées pour chaque client. Ils ont essayé de trouver un compromis efficace entre le temps de changement de chaines et la consommation de la bande passante. Cependant, cette méthode réduit remarquablement l'efficacité de la compression vidéo.

Uzunalioglu [77] a tenté d'ajuster la durée du GOP pour réduire le délai de changement de chaînes et il a pu démontrer qu'on peut réduire le délai si on choisit une longueur de GOP appropriée. Plus précisément, les GOP les plus courts réduisent non seulement le délai d'acquisition de l'image I, mais également l'efficacité du codage, ce qui génère des flux vidéo avec un débit plus élevé. Il a évalué les différentes longueurs de GOP (GOP de taille de 6, 12 et 24 images) pour déterminer le nombre de flux qui peuvent être transmis simultanément sur un lien de transmission, sans impacter la qualité de service. Selon ses résultats de simulation, le nombre de flux pouvant être pris en charge par le lien est très similaire pour des longueurs de GOP de 12 et 24 images. Avec le GOP de 6 images, le lien supporte un flux vidéo de moins.

En résumé, même si les techniques décrites précédemment peuvent réduire le délai de changement de chaines, elles nécessitent une bande passante plus élevée au niveau du réseau, sans oublier la nécessité de modifier côté codeur et décodeur.

3.4.2 Techniques de prédiction des chaines

La prédiction des chaines est une technique dans laquelle une ou plusieurs chaînes (celles susceptibles d'être sélectionnées par le client) sont demandées en plus de la chaîne que l'utilisateur est en train de regarder afin de réduire le temps de changement de chaînes [87].

Étant donné que la plupart des manouvres de changement de chaînes sont séquentielles (à l'aide des boutons " haut " et " bas " de la télécommande), la méthode de prédiction la plus simple consiste à demander à l'avance les chaînes BTV voisines, comme le montre la figure 3- 5. Si la prédiction est correcte, il y aura aucun délai, car le flux de la nouvelle chaine sera déjà disponible dans la mémoire tampon du STB [88].

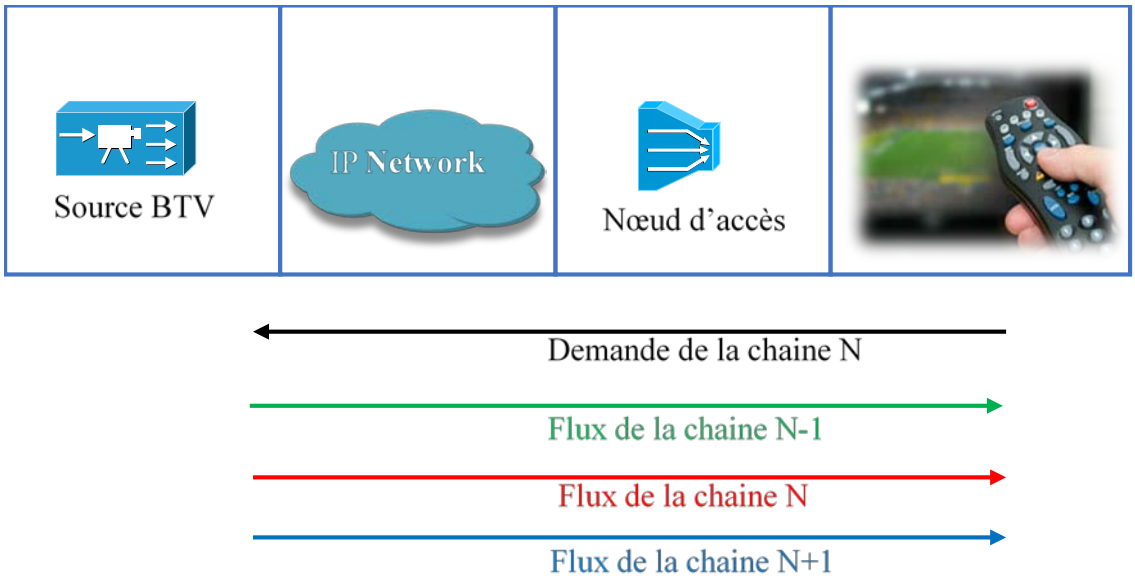

Figure 3-5 : Pré-demande des chaines pour réduire le délai de changement de chaines

Oh et al. [89] ont présenté plusieurs techniques hybrides de pré-demande et de réorganisation des chaines et ont montré que la technique de

pré-demande des chaines adjacentes est plus performante que la technique de pré-demande des chaines populaires.

Lee et al. [90] ont proposé l'utilisation d'un serveur qui collecte les informations sur les événements de changement de chaines envoyés par les STBs et gère les statistiques pour chaque client. En se basant sur ces statistiques, une liste de chaines peut être prédite et pré-demandée, ce qui permet de réduire le temps de changement de chaines par la suite.

3.4.3 Techniques basées sur le codage vidéo évolutif

La technique de codage vidéo évolutif (Scalable video coding SVC) est une extension de compression vidéo utilisée pour adapter le débit du flux vidéo aux différents besoins des clients finaux, aux différentes capacités des terminaux ou aux conditions du réseau [91].

Cette technique permet à une vidéo d'être encodée avec plusieurs couches de qualité dans le même fichier vidéo pour ensuite être décodée graduellement en fonction des capacités de la bande passante. Grâce à cette extension, dans un seul fichier, et dans le même flux, il existe différentes couches encodées en différentes résolutions et niveaux de qualités.

Plusieurs chercheurs se sont basés sur la technique SVC pour réduire le délai de changement de chaine. Lee et al. [92] ont attribué la couche de base et la couche d'amélioration de chaque chaine à deux groupes distincts de multicast.

Supposons par exemple, qu'il y a quatre chaines BTV, dont chacune est composée d'une couche de base Bi et d'une couche d'amélioration Ei, comme le montre la figure 3- 6.

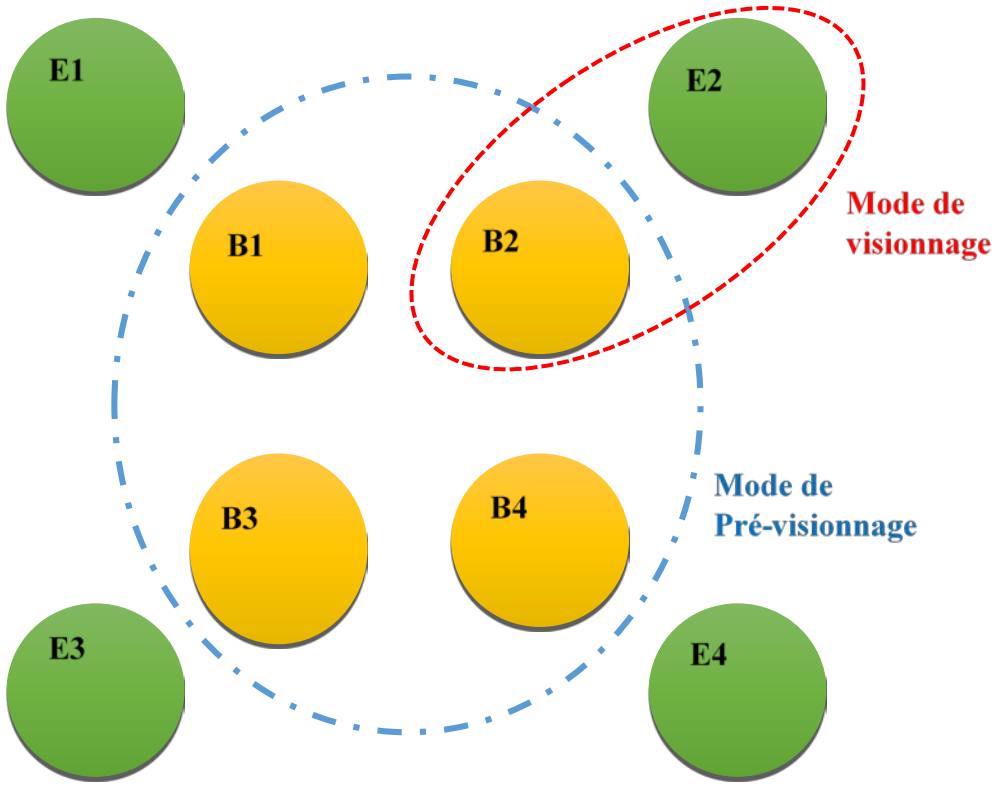

Figure 3-6 : Technique SVC pour réduire le délai de changement de chaines

Les couches de base d'un ensemble de chaines candidates sont stockées dans la mémoire tampon. Le changement de chaines en mode de pré-visionnage est immédiat car les utilisateurs accèdent aux couches de base sans délai. En mode de visionnage, les couches de base et d'amélioration de la chaine sélectionnée sont utilisées simultanément pour obtenir une qualité optimale.

3.4.4 Techniques basées sur le protocole IGMP

Certains chercheurs ont tenté d'atténuer l'impact du réseau d'accès comme la latence en apportant quelques améliorations sur les caractéristiques du protocole (IGMP). Sarni et al. [93] ont proposé d'envoyer un message IGMP-joint pour la chaine demandée avant de quitter la chaine actuellement

visionnée en envoyant un message IGMP-leave. Les résultats de simulation montrent que cette solution améliore le temps de changement de chaines sans augmenter l'utilisation de la bande passante au niveau réseau.

3.4.5 Solution FCC

La solution FCC (Fast Channel Change) est la technique la plus répandue et la plus déployée par les opérateurs télécoms pour réduire le délai de synchronisation des chaines BTV (peut être aussi utilisée pour récupérer les paquets perdus BTV en se basant sur la technique FEC).

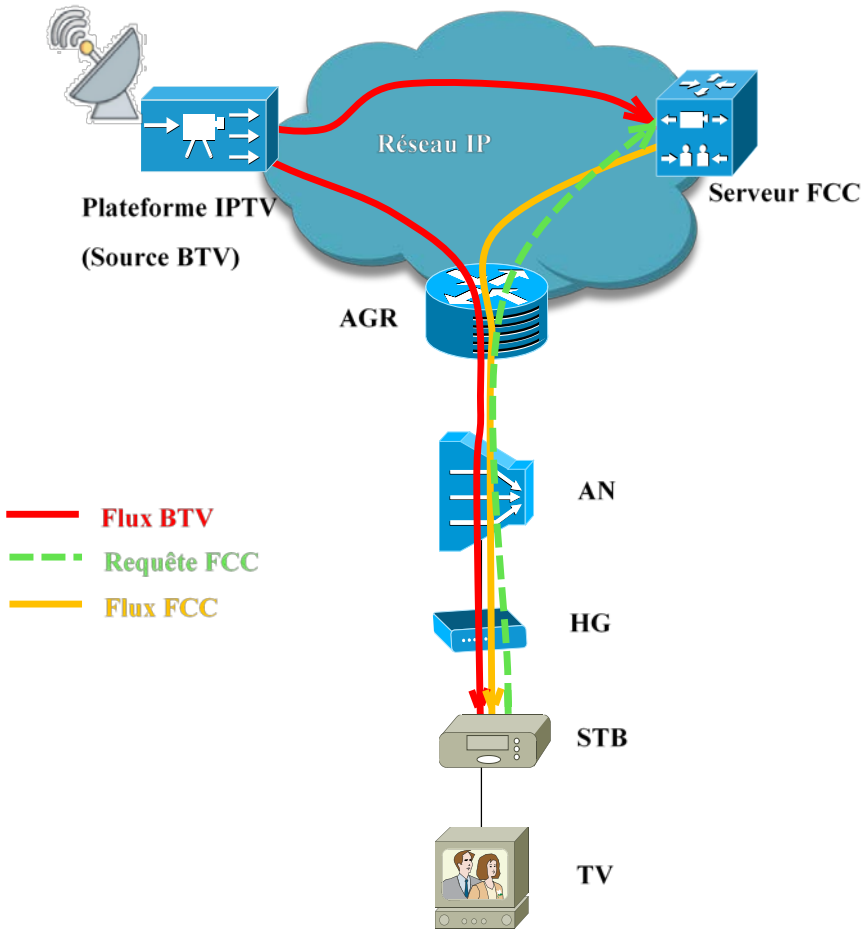

Figure 3-7 : Architecture de la solution FCC

Cette technique consiste à envoyer l'image de référence I manquante au STB (avec une vitesse supérieure à la vitesse du flux multicast) après chaque demande de changement de chaine, dans ce cas le STB sera capable de commencer le décodage du flux reçu sans être obligé d'attendre la prochaine image de référence I [94], [95].

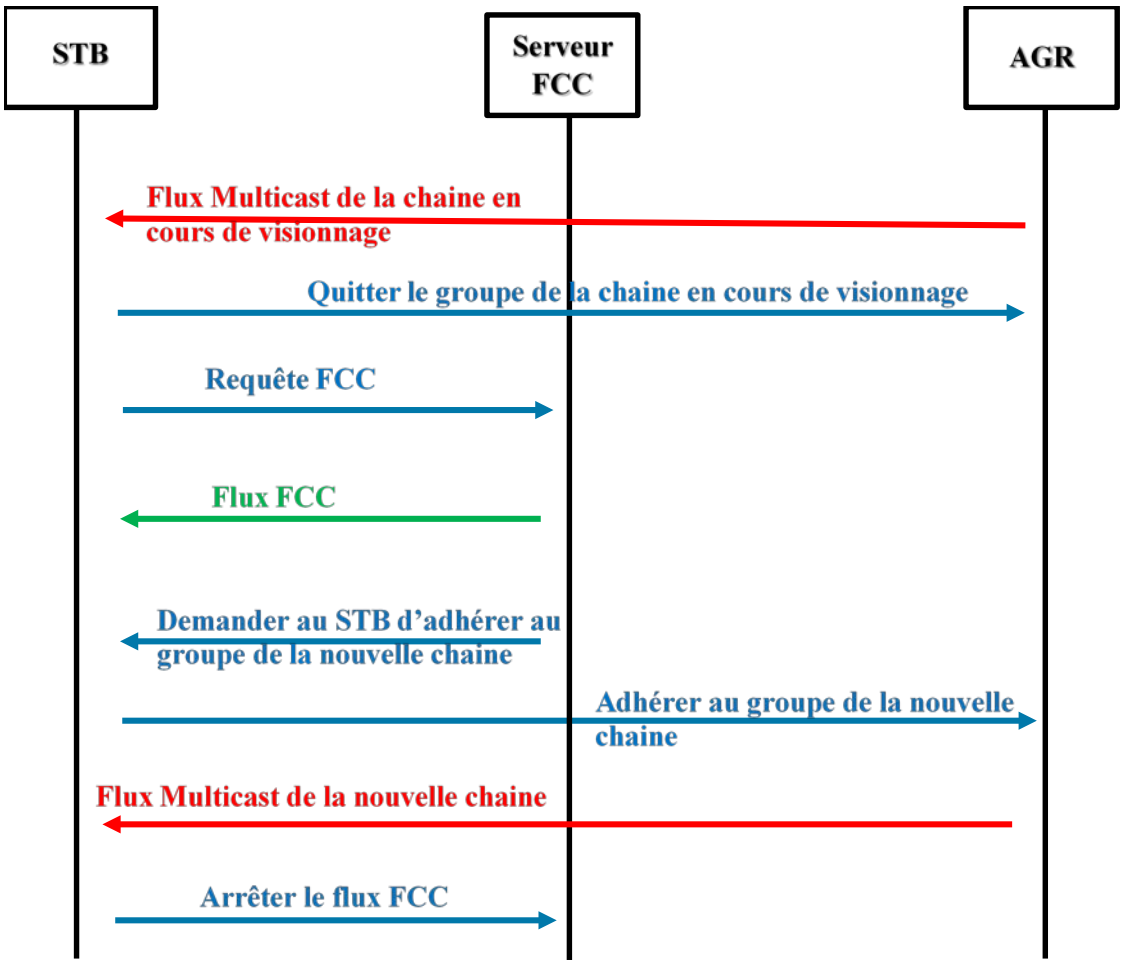

Figure 3-8 : Principe de fonctionnement d'une solution FCC

Comme montré dans la figure 3- 7, cette solution consiste à implémenter un serveur FCC au niveau du réseau IP capable de communiquer avec les STBs des clients. Ce serveur FCC reçoit instantanément le trafic de toutes les

chaines BTV (en multicast) et le stocke pour quelques secondes, le temps nécessaire pour couvrir la période FCC.

Après chaque demande de changement de chaine, le STB envoie un message IGMP leave pour quitter le groupe multicast correspondant à la chaine visionnée et en même temps une requête FCC au serveur FCC pour demander le trafic unicast contenant l'image de référence I manquante.

Le serveur FCC envoie le flux FCC au STB, ce flux commence par l'image de référence I précédente nécessaire pour le décodage. Le flux FCC a un débit généralement supérieur au débit du flux BTV normal (débit flux multicast) afin minimiser le temps d'acquisition de l'image I.

A un moment donné, le serveur FCC demande au STB d'adhérer au nouveau group multicast correspondant à la nouvelle chaine. Après avoir demandé et reçu le premier paquet multicast de la nouvelle chaine, le STB informe le serveur FCC pour qu'il arrête l'envoi du flux FCC (figure 3-8).

3.5 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents facteurs contribuant au problème de délai de changement de chaines ainsi les différentes techniques proposées pour remédier à ce problème de délai. Parmi les techniques proposées, celle qui consiste à déployer un serveur FCC au niveau du réseau pour assister les STBs durant chaque changement de chaine, cette technique reste la technique la plus pratique et la plus performante et peut être exploitée également pour retransmettre les paquets perdus durant la transmission du flux BTV.

Chapitre 4

Contribution 1 : Optimisation de la bande passante FCC

4.1 Introduction

La solution FCC (Fast Channel Change) est la technique la plus utilisée par les opérateurs télécoms pour réduire le délai de changement de chaines BTV, cette technique est basée sur l'envoie d'un flux contenant l'image de référence I au STB après chaque demande de changement de chaines, pour que le STB puisse entamer le décodage de la vidéo sans être obligé d'attendre la prochaine image de référence I.

En mode BTV, le multicast réduit remarquablement le volume du trafic IPTV car il permet d'émettre une seule copie de trafic à plusieurs clients, c'est le réseau IP qui est alors chargé de dupliquer de façon optimale le trafic au plus près des récepteurs en créant des arbres de distribution multicast. Après chaque changement de chaine le trafic FCC est envoyé au STB en unicast, ce qui crée une surcharge au niveau de réseau IP (figure 4- 1), ce phénomène s'accentue lorsque les utilisateurs IPTV changent fréquemment les chaines soit pour éviter les pauses publicitaires, soit pour chercher leurs émissions préférées.

La technique FCC présente donc des problèmes d'évolutivité et de dimensionnement sans oublier qu'elle est relativement coûteuse à déployer, car elle nécessite l'ajout de nombreux serveurs dédiés au niveau du réseau, sans oublier qu'elle demande une bande passante unicast relativement importante.

Begen et al. [74], [96] ont proposé une approche unifiée qui peut être utilisée à la fois pour retransmettre les paquets (du flux BTV) perdus en temps réel et pour réduire le délai de changement de chaines.

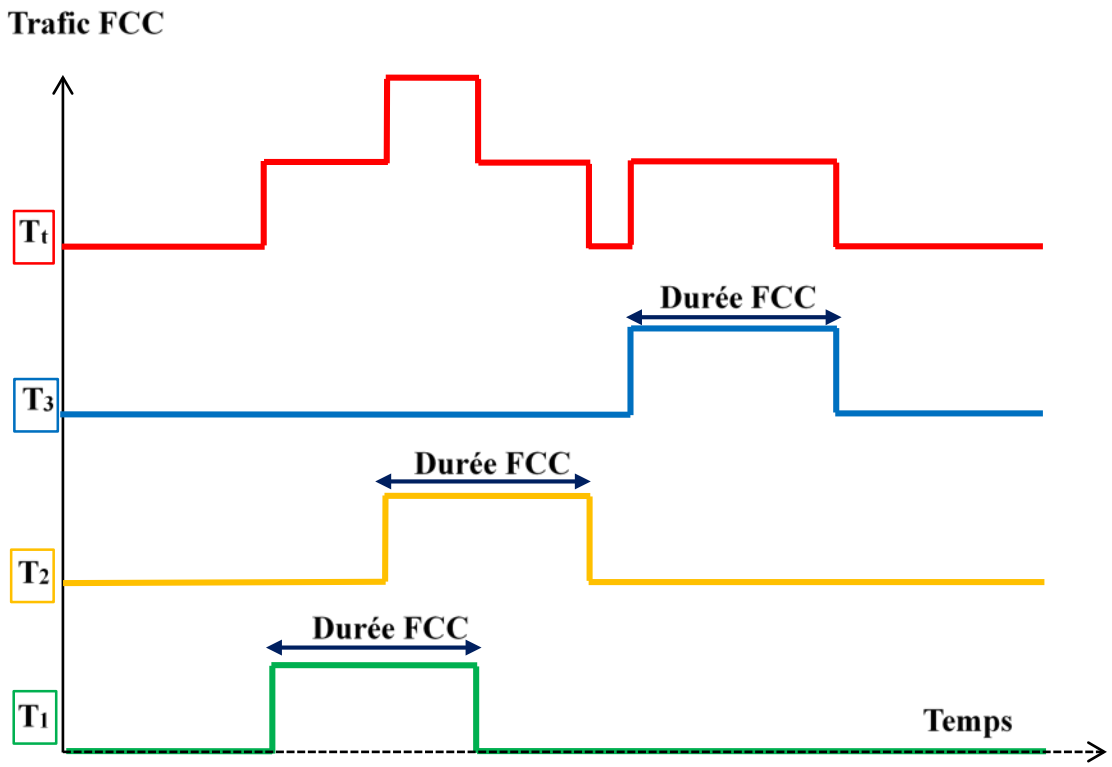

Figure 4-1 : Trafic FCC au niveau d'un nœud d'accès

Sasaki et al. [75] et Banodkar et al. [85], proposent d'envoyer deux flux au STB un flux multicast en parallèle avec le flux original. Il s'agit simplement d'une version retardée du flux d'origine, ce qui permet de diminuer le buffer

à la moitié et si d'autres clients changent la chaine en même temps le multicast supprime les requêtes dupliquées.

D'autre solutions proposent de déployer les serveurs FCC au niveau de chaque région afin de réduire le trafic unicast envoyé par le serveur FCC central (figure 4-2).

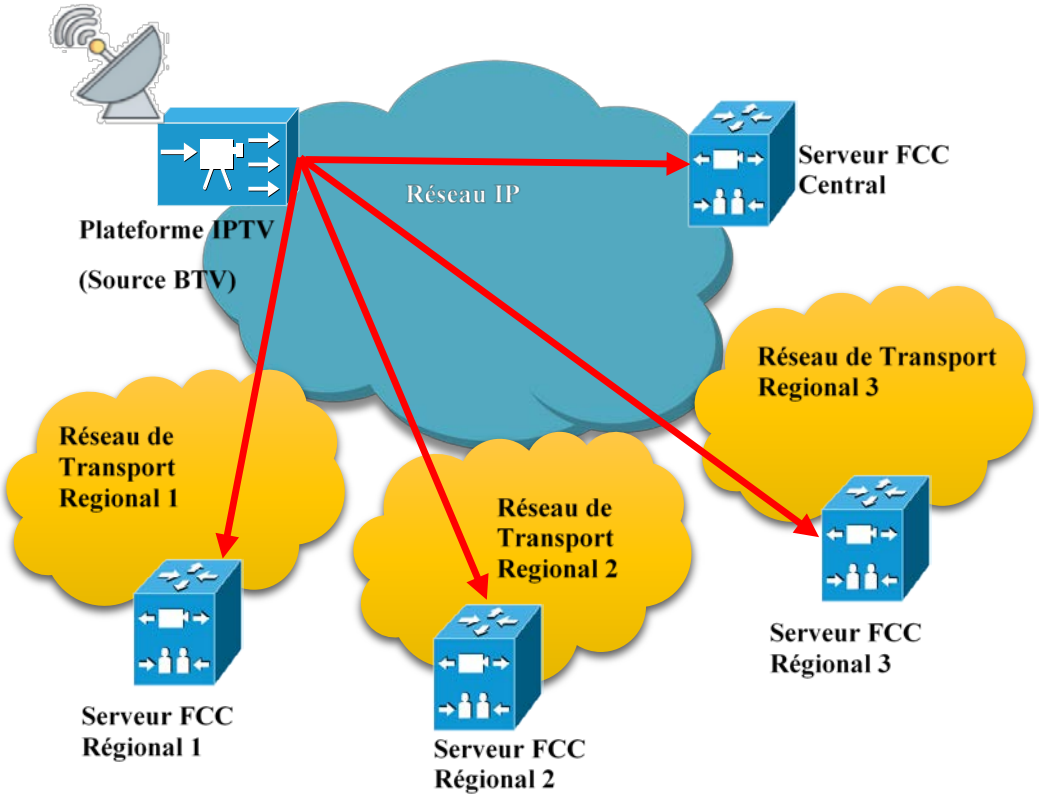

Figure 4-2 : Déploiement des serveurs FCC régionaux

4.2 Solution proposée pour optimiser la bande passante FCC

Pour réduire la consommation de la bande passante du trafic FCC au niveau du réseau, nous avons proposé une nouvelle solution comme indiqué sur les figures 4-3 et 4-4, qui consiste à implémenter les capacités et les fonctionnalités du serveur FCC au niveau du STB client en parallèle avec le

serveur FCC central [97]. Le serveur FCC fonctionne dans ce cas comme contrôleur (FCCC, FCC Controller) des STBs (serveurs FCC locaux) et en même temps en tant que serveur FCC traditionnel. Lorsque le STB reçoit le flux d'une chaine, il le décode et il l'affiche sur l'écran de l'utilisateur et en même temps il garde ce flux dans son cache (buffer) pendant quelques secondes pour le transmettre après à un autre STB voisin (qui appartient au même nœud d'accès) intéressé par la même chaine.

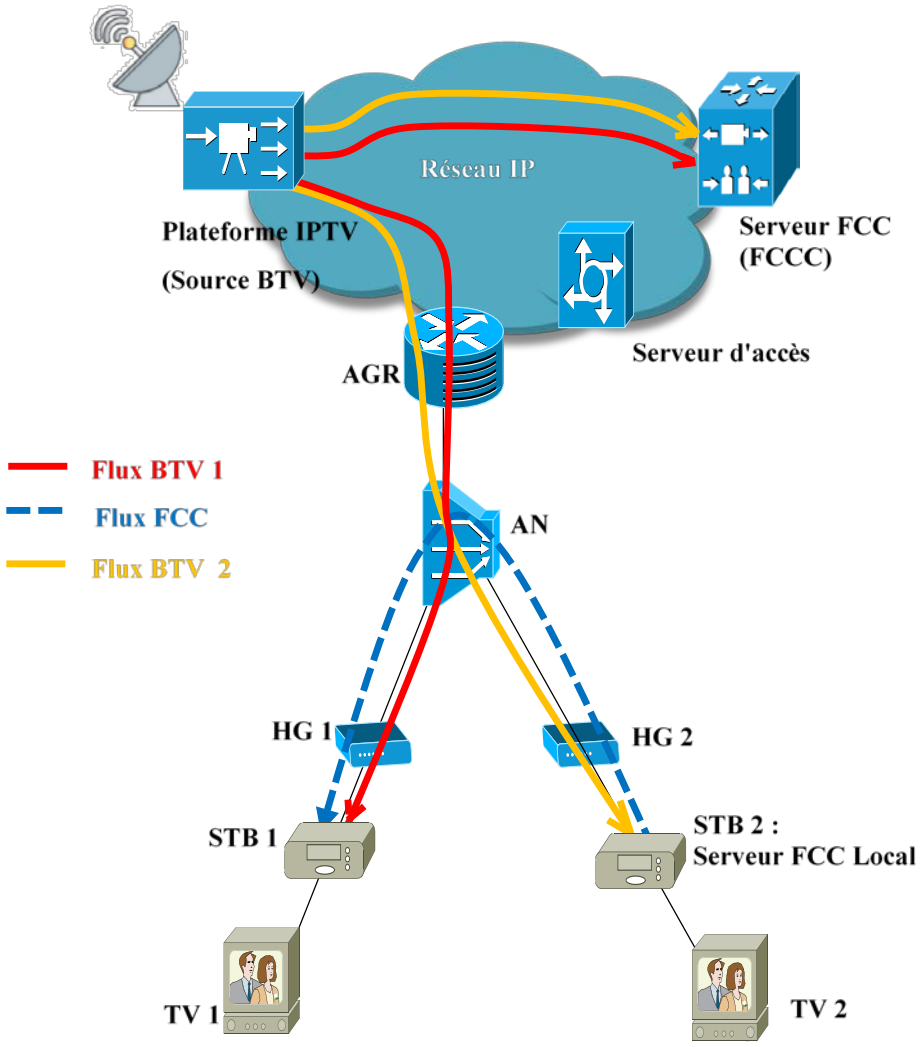

Figure 4-3 : Solution proposée pour optimiser la bande passante FCC

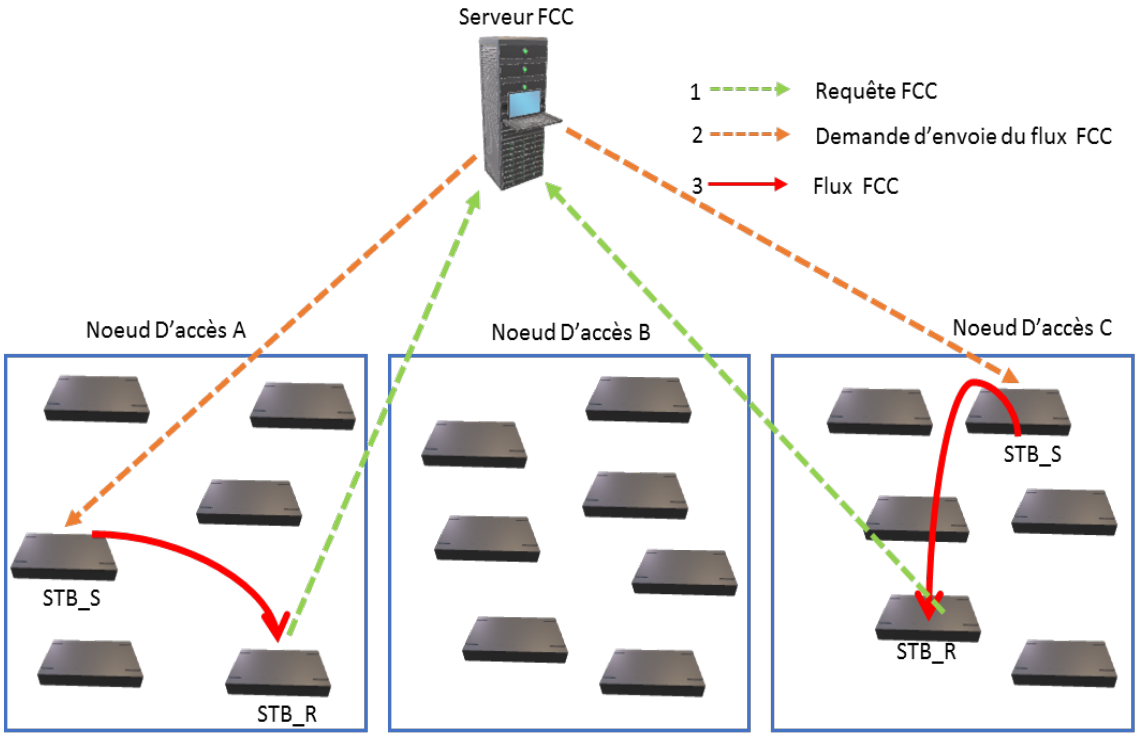

Figure 4-4 : Schéma de communication de la nouvelle solution FCC proposée

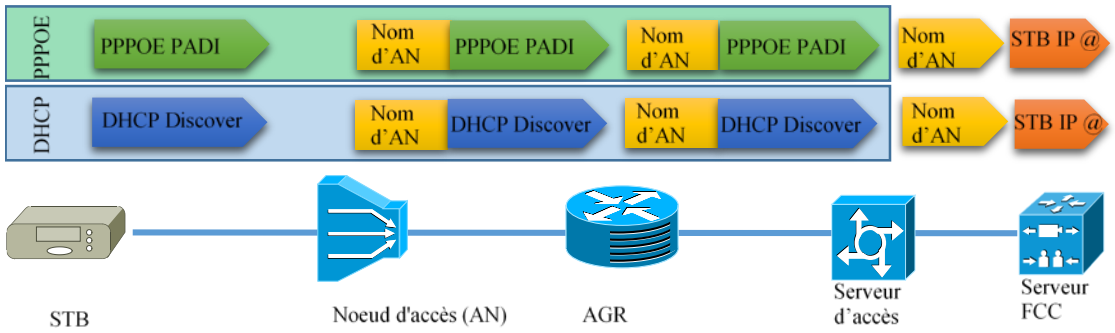

Figure 4-5 : Technique de localisation des STB

La solution proposée est basée sur un modèle de communication paire à paire, chaque STB reçoit le flux BTV en multicast et le transmet à son STB voisin en unicast. Cependant le trafic unicast transmis par les STBs consomme une partie importante de la bande passante montante, ce qui limite le

déploiement de notre solution au niveau des réseaux offrant des accès avec un débit montant généralement limité comme le cas de l'ADSL par exemple.

Pour éviter tout problème lié à la bande passante, notre proposition s'adresse principalement aux technologies très haut débit telles que VDSL, GPON et Ethernet qui fournissent une large bande passante dans le sens montant.

Pour déterminer l'emplacement physique des clients IPTV, nous avons exploité les options de sécurité des protocoles d'accès tel que et PPPOE vu qu'ils sont les protocoles les plus utilisés pour l'authentification et la gestion des clients IPTV.

Nous proposons d'activer l'option DHCP 82 ou l'option PPPOE+ (selon le protocole d'accès utilisé) sur le nœud d'accès. De cette façon, les informations des clients seront envoyées au serveur d'accès via les messages DHCP Discover ou bien via le message PADI. Dés que le serveur d'accès reçoit ces informations, il les transmet (avec l'adresse IP du STB) au serveur FCC pour mettre à jour les informations des clients (figure 4- 5). Les informations des clients sont regroupées au niveau du serveur FCC dans une base de données ,appellée base de données FCC.

4.3 Principe de fonctionnement de la solution proposée

De nombreux facteurs entrent en jeu durant la mise en service de la solution proposée, dont on peut citer :

Les paquets perdus : Les paquets RTP peuvent être perdus lors du transfert et ne peuvent pas atteindre l'adresse du STB pour de multiples raisons.

Jitter : C'est la variation du délai de transfert du paquet IP. C'est un paramètre de qualité de service très important pour les services IPTV. Le jitter doit être le plus faible possible. Le jitter est due principalement aux délais de transferts variables dans les nœuds du réseau.

Etat du STB émetteur : Si le STB émetteur devient injoignable, le serveur FCC central doit intervenir pour assurer l'émission du flux FCC.

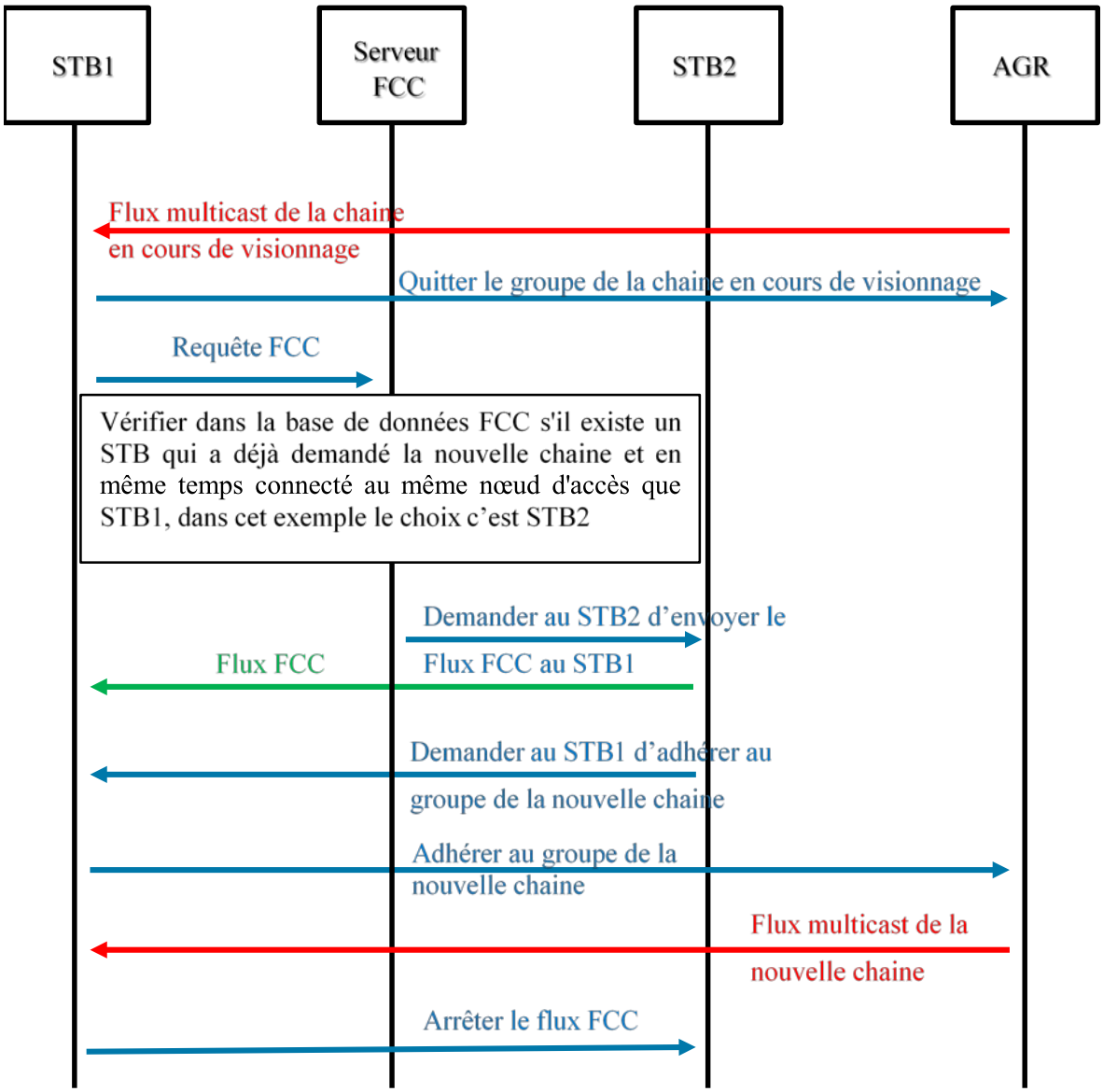

Figure 4-6 : Principe de fonctionnement de la nouvelle solution FCC proposée

Plusieurs scénarios peuvent donc se produire durant l'assistance par la nouvelle solution FCC en fonction des facteurs cités ci-dessus, chaque scenario dépend de l'état du STB émetteur, ainsi de la qualité de la transmission (Jitter et paquets perdues) :

- **Scénario 1 : Le STB continue de recevoir le flux de la chaine pendant la période FCC.**

La figure 4-6 explique le principe de fonctionnement de la nouvelle solution, lorsque l'utilisateur change la chaine, le STB1 envoie une requête FCC au serveur FCCC (serveur FCC central), le serveur FCCC met à jour les informations relatives au STB1 dans la base de données FCC, y compris le temps exact du changement de la chaine, l'adresse IP du STB et l'ID (Identifiant) de la nouvelle chaine.

Le temps de changement de chaine est ajouté à cette base de données afin de faciliter la vérification de la mémoire tampon de ce STB, et décider par la suite si ce STB peut partager le flux FCC avec d'autes STB ou non.

Lorsque le serveur FCCC découvre qu'un STB est déjà connecté au même nœud d'accès et qu'il dispose déjà du flux FCC de la chaine requise, le serveur FCCC demande à ce STB (STB 2) d'envoyer le flux FCC au STB1 avec une vitesse supérieure à la vitesse du flux normal (vitesse de la chaine BTV).

A un moment donné, le STB2 demande au STB1 d'adhérer au nouveau group multicast correspondant à la nouvelle chaine. Après avoir demandé et reçu le premier paquet multicast de la nouvelle chaine, le STB1 informe le STB2 pour qu'il arrête l'envoi du flux FCC.

- **Scénario 2 : Le STB émetteur devient injoignable**

Dans le cas où le STB émetteur deviendrait injoignable pendant la période FCC, le STB (récepteur) peut demander au serveur FCC central de reprendre la diffusion du flux FCC en signalant le numéro de séquence du dernier paquet RTP reçu [98].

- **Scénario 3 : Perte de paquets et jitter**

En cas de présence de perte de paquets ou bien de jitter pendant la transmission du flux FCC, le STB (récepteur) peut demander le paquet RTP manquant au serveur FCC central en indiquant le numéro de séquence de ce paquet perdu.

- **Scénario 4 : Aucun STB ne satisfait les conditions requises**

Au cas où le serveur FCCC ne trouverait aucun STB répondant aux exigences du serveur FCC, il fournira le flux FCC par lui-même conformément à l'ancienne technique de FCC.

Le diagame de la figure 4-7 résume les principales étapes de la nouvelle solution.

4.4 Algorithme de sélection du STB source (Serveur FCC local)

La nouveauté de cette contribution est que le nouveau serveur de control FCC (FCCC) a deux rôles, le premier c'est de gérer les demandes FCC des STBs conformément au principe de fonctionnement déjà cité auparavant, son second rôle est le control des STB (FCC locaux) et la sélection du STB approprié pour agir comme serveur FCC local.

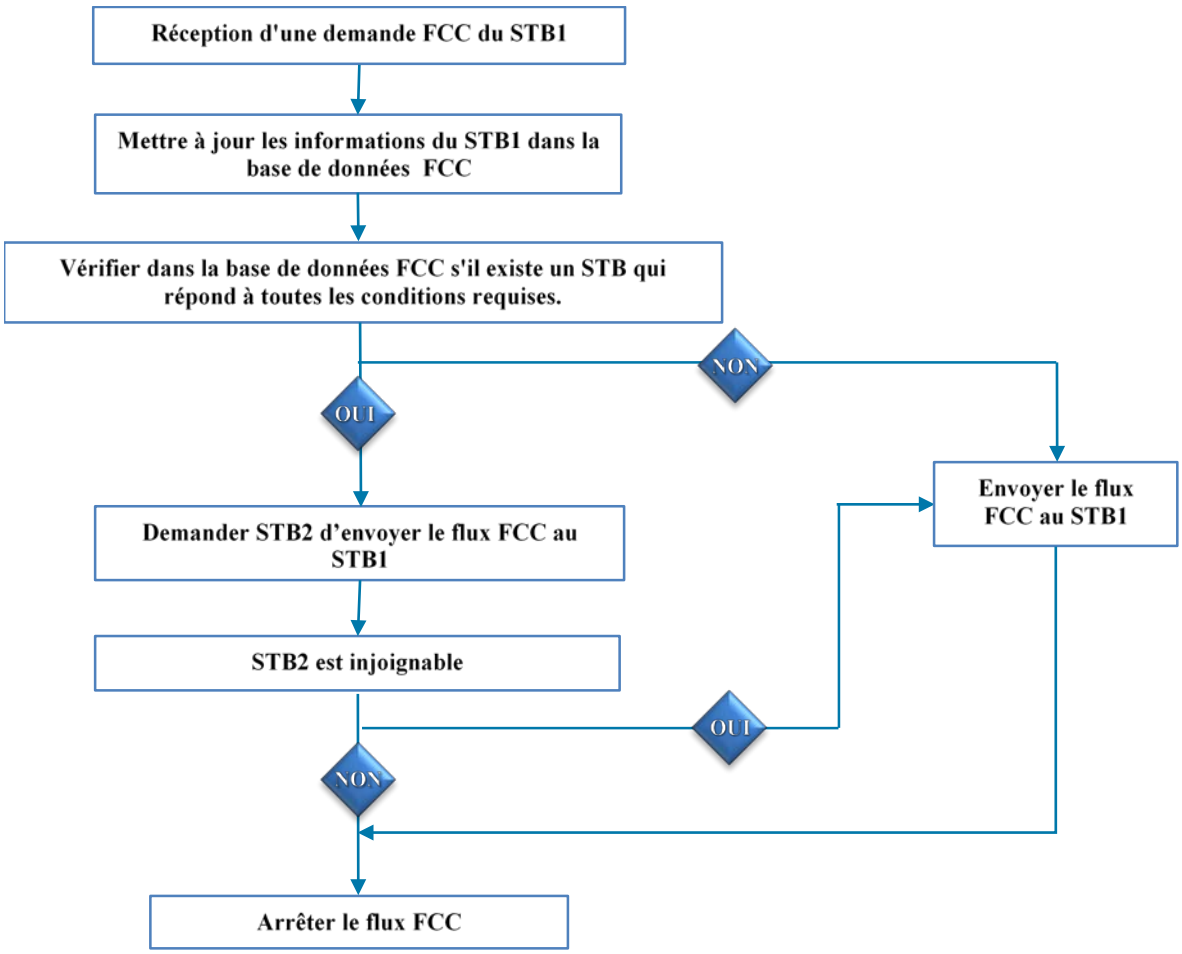

Figure 4-7 : Etapes de la solution FCC proposée

Le serveur FCCC construit une base de données FCCC en se basant sur les informations reçues du serveur d'accès et des demandes de changement de chaines (envoyées par les STBs).

La base de données FCCC est composée de plusieurs bases de données, chaque nœud d'accès a sa propre base de données dans le serveur FCCC. Nous considérons la base de données FCCC comme une matrice (figure 4-8) où le nombre de lignes est le nombre de STB par nœud d'accès et le nombre de colonnes est le nombre d'échantillons par unité de temps.

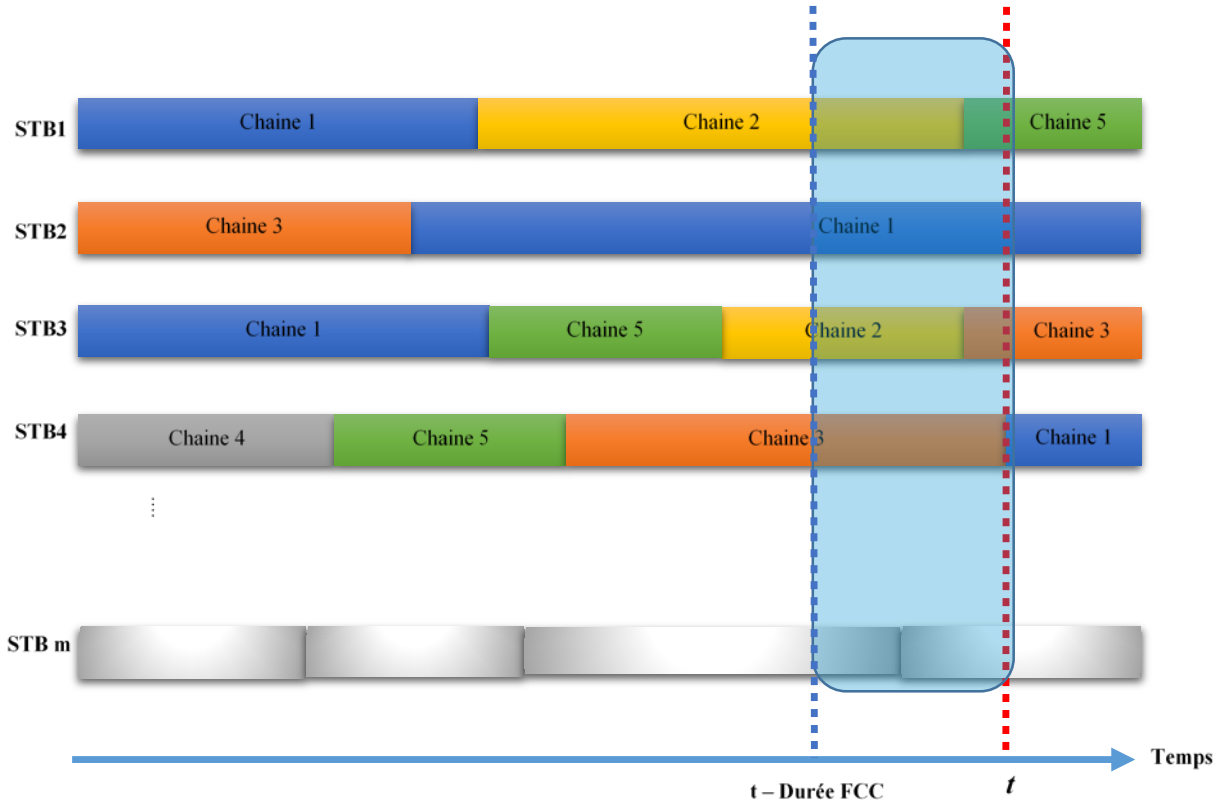

Figure 4-8 : Base de données FCCC

2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1

Figure 4-9 : Exemple d'une base de données FCCC

lorsque le serveur FCCC reçoit une demande FCC, il met à jour la base de données relative à ce STB, pour optimiser la mémoire et le traitement, le serveur FCC sauvegarde les différentes informations collectées que pour quelques secondes. Par exemple dans la figure 4-8, le STB4 passe de la chaine numéro 3 à la chaine numéro 1 (Figure 4-9), après la réception de la demande

de changement de chaine du STB, le serveur FCCC met à jour la ligne 4 correspondant au STB4 à l'instant t (de 3 à 1).

Le serveur FCCC analysera ensuite toutes les lignes de la matrice pour vérifier s'il y a un STB qui dispose d'une mémoire tampon complète de la chaine 1. Après vérification, le résultat sera STB2 car ce STB a déjà demandé et reçu le trafic de cette chaine pendant une durée superieure à la durée de FCC, ce qui signifie que ce STB a un une mémoire tampon FCC complète, et peut donc être utilisé comme serveur FCC local.

Pour éviter l'encombrement de la liaison d'accès, le FCCC ne peut pas sélectionner un STB plus d'une fois pendant la période FCC. Après chaque sélection du STB, le FCCC lance un compte à rebours (la durée de la minuterie est égale à la durée FCC) et le lie au STB sélectionné. De cette façon le STB ne peut être sélectionné que lorsque le compte à rebours aura expiré.

Généralement, le serveur FCCC calcule l'ID du STB, qui peut agir comme un serveur FCC en se basant sur la formule suivante :

$$\boldsymbol{Max}\{[\boldsymbol{I_n} - ((\boldsymbol{C} + \boldsymbol{I_n})^{-1})^{\alpha} \times (((\boldsymbol{S} - \boldsymbol{I_n})^{-1})^{\alpha}) \times ((\boldsymbol{p} - \boldsymbol{I_n})^{-1})^{2} + \boldsymbol{I_n}]^{\alpha} \times \boldsymbol{V}\}$$

Où :

- $\boldsymbol{I_n}$: Matrice unité.
- **C** : Matrice carrée, de taille m, avec des éléments de vecteur U sur la diagonale principale et zéro ailleurs.

$$C = \begin{pmatrix} U(1) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & U(m) \end{pmatrix}$$

- **U** : Vecteur colonne de taille m, qui contient les informations sur chaque STB . Ce vecteur est utilisé pour exclure les STB qui sont éteints, même si leurs mémoire tampon sont pleines d'après la base de données FCCC.

- $\boldsymbol{\alpha}$: Nombre entier infini, pour négliger les valeurs inférieures à un.
- **S** : Matrice carrée, où les éléments diagonaux sont la somme des lignes de la matrice M et les zéros ailleurs.

$$S = \frac{1}{n * U(k)} \times \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{n} M(1,i) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \sum_{i=1}^{n} M(m,i) \end{pmatrix}$$

- **P** : Matrice carrée, où les éléments diagonaux sont les produits des éléments de lignes de la matrice M et les zéros ailleurs.

$$P = \frac{1}{U(k)^n} \times \begin{pmatrix} \prod_{i=1}^{n} M(1,i) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \prod_{i=1}^{n} M(m,i) \end{pmatrix}$$

- **M** : Est la matrice de changement de chaines, qui contient les dernières informations de changement de chaine pour chaque utilisateur, elle est composée de n colonnes et de m lignes.
- $\mathrm{n} = \frac{\textbf{Durée du Buffer}}{\textbf{Δt}}$
- **Δt** : Intervalle d'échantillonnage, la distance entre les points où l'information est prise.
- **Durée du Buffer** : Durée de mémoire tampon FCC.
- **m** : Nombre de STBs en ligne .
- **V** : Vecteur colonne de taille m, où les éléments s'incrémente de 1.

Remarques :

- Dans la fonction principale, les matrices P, S et U ont été

modifiées afin d'éliminer les éléments différents de 1 en appliquant les fonctions$((\boldsymbol{x}-\mathbf{1})^{-\mathbf{1}})^{\mathbf{2}}+\mathbf{1})^{\boldsymbol{\alpha}}$,$((\boldsymbol{x}-\mathbf{1})^{-\mathbf{1}})^{\boldsymbol{\alpha}}$ et $(\mathbf{1}-((\boldsymbol{x}+\mathbf{1})^{-\mathbf{1}})^{\boldsymbol{\alpha}}$.

- Si le résultat de la fonction ci-dessus est nul, cela signifie qu'il n'y a aucun STB en ligne qui peut être utilisé comme FCC local.

4.5 Evaluation de performances

Pour évaluer les performances et l'efficacité de la solution proposée, nous avons créé une simulation de la consommation de la bande passante unicast entre le nœud d'accès AN et le routeur d'agrégation AGR en utilisant la plateforme de simulation MATLAB.

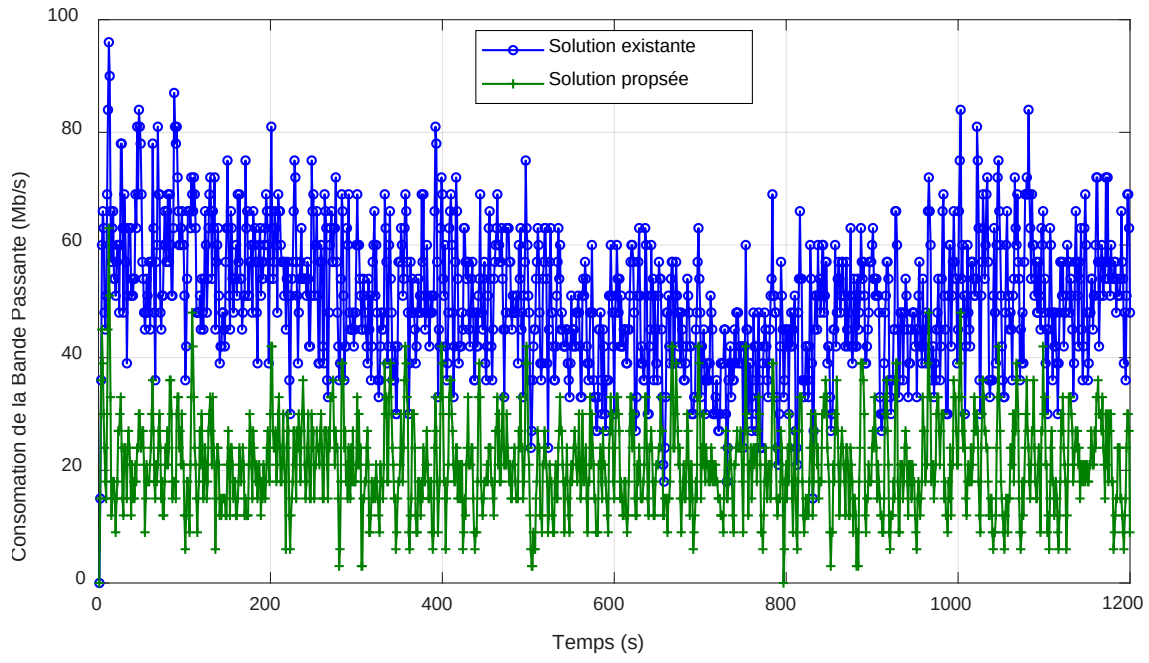

Figure 4-10 : Consommation de la bande passante FCC avant et après l'utilisation de la nouvelle solution

Nous avons considéré dans cet exemple de simulation que nous avons 120 clients IPTV qui peuvent changer aléatoirement jusqu'à 60 chaines BTV (de débit de 3Mb/s), et que la mémoire tampon FCC a une capacité de 3 secondes. Nous avons limité la durée de simulation à 1200 secondes.

Comme montré dans la figure 4-10, la nouvelle solution a réduit le trafic unicast envoyé par le serveur FCC central aux STBs lors du changement de chaines, les serveurs FCC locaux remplacent le serveur FCC central pour fournir le flux FCC unicast nécessaire pendant chaque changement de chaine.

La figure 4- 11 illustre la consommation de la bande passante en termes de nombre de chaines, le nombre d'utilisateurs est fixé à 60 utilisateurs et ils peuvent changer aléatoirement des chaines BTV pendant une durée de 400 secondes.

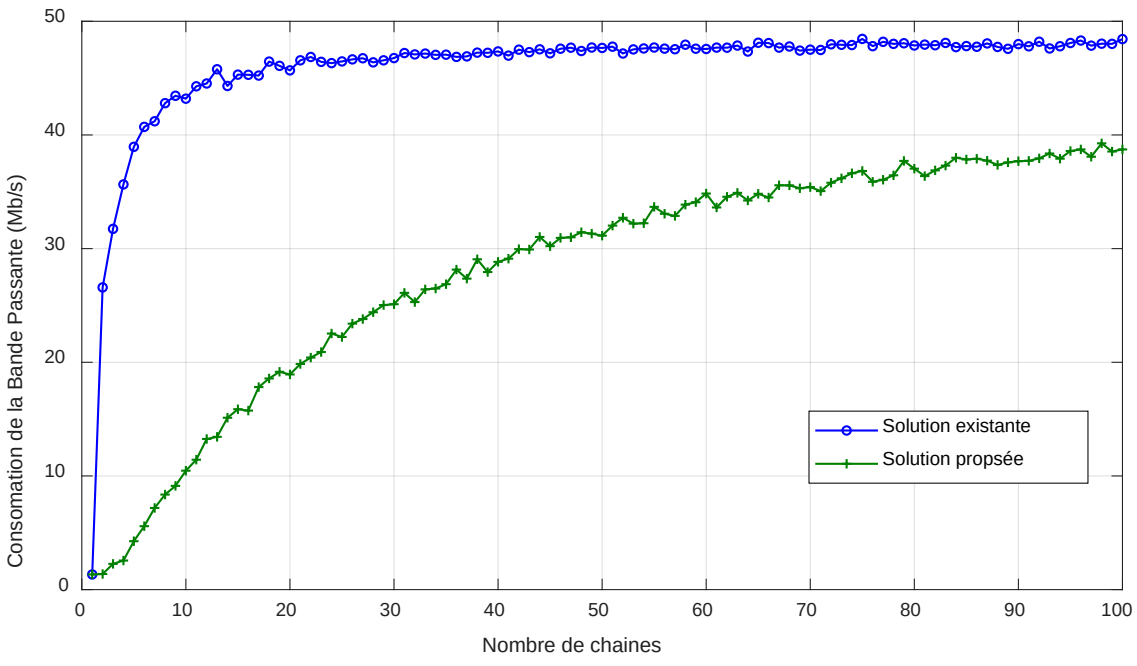

Figure 4-11 : Consommation de la bande passante FCC en fonction du nombre de chaines BTV

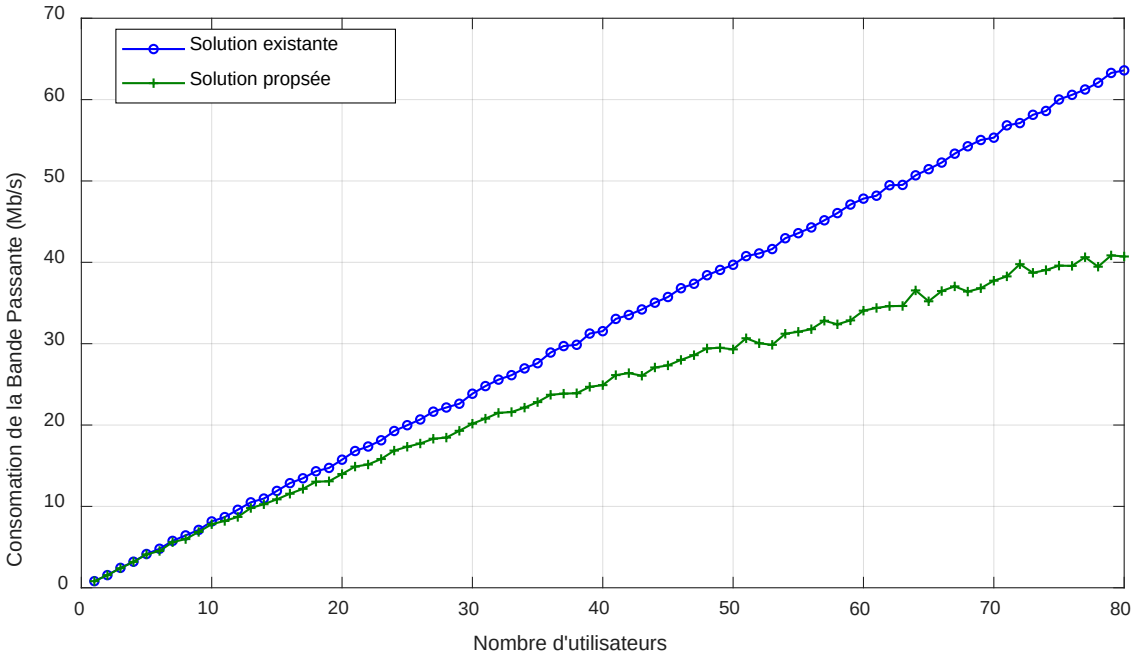

Figure 4-12 : Consommation de la bande passante FCC en fonction du nombre de clients

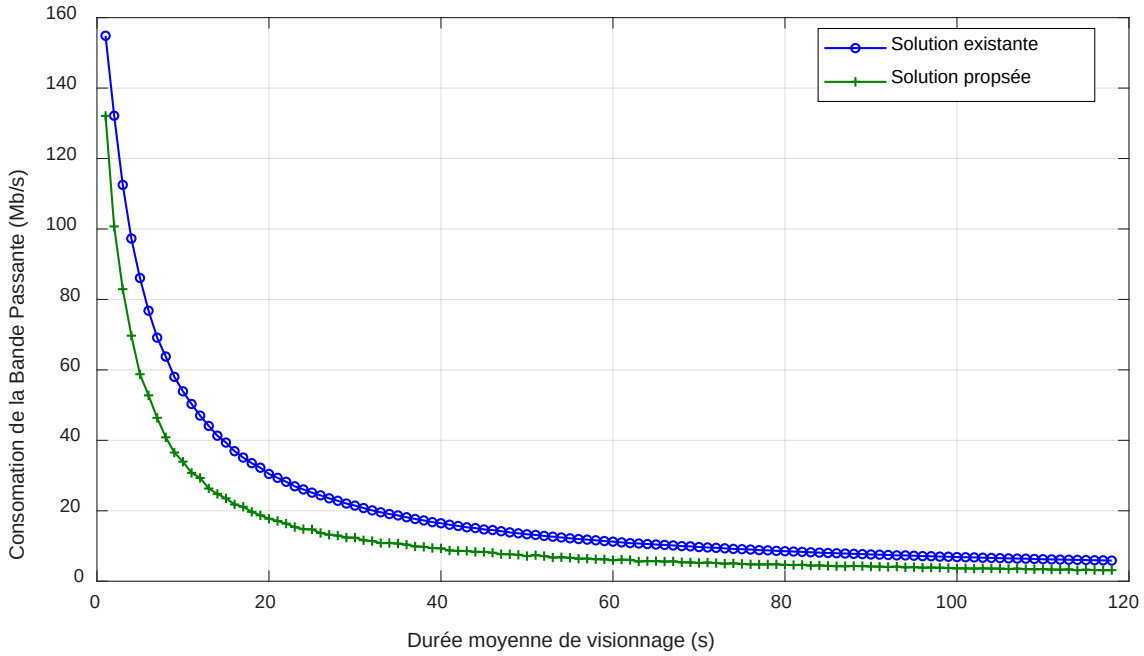

Figure 4-13 : Comportement de la bande passante FCC en fonction de la durée moyenne de visionnage

Nous remarquons dans cet exemple que lorsque le nombre de chaines est inférieur au nombre d'utilisateurs, l'efficacité de notre système est très importante car la probabilité de trouver plus d'utilisateurs regardant la même chaine qu'on veut regarder est élevée. Cela signifie que lorsqu'un utilisateur passe à une nouvelle chaine, nous avons plus de chance de trouver un autre STB raccordé sur le même nœud d'accès et disposant déjà du flux FCC de cette chaine, et qui peut être utilisé comme serveur FCC local.

Lorsque le nombre de chaînes augmente, les clients ont plus de choix et il est plus difficile de trouver plus de clients regardant la même chaîne, ce qui réduit remarquablement l'efficacité de la solution.

Dans la solution FCC traditionnelle, la bande passante unicast consommée par tous les utilisateurs pendant le changement de chaine est proportionnelle au nombre d'utilisateurs, mais dans la nouvelle solution, cette consommation de la bande passante diminue lorsque le nombre d'utilisateurs devient supérieur au nombre de chaines (60 chaines BTV en total). Cela signifie que nous avons une bonne optimisation une fois que nous avons plus d'utilisateurs qui regardent la même chaîne, comme illustré dans la Figure 4-12.

La figure 4-13 représente le comportement de la bande passante en fonction de la durée de visionnage des chaines (60 chaines BTV), l'ancienne et la nouvelle solution se comportent d'une manière similaire lorsque la durée de visionnage est longue, mais lorsque les utilisateurs (80 utilisateurs) commencent à changer les chaînes, la nouvelle solution devient plus optimale en termes d'optimisation de la consommation de la bande passante.

En résumé, la simulation de la solution proposée montre une très bonne gestion de la bande passante au niveau du réseau, et particulièrement lorsque le nombre de demandes de changement de chaines est très élevé et le nombre d'utilisateurs est supérieur au nombre de chaines BTV disponibles.

4.6 Conclusion

Nous avons présenté dans cette contribution une nouvelle solution pour gérer efficacement les ressources de la bande passante unicast sur le réseau IP pendant le changement de chaines BTV en implémentant la solution FCC inter-STBs. Cela signifie que s'il y a déjà un STB qui reçoit le flux d'une chaine et que cette chaine est demandée par un autre STB, qui est connecté au même nœud d'accès, ce STB peut transmettre le trafic FCC à son voisin au lieu du serveur FCC central. Dans les cas où il n'y a pas de STB qui peut répondre à ces exigences le serveur central FCC pourra livrer le trafic unicast au STB par lui-même, conformément à la technique FCC traditionnelle.

Chapitre 5

Contribution 2 : Optimisation de la bande passante TSTV

5.1 Introduction

L'un des services les plus attractifs de l'IPTV est la possibilité d'interagir avec plusieurs serveurs de contenu, à savoir la vidéo à la demande (VOD) et la télévision à rattrapage (TSTV). Le client peut choisir le contenu qu'il veut regarder ou bien revenir en arrière pour voir une action qu'il a manqué et continuer à regarder l'émission en différé [99]. La forte demande sur le service TSTV et VOD pousse les opérateurs IPTV à investir dans l'extension des capacités de stockage (Storage) et l'ajout de plus de serveurs régionaux dans la couche réseau d'accès tout en maintenant une consommation de la bande passante optimale.

Le service TSTV est basé sur un schéma client-serveur, le serveur TSTV est déployé au sein du backbone IP, afin de couvrir le maximum des clients, sauvegarde en continu les dernières heures ou les derniers jours le flux des chaines BTV en direct (selon la stratégie de l'opérateur et la capacité de stockage).

Les chaines BTV sont diffusées en multicast, qui est très bien dimensionné vis-à-vis de l'augmentation du nombre d'abonnés. En revanche,

le contenu TSTV est généralement diffusé en unicast, ce qui impose une lourde charge aux serveurs TSTV et à tous les composants du réseau surtout quand la demande augmente [2]. Avec la croissance rapide du nombre d'abonnés IPTV et le changement des habitudes de visionnage de la vidéo, les fournisseurs de services IPTV et les intervenants associés ont grand besoin de réduire efficacement l'énorme bande passante du trafic TSTV et de trouver des nouvelles alternatives pour la diffusion du contenu [2]–[4].

- **Déploiement de serveurs TSTV Régionaux.**

Afin de réduire la charge de trafic TSTV au niveau du réseau backbone IP et de soulager le serveur TSTV central, les fournisseurs IPTV déploient souvent des serveurs TSTV régionaux. Toutefois, cette solution reste moins efficace pour un déploiement à grande échelle. Par conséquent, de nombreuses études se sont penchées sur les systèmes de diffusion multicast/broadcast destinés à améliorer l'utilisation des ressources de la bande passante [15].

- **Techniques basées sur les solutions d'optimisation de la bande passante VOD**

Puisque les principes de fonctionnement des services VOD et TSTV sont quasiment les mêmes, la bande passante TSTV peut être optimisée en se basant sur les techniques d'optimisation de la bande passante VOD.

- Transmission du flux TSTV en Multicast : Technique Unified VOD

Pratiquement, on se rend compte que diffuser individuellement un contenu VOD à un nombre de clients va poser des problèmes de congestion au niveau de réseau cœur. En effet, ces flux transiteront au même endroit.

Pour remédier à ce problème, l'Unified VoD a été créé [100]. Son principe de fonctionnement est le suivant :

Un client A par exemple souhaite visualiser un contenu vidéo C. Le serveur VOD va diffuser le contenu vidéo en multicast vers le client A. Supposons qu'un client B arrive quelques minutes plus tard demande le même contenu vidéo C. Le serveur va se rendre compte que le contenu est en cours de diffusion, et va réémettre, cette fois ci en unicast, le début du contenu vidéo que le client B a manqué. De son côté, le STB du client B va mettre en cache le déroulement actuel du contenu vidéo en cours de diffusion pour le client A. En parallèle, elle va lire directement le flux unicast du début du contenu qui lui est dédié. Une fois le début du contenu vidéo manqué est récupéré, le STB poursuit la lecture dans son cache, tout en continuant son remplissage avec le contenu vidéo en cours de diffusion. La lecture du contenu vidéo se poursuivra donc avec le cache.

L'Unified VoD permet une économie considérable de la bande passante. Cependant, certains inconvénients existent :

- Lorsqu'un client demande un contenu vidéo qui a déjà débuté, ce dernier reçoit pendant une certaine période deux flux, nécessitant ainsi un débit deux fois supérieure à la normale.
- Le STB doit être équipée d'un cache suffisant grand pour mémoriser quelques minutes du contenu demandé.
- La quantité de contenu vidéo proposé par le fournisseur ne doit pas être trop importante sous peine de rendre inefficace l'Unified VoD (Trop peu de client demandant le même contenu vidéo simultanément).

- Partage pair à pair

La solution paire à pair (P2P) est une méthode de partage de données qui implique deux utilisateurs ou plus, qui partagent des portions de données directement d'un utilisateur à un autre sans avoir besoin d'un serveur VOD central. Pair à pair est un type de partage de données qui partage le flux vidéo regardé par un utilisateur avec d'autres utilisateurs en téléchargeant et partageant simultanément le flux vidéo.

Avec le streaming vidéo, l'utilisateur peut regarder la vidéo directement sans avoir besoin d'attendre jusqu'à ce que le fichier vidéo complet soit téléchargé et la vidéo peut être visionnée directement même pendant son téléchargement. Le partage vidéo pair à pair ajoute la possibilité de partager la partie déjà téléchargée et regardée de la vidéo par les utilisateurs et de la partager avec d'autres utilisateurs pour la regarder. Un plus grand nombre de pairs connectés (utilisateurs) améliorent la disponibilité du fichier vidéo et la vitesse de téléchargement pour les pairs qui collectent des données de fichiers à partir de plusieurs sources en même temps. Les sources sont d'autres utilisateurs au lieu d'un serveur VOD principal. Les techniques pair à pair réduiront efficacement la charge de trafic sur le serveur principal, ce qui minimisera la congestion du réseau, augmentera la fiabilité du réseau et réduira les coûts du système par la suite [101].

5.2 Solution proposée pour optimiser la bande passante TSTV

Nous avons proposé une nouvelle technique pour réduire la consommation de la bande passante TSTV basée sur l'assistance par STB utilisateur [102].

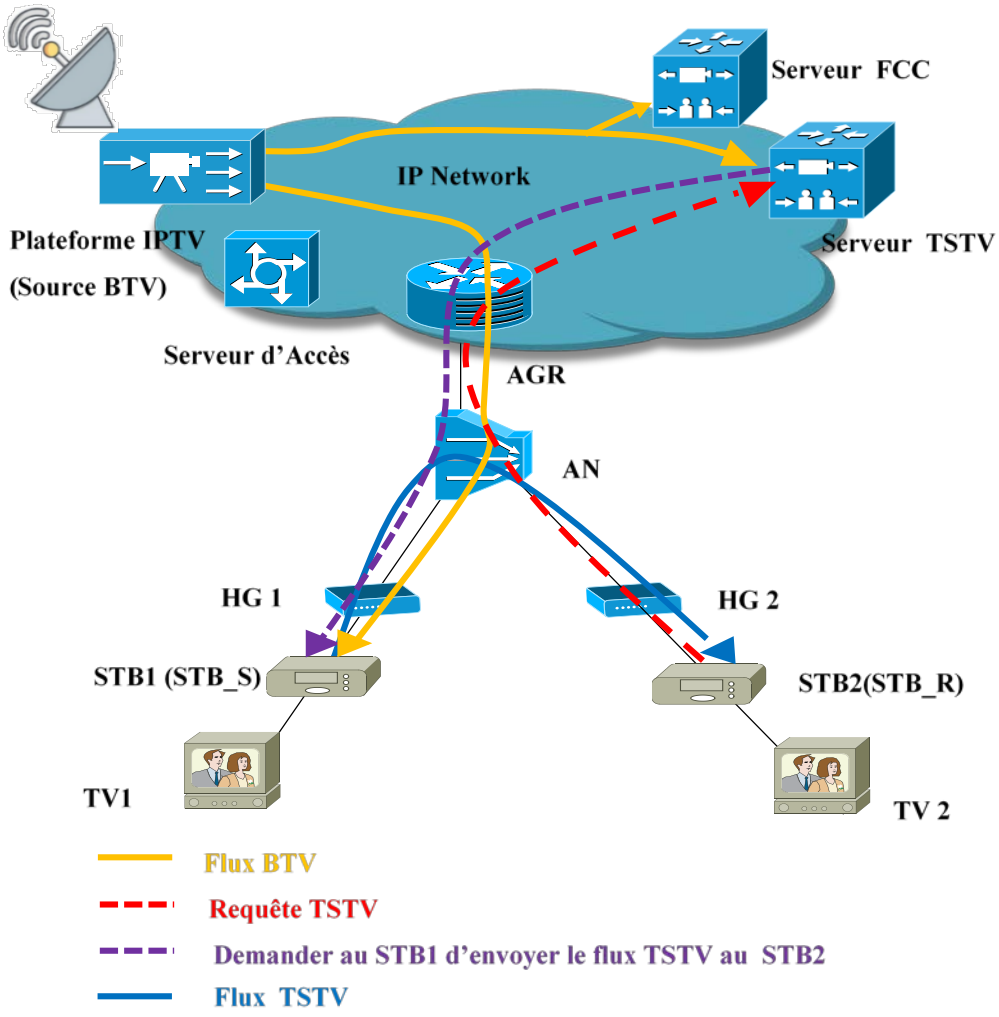

Figure 5-1 : Fonctionnement de la solution TSTV proposée

La solution proposée est basée sur l'implémentation d'une partie des fonctionnalités du serveur TSTV sur chaque STB utilisateur (figure 5- 1 et figure 5- 2), le serveur TSTV fonctionne dans ce cas comme contrôleur des STBs et en même temps comme serveur TSTV traditionnel. Le flux des chaines BTV demandées par l'utilisateur sera décodé et affiché sur le téléviseur de l'utilisateur et en même temps sera enregistré localement sur le STB pendant quelque temps pour qu'il soit disponible localement dans le cas où les STBs voisins (STBs appartenant au même nœud d'accès) demanderaient le même flux .

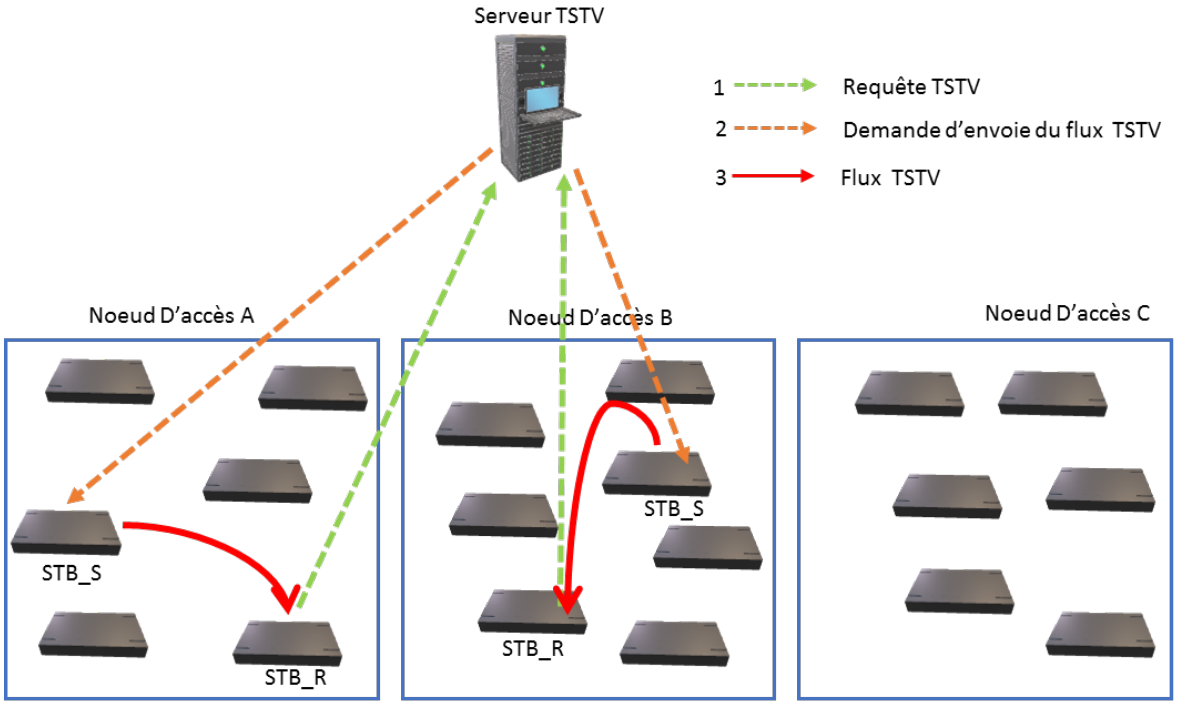

Figure 5-2 : Schéma de communication de la nouvelle solution TSTV

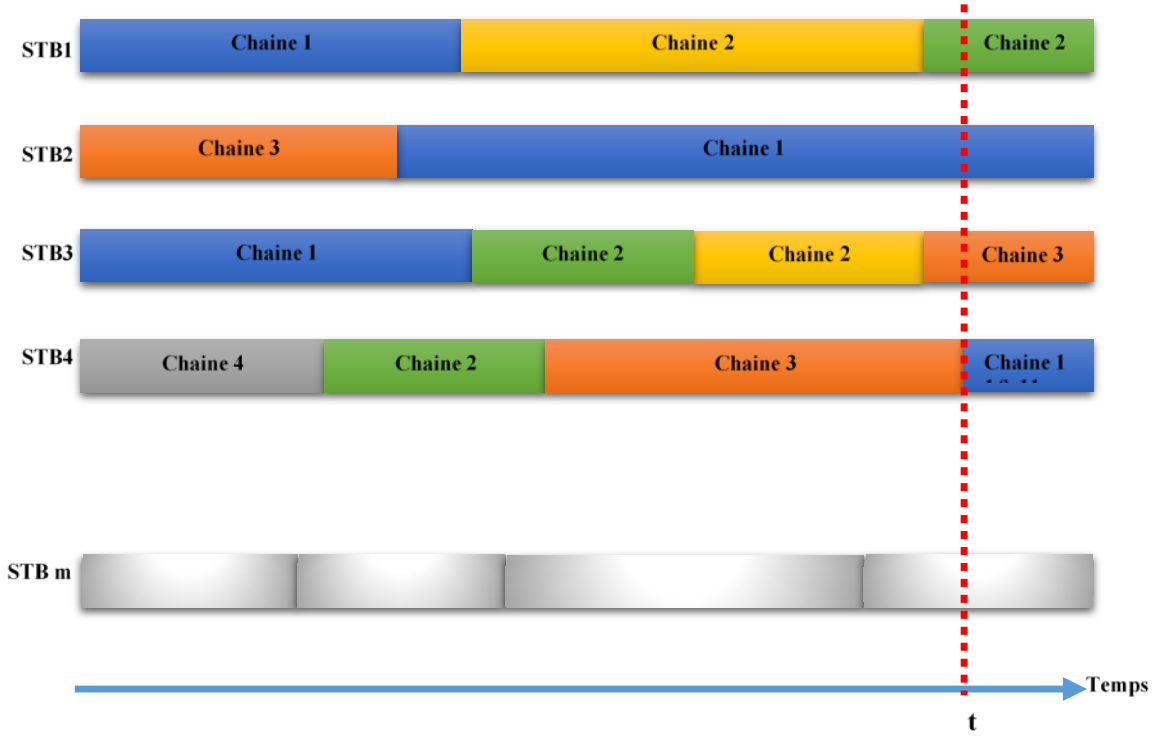

Figure 5-3 : Exemple d'une base de données TSTV

5.3 Principe de fonctionnement de la solution proposée

Le fonctionnement de la solution proposée est totalement contrôlé par le serveur TSTV central qui dispose de toutes les informations sur tous les utilisateurs BTV et TSTV, ces informations sont collectées et stockées au niveau du serveur TSTV dans une base de données,appellée base de données TSTV (figure 5- 3). Cette base de données dispose de la liste de chaînes (chaînes BTV) demandées par le STB précédemment. Ceci peut être réalisé en envoyant une requête FCC supplémentaire au serveur TSTV après chaque demande de changement de chaine comme illustré dans la figure 5- 4.

La solution proposée est basée sur un modèle de communication pair à pair, chaque STB reçoit le flux BTV en multicast et le transmet à son STB voisin en unicast. Cependant le trafic unicast transmis par les STBs consomme une partie importante de la bande passante montante, ce qui limite le déploiement de notre solution au niveau des réseaux offrant des accès avec un débit montant limité comme le cas de l'ADSL par exemple [103], [104]. Pour éviter tout problème lié à la bande passante, notre proposition s'adresse principalement aux technologies haut débit telles que VDSL, GPON et Ethernet qui fournissent une large bande passante dans le sens montant comme expliqué précédemment.

Pour déterminer l'emplacement physique des clients IPTV, nous avons exploité les options de sécurité des protocoles d'accès tel que DHCP et PPPOE vu qu'ils sont les protocoles les plus utilisés pour l'authentification des clients IPTV.

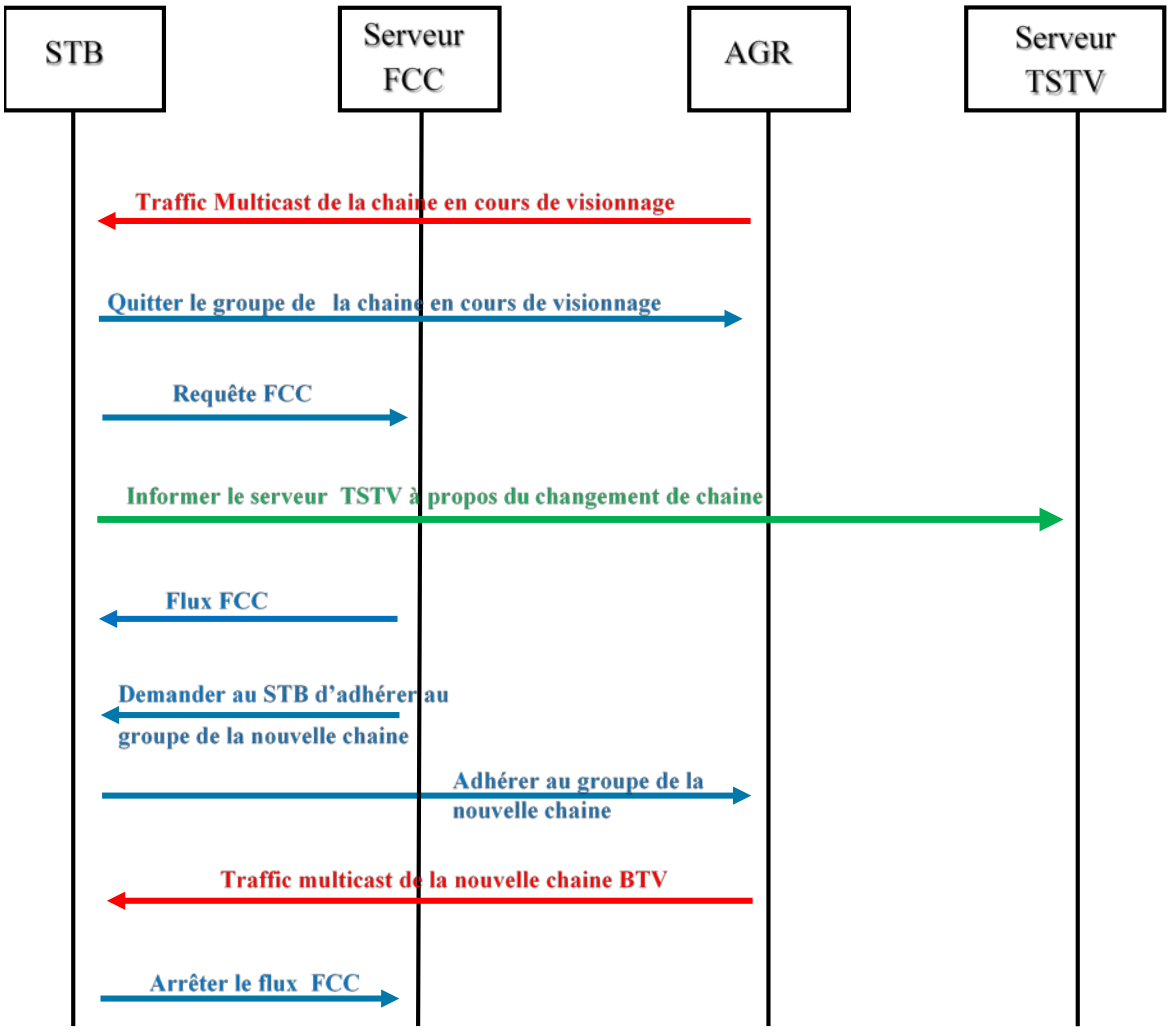

Figure 5-4 : Mise à jour de la base de données TSTV

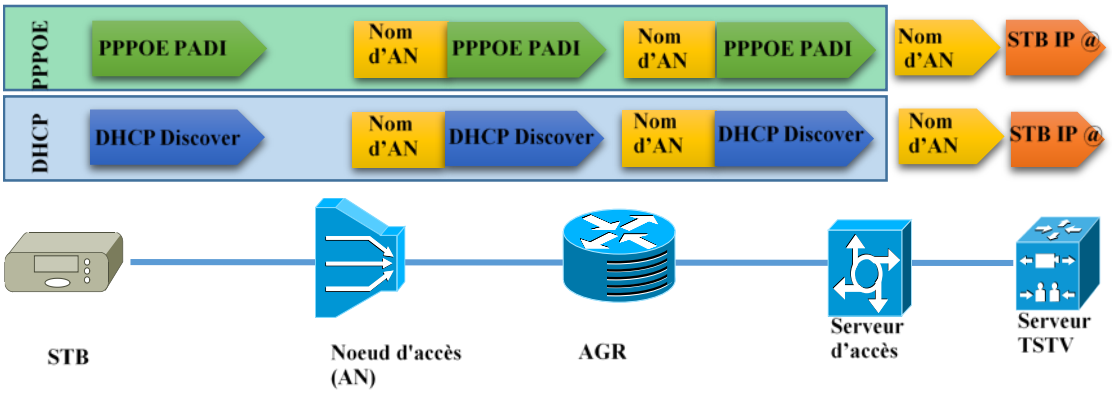

Figure 5-5 : Technique de localisation des STBs

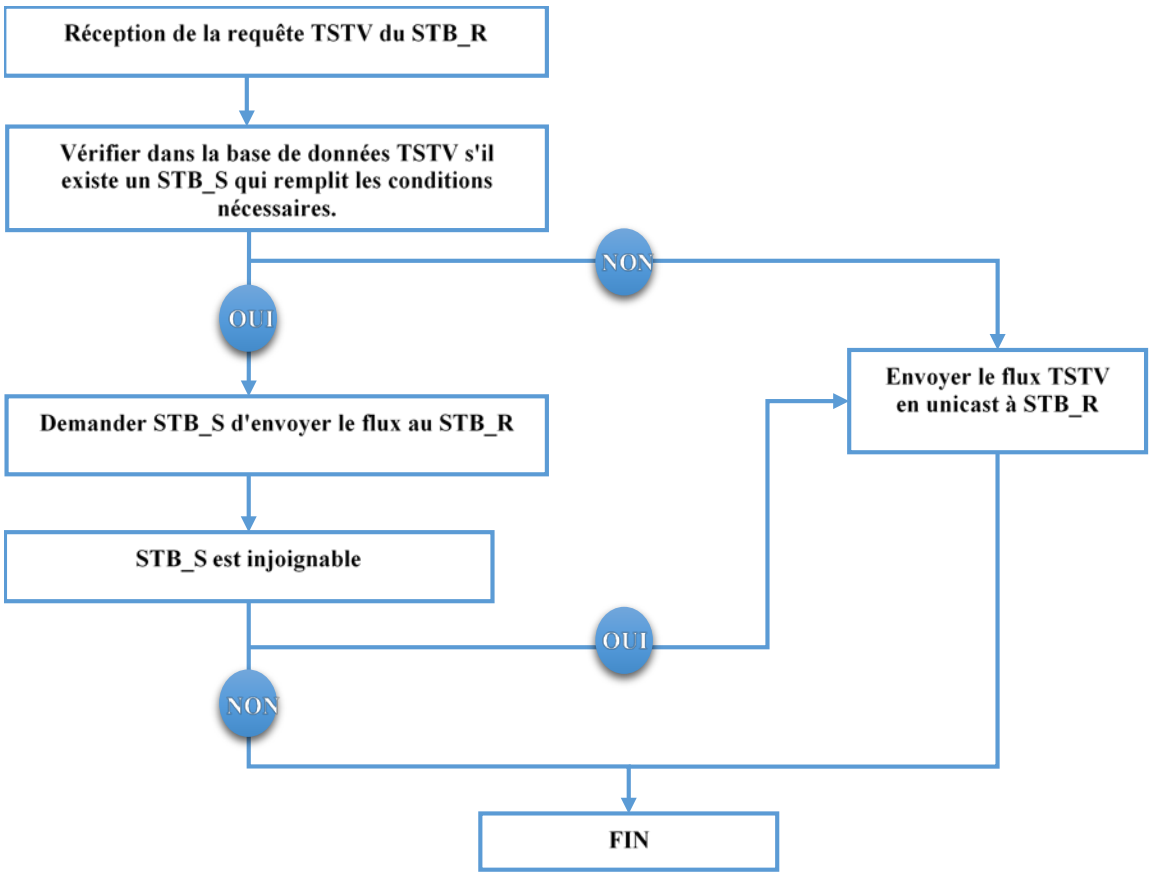

Figure 5-6 : Etapes de la nouvelle solution TSTV

Nous proposons d'activer l'option DHCP 82 ou l'option PPPOE+ (selon le protocole d'accès utilisé) sur le nœud d'accès. De cette façon, les informations des clients seront transmises au serveur d'accès via les messages DHCP Discover ou PPPOE PADI. Dés que le serveur d'accès reçoit ces informations, il les partage (avec l'adresse IP du STB) avec le serveur TSTV pour alimenter la base de données TSTV (figure 5- 5).

Le diagramme de la figure 5-6 résume les principales étapes de la nouvelle solution, lorsque STB_R (STB récepteur) demande le contenu TSTV au serveur TSTV, le serveur TSTV vérifie dans la base de données TSTV s'il y

a un STB qui peut être utilisé comme source de contenu pour STB_R, on le désigne dans ce cas par STB_S (STB source).

Le STB_S est sélectionné seulement dans le cas où il satisferait les conditions suivantes :

- STB_S et STB_R doivent être connectés au même nœud d'accès.
- STB_S doit avoir le contenu demandé.
- STB_S est exclu s'il envoie déjà un flux TSTV à un autre STB_R pour économiser la bande passante montante.

Le serveur TSTV demande au STB_S qui remplit ces conditions d'envoyer le contenu TSTV en unicast au STB_R, si aucun STB ne remplit ces conditions, le serveur TSTV prendra en charge l'envoie du contenu au STB_R par lui-même.

Dans le cas où le STB_S deviendrait injoignable pendant le partage du flux TSTV, le STB_R peut demander au serveur TSTV la reprise de la diffusion du contenu en indiquant l'instant exact d'interruption.

Dans le cas où il y aurait une perte de paquets pendant la livraison du flux, le STB_R peut demander le paquet RTP manquant au STB_S en mentionnant le numéro de séquence de ce paquet [98].

5.4 Algorithme de sélection du STB source (Serveur TSTV local)

Pour désigner le STB_S (source du flux unicast) qui peut fournir le service au STB_R à l'instant t, le serveur TSTV exécute l'algorithme représenté dans la figure 5- 7.

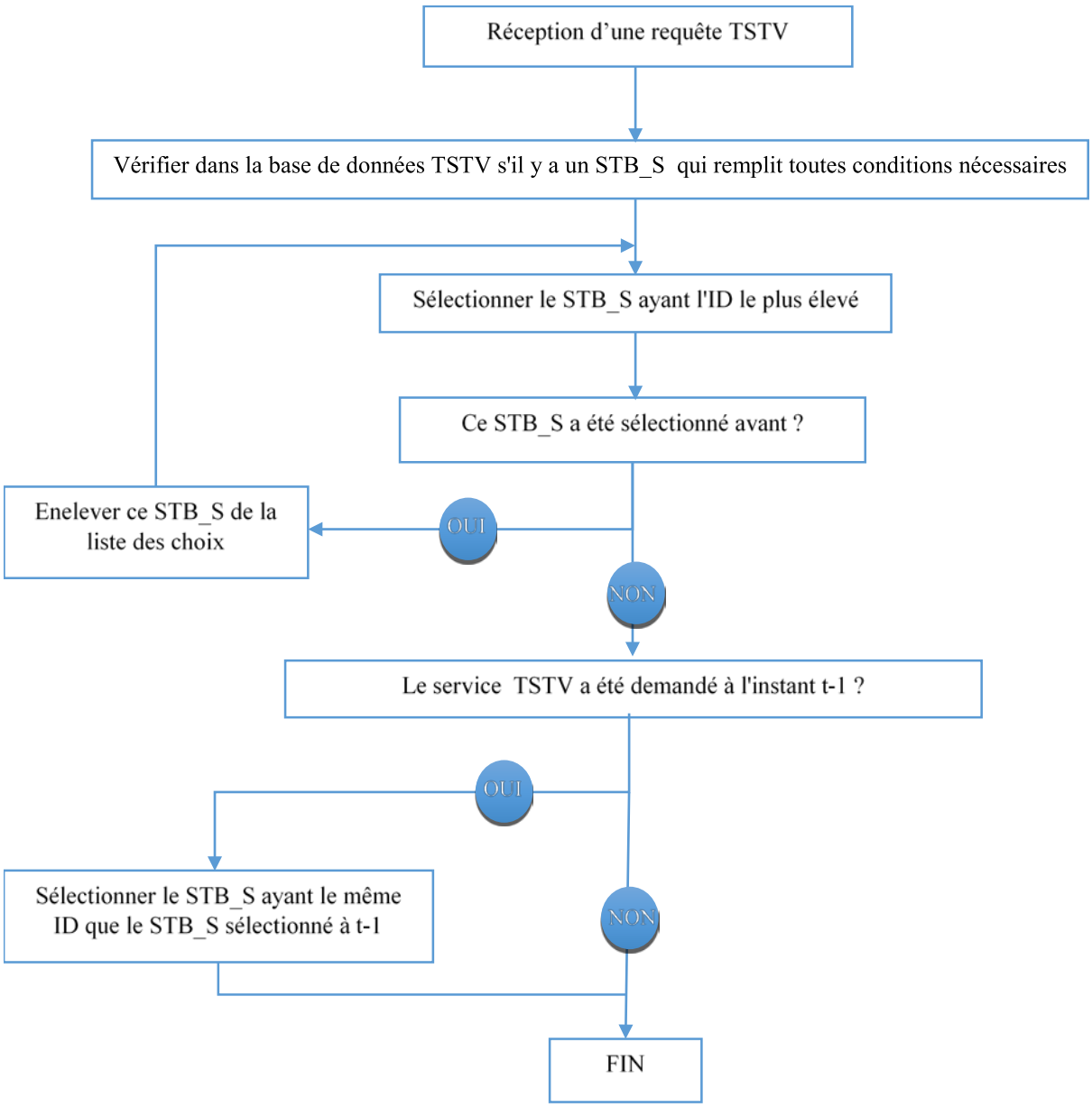

Figure 5-7 : Algorithme de sélection des serveurs TSTV locaux (STBs)

5.5 Evaluation de performances

5.5.1 Simulation sur GNS3

5.5.1.1 Environnement de simulation

Dans cette partie, nous avons testé la solution proposée sur un environnement Lab en utilisant le simulateur Cisco GNS3 (Graphical

Network Simulator-3) [105]. GNS3 est une plateforme qui permet de simuler graphiquement et avec précision des réseaux informatiques et autorise la combinaison de modules réels et virtuels. Il est associé au logiciel d'émulation Dynamips pour simuler le système d'exploitation pour la connexion des réseaux Cisco IOS. Il prend en charge également des outils comme VirtualBox, VMWare et il supporte une grande variété de switch et de routeurs de marques différentes.

Nous avons utilisé dans cette simulation la dernière version disponible du logiciel (V1.3.13), et puisque le routage multicast est devenu une fonctionnalité de base, n'importe quel type de routeur peut faire le travail. Les routeurs utilisés sont les routeurs préexistants fournis avec GNS3 (version routeur C3660-TELCOENTK9-M v12.4).

La source IPTV a été émulée par un logiciel de diffusion vidéo sur IP installé sur une VM Linux. La machine virtuelle Oracle VirtualBox est utilisée comme hyperviseur. VirtualBox est un petit hyperviseur open-source et pratique qui permet d'installer et d'utiliser plusieurs systèmes d'exploitation sur une seule machine physique (la version utilisée est 5.0.16 r105871).

Puisque seules des fonctionnalités de base sont nécessaires pour exécuter le logiciel de diffusion vidéo, nous choisissons donc le système d'exploitation Linux le plus léger et le plus pratique, L'Ubuntu 17.10, afin de créer des instances pour le serveur et pour les récepteurs multicast avec une charge minimale sur les machines virtuelles. Pour émuler le STB et le serveur multicast, une VM VirtualBox basée sur L'Ubuntu a été utilisée.

Nous avons utilisé le célèbre diffuseur et lecteur vidéo VLC (version v2.2.6) [106], un logiciel open source avec de nombreuses fonctionnalités

comme la capacité de lire les flux réseau, de les enregistrer et d'utiliser un script pour les diffuser.

Un fichier vidéo MPEG-4 [107] avec une résolution de 320x258 et de taille de 30,1Mbits a été enregistré au niveau de la source vidéo (source multicast et source TSTV) pour simuler le contenu BTV et TSTV.

5.5.1.2 Topologie

Comme montré dans la figure 5- 8, trois types de routeurs similaires ont été utilisés pour construire un réseau de transport IP. Les adresses IP d'interconnexion ont été attribuées arbitrairement afin de garantir la connectivité entre les différents nœuds du LAB. Pour émuler le nœud d'accès (AN) et les routeurs utilisateur (HG), un routeur à base switching est choisi. L'Ubuntu vm virtualbox et le VLC ont été utilisé pour simuler la source de multicast IPTV, le serveur TSTV et les STBs.

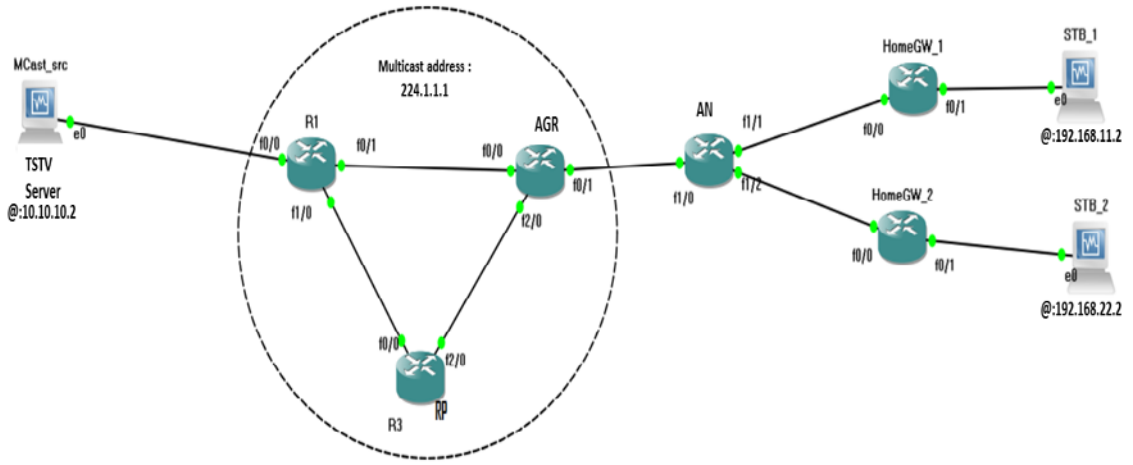

Figure 5-8 : Réseau IPTV typique simulé sur GNS3

Nous avons attribué des adresses IP statiques aux serveurs (source BTV/serveur TSTV), aux STBs et aux routeurs HG avec une passerelle par défaut vers le premier routeur du réseau. Le protocole IGMP v2 est activé au

niveau du routeur HG afin de demander le trafic multicast du réseau. Les différentes fonctionnalités de switching ainsi l'option IGMP snooping ont été activé au niveau du routeur d'accès. Le routage réseau est assuré par le protocole OSPF[24] sur lequel le protocole PIM SM [35] est activé pour fournir un routage multicast.

5.5.1.3 Simulation du service BTV

Quand l'utilisateur 1 veut regarder une chaine BTV, son STB envoie un message IGMP pour adhérer au group multicast correspondant à cette chaine au routeur d'agrégation, ce routeur émet à son tour un message PIM Join vers le routeur (RP) le plus proche (s'il existe plusieurs routeurs connectés au nœud d'accès, une élection du PIM-DR sera réalisé et c'est lui qui sera le responsable de l'envoi du PIM join au RP). Le routeur construit un arbre de distribution partagé (Shared Tree) [108].

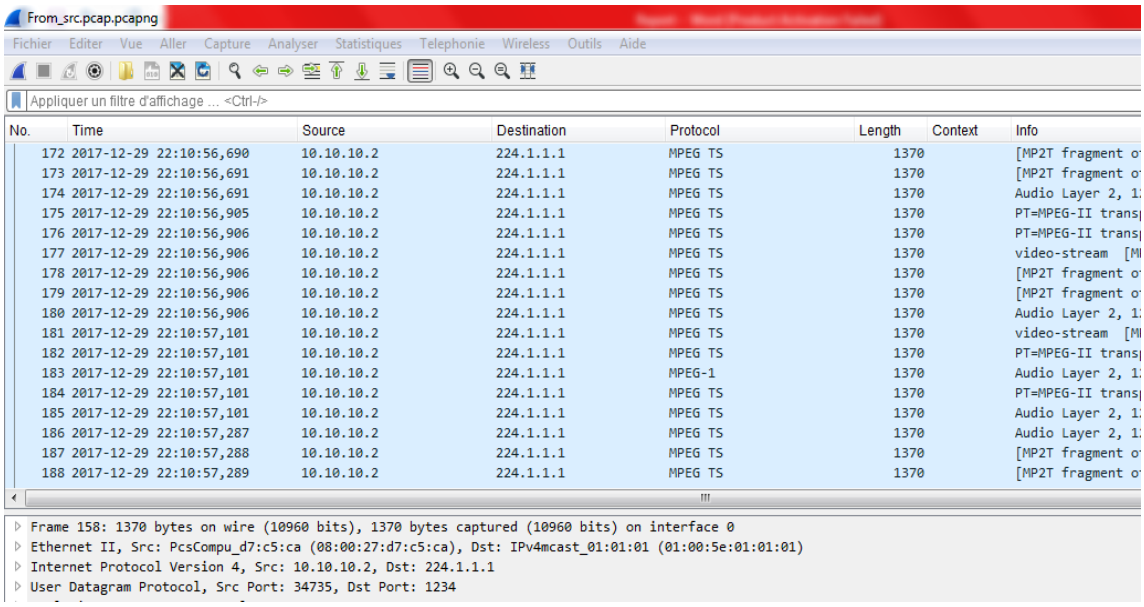

Figure 5-9 : Trafic BTV sortant de la source BTV

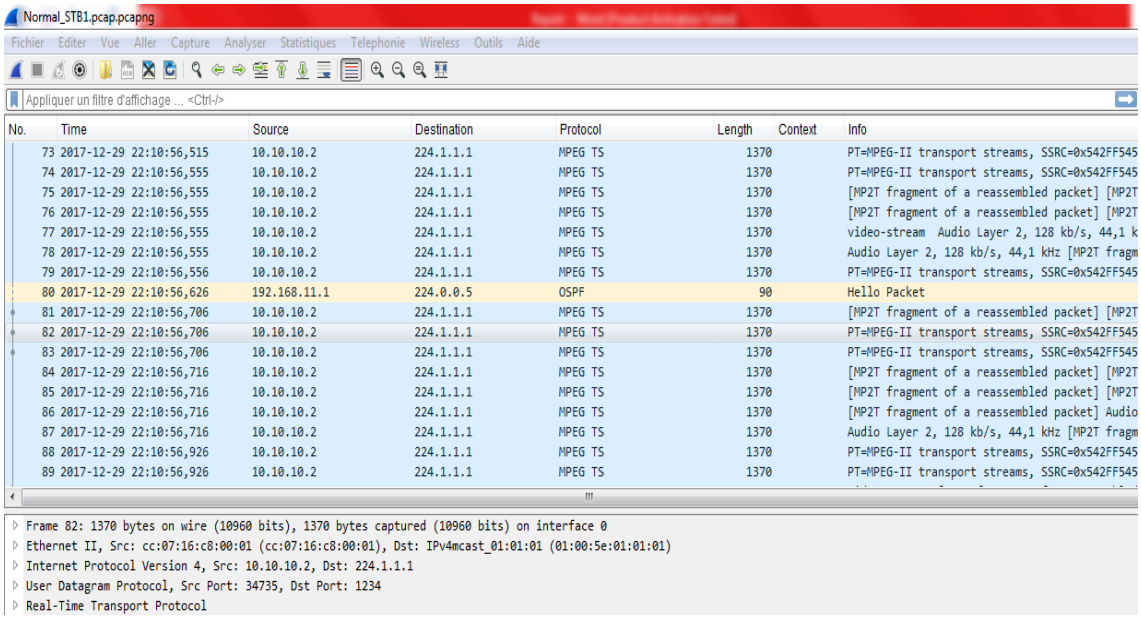

Figure 5-10 : Trafic BTV reçu par STB1

Les sources envoient le flux au point de rendez-vous (RP), et les clients font une demande explicite auprès de ce RP pour accéder à la source. Le passage par le RP, peut dans certains cas être non optimal, pour cela le mécanisme de Switch Over est implémenté. Ce mécanisme consiste à construire un SPT (Shortest Path Tree) de la source vers le client, et par la suite choisir le chemin de moindre coût.

Des traces ont été prises sur trois différents points pour montrer que le flux BTV est livré en multicast depuis la source jusqu' à l'utilisateur 1.Lorsqu'on vérifie le trafic sur les 2 points de trace, le trafic multicast (ayant l'adresse 224.1.1.1.1) sort (figure 5-9) en effet de la source Multicast (ayant l'adresse 10.10.10.10.2) vers l'utilisateur 1 (figure 5-10) en passant par les différents routeurs de réseau.

Le lecteur vidéo installé sur le STB_1 nous a permis de regarder correctement le flux reçu puisque l'utilisateur 1 est membre du groupe multicast. Cependant l'utilisateur 2 ne reçoit aucun flux puisque l'IGMP

snooping est activé sur le nœud d'accès. Les différents résultats de simulation sont illustrés dans la figure 5- 11.

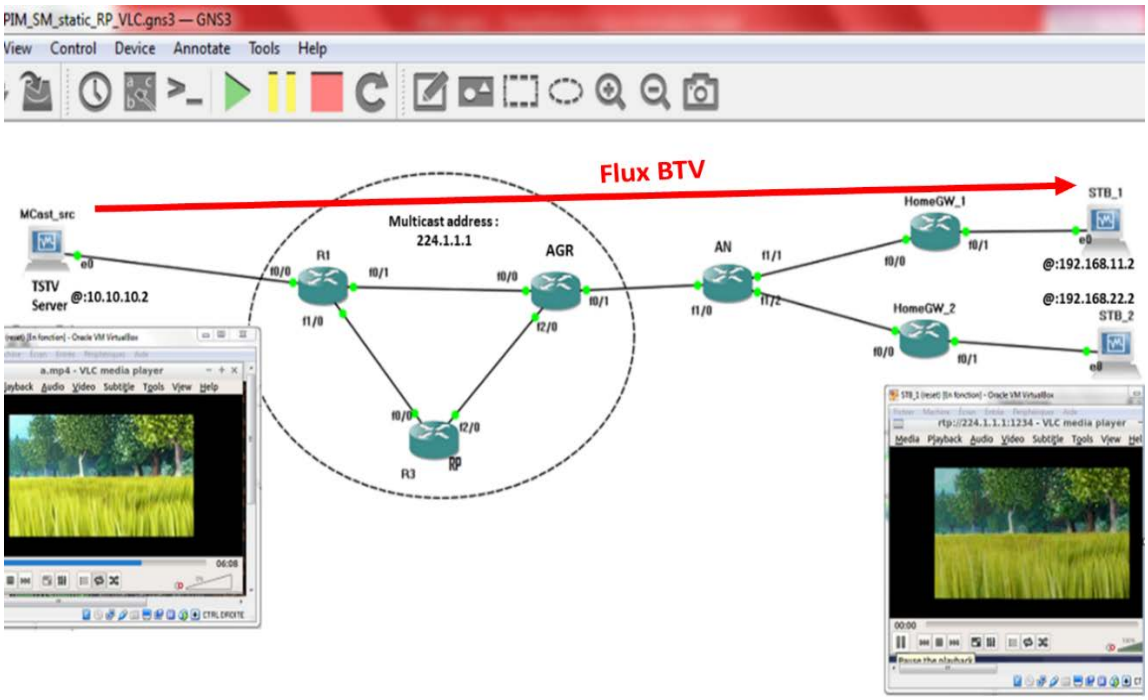

Figure 5-11 : Simulation du service BTV sur GNS3

La simulation du service BTV a été testé avec succès dans cet exemple, le service TSTV doit également être simulé pour construire correctement l'ensemble de la solution. La partie suivante sera ensuite consacrée à la simulation de ce service.

5.5.1.4 Simulation du service TSTV existant

La figure 5-12 représente un lab pour simuler le service TSTV existant, l'utilisateur 2 demande le contenu TSTV au serveur TSTV et des traces ont été prises sur deux points pour montrer que le flux unicast arrive jusqu'à l'utilisateur 2.

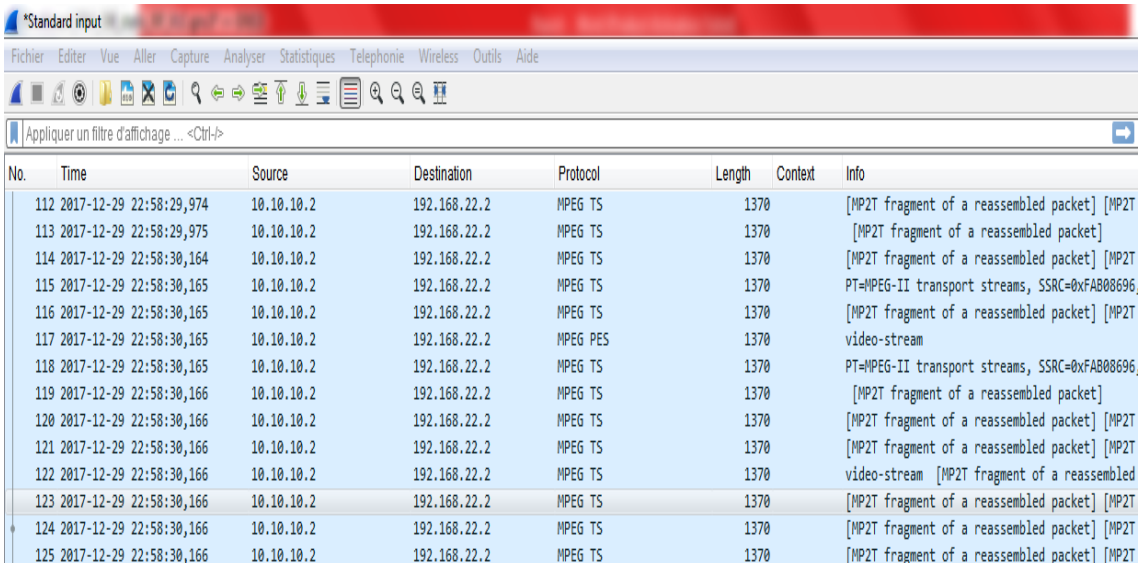

Figure 5-12 : Trafic TSTV sortant du serveur TSTV

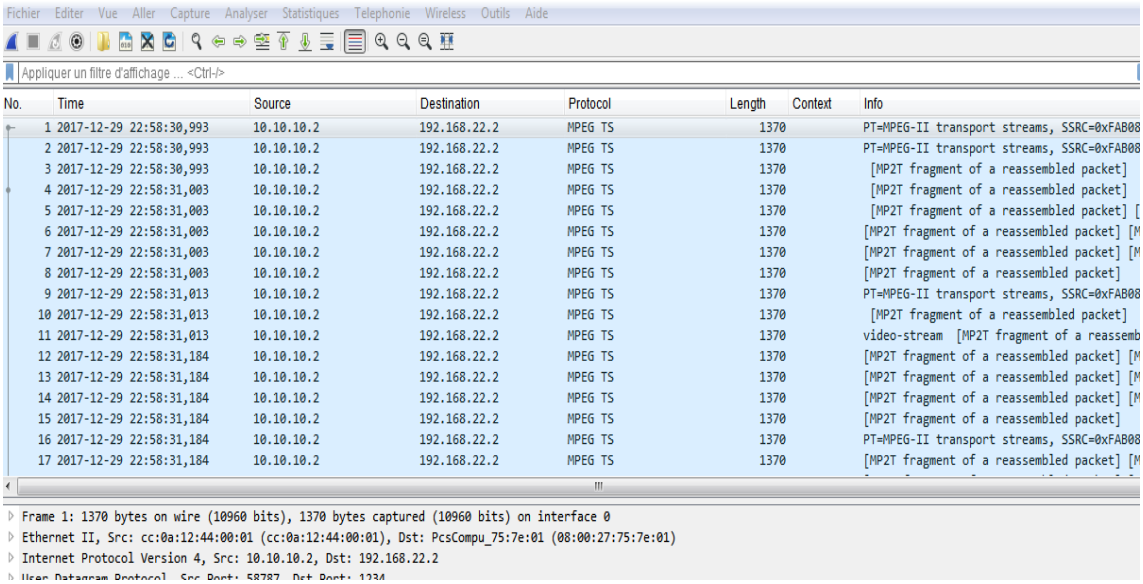

Figure 5-13 : Trafic TSTV reçu par l'utilisateur 2

En vérifiant les traces prises sur les différents points du lab, on constate que le trafic sort (figure 5-12) en fait du serveur TSTV (ayant l'adresse 10.10.10.10.2) avec une adresse unicast comme destination, cette fois-ci l'adresse IP est l'adresse IP de l'utilisateur 2 (192.168.22.2), ce flux unicast est acheminé vers l'utilisateur 2 (figure 5-13) selon la table de routage généré par le protocole OSPF. La lecture de flux vidéo reçue au niveau STB_2 montre

que le flux TSTV est transmis avec succès, les différents résultats de simulation sont illustrés dans la figure 5- 14.

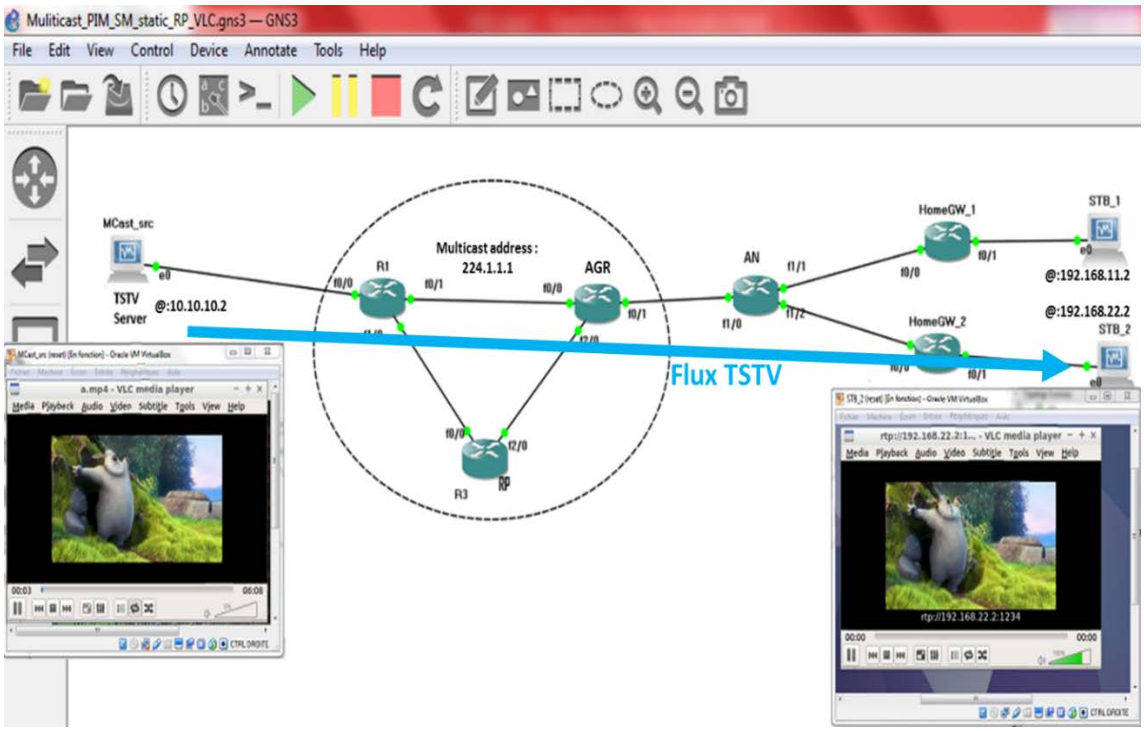

Figure 5-14 : Simulation du service TSTV existant

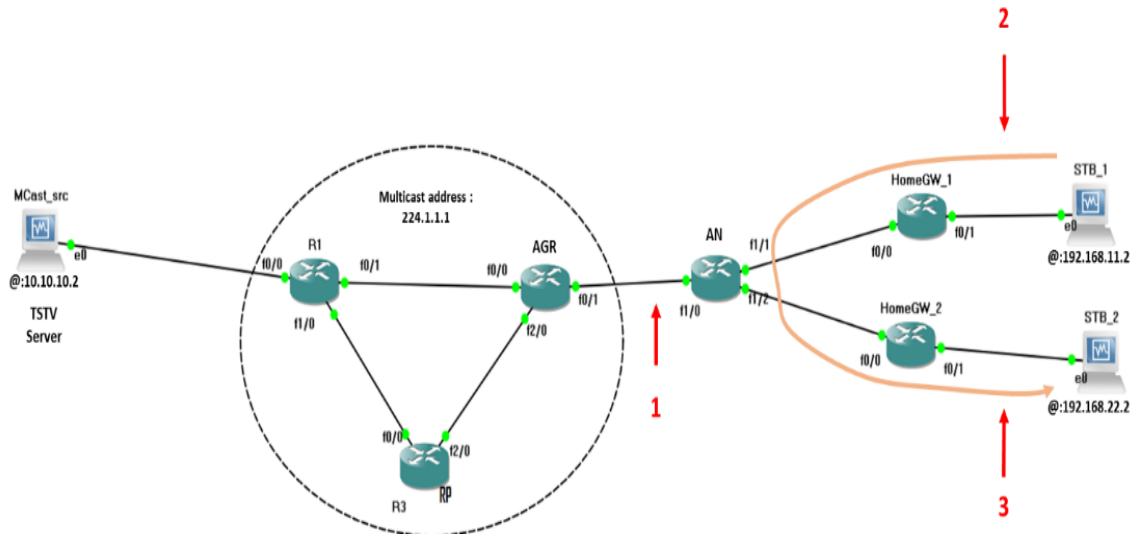

Figure 5-15 : Simulation de la solution TSTV proposée.

5.5.1.5 Simulation de la solution TSTV proposée

La figure 5-15 représente une simulation de la solution TSTV proposée, nous commençons la simulation par le STB1 qui reçoit et enregistre le flux vidéo d'une chaine BTV, puis l'envoie à l'utilisateur 2 qui demande le même flux.

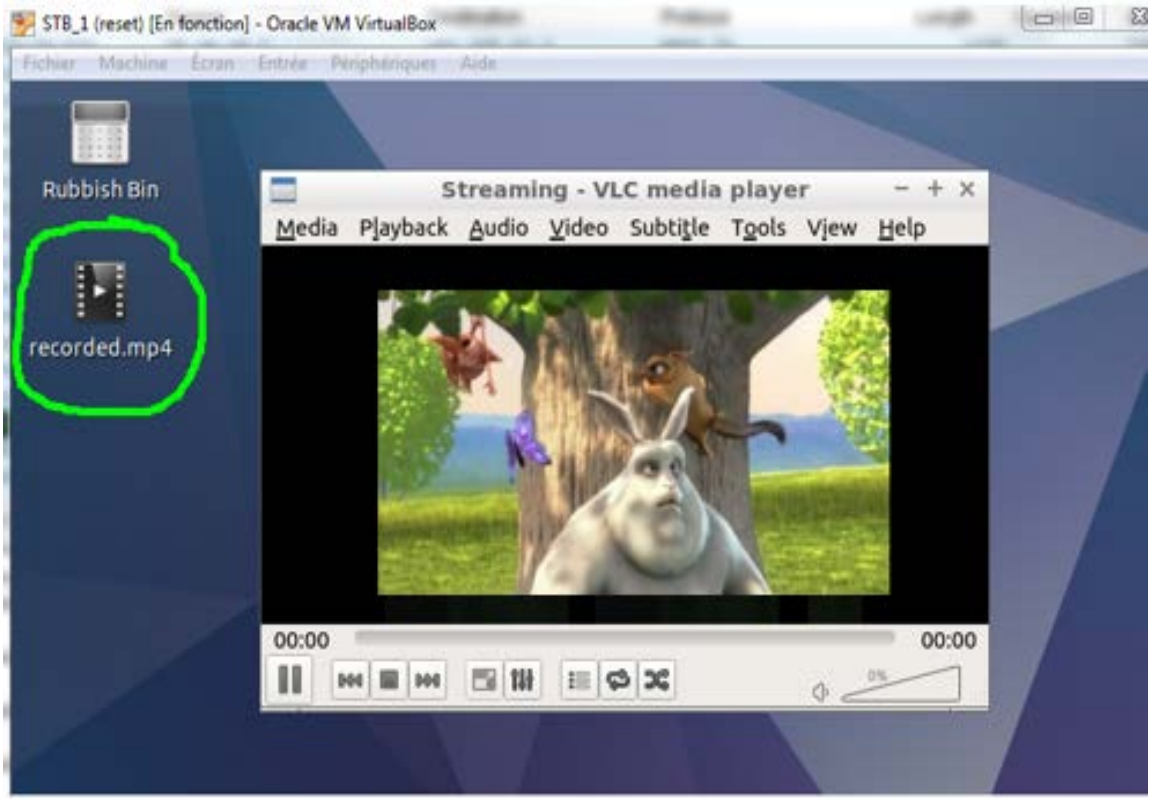

Figure 5-16 : Enregistrement du flux BTV reçu par STB1.

- **Regarder et enregistrer le flux Multicast**

Comme proposé dans la solution et montré dans les figures précédentes, l'utilisateur 1 demande et enregistre localement le trafic demandé pour une période prédéfinie (figure 5-16). lorsque le flux multicast atteint le STB_1 il le sauvegarde dans le fichier "recorded.mp4".

- **Envoie du flux enregistré vers l'utilisateur 2**

A ce stade, pour mettre en évidence le changement sur la liaison entre le nœud d'accès et le routeur d'agrégation, l'utilisateur 1 va arrêter de demander le flux multicast et l'utilisateur 2 utilise le contenu enregistré au niveau du STB de l'utilisateur 1 comme proposé dans la solution (figure 5- 17). Ce contenu sera diffusé après en unicast vers l'utilisateur 2 (avec l'adresse de l'utilisateur 2 comme adresse de destination).

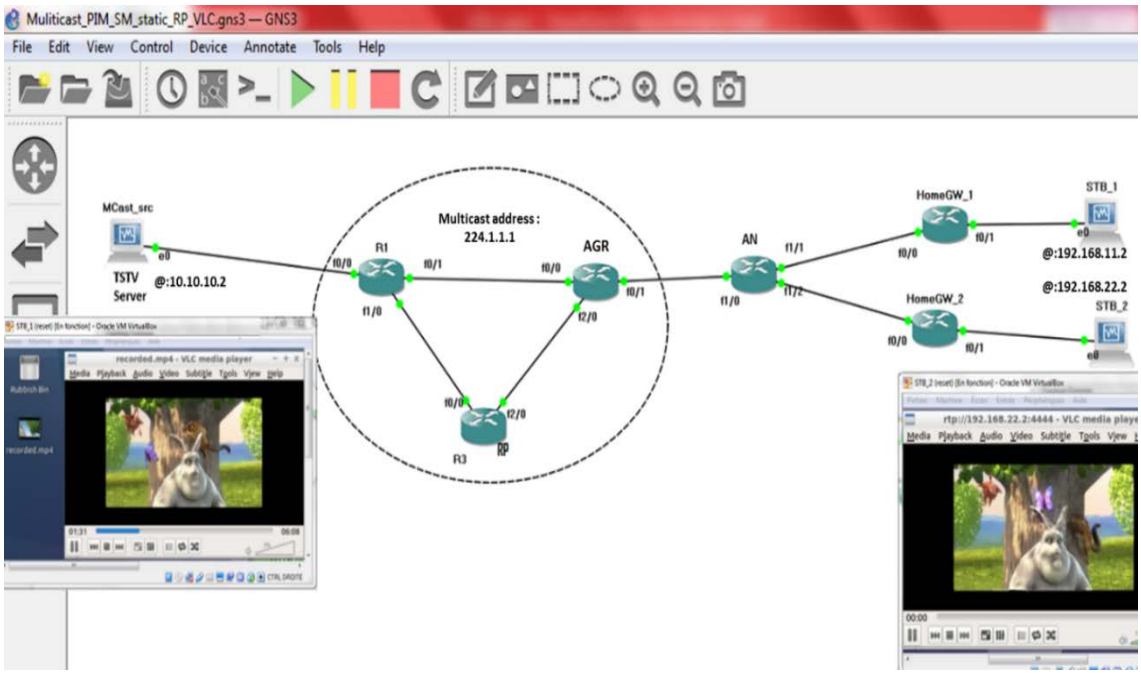

Figure 5-17 : l'utilisateur 1 remplace le serveur TSTV pour envoyer le flux TSTV vers l'utilisateur 2

Comme expliqué avant, aucun trafic ne sera envoyé par le serveur TSTV vers l'utilisateur 2 (confirmé dans la trace de la figure 5-18). Le STB_1 remplace dans ce cas le serveur TSTV pour envoyer le trafic TSTV demandé vers STB_2 (figure 5-19). L'utilisateur 2 ne se rend pas compte, dans ce cas, que le flux reçu et lu est envoyé par son voisin (STB1) au lieu de serveur TSTV central (figure 5-20).

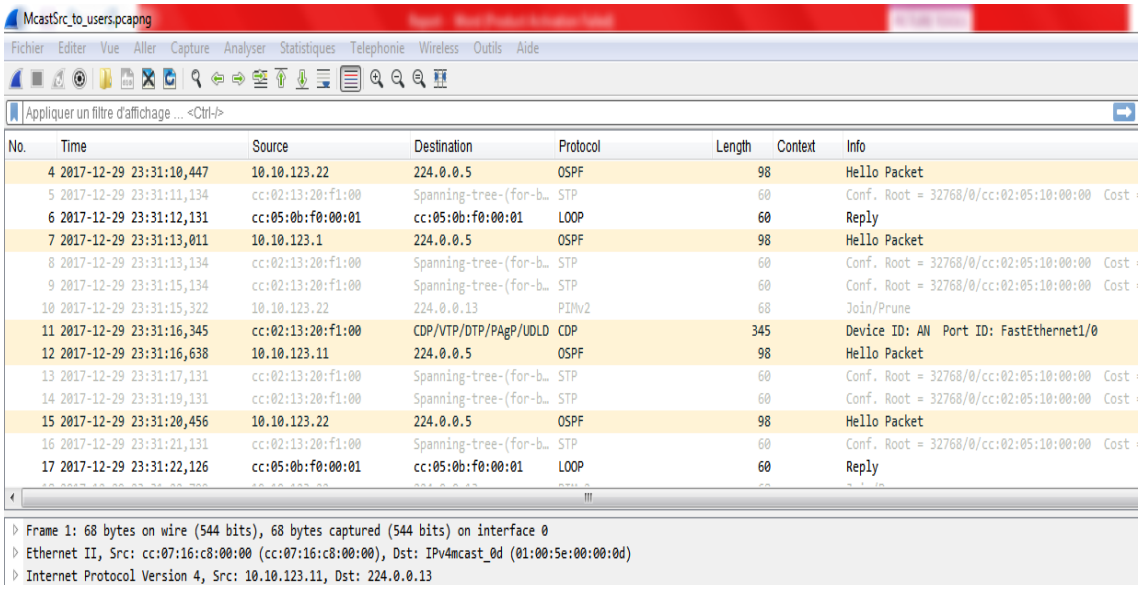

Figure 5-18 : Absence du trafic au niveau du serveur TSTV central

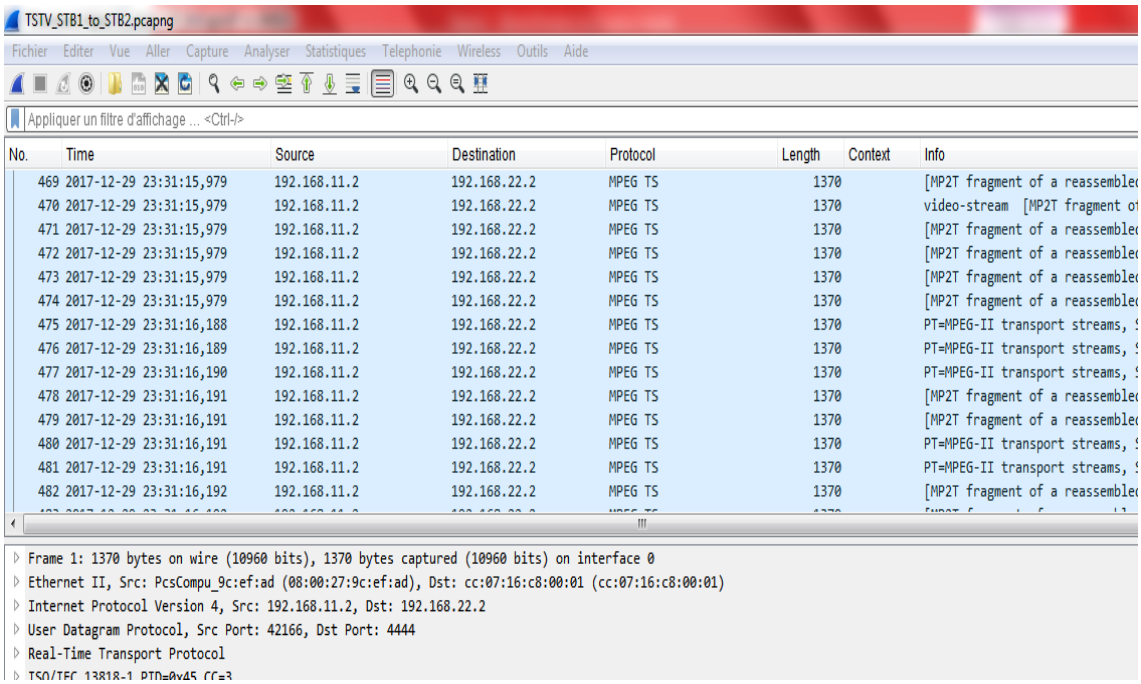

Figure 5-19 : Trafic TSTV sortant du STB1 (Serveur TSTV local)

En résumé, en utilisant un environnement de lab similaire à celui du réseau IPTV, on a pu démontrer qu'un utilisateur peut profiter de service TSTV fourni par l'opérateur en se basant sur le flux vidéo reçu et enregistré au niveau des STBs connectés au même nœud d'accès, ce contenu peut être

partagé avec d'autres utilisateurs conformément au principe de fonctionnement déjà cité avant ce qui permet de réduire la charge du trafic TSTV au niveau du réseau.

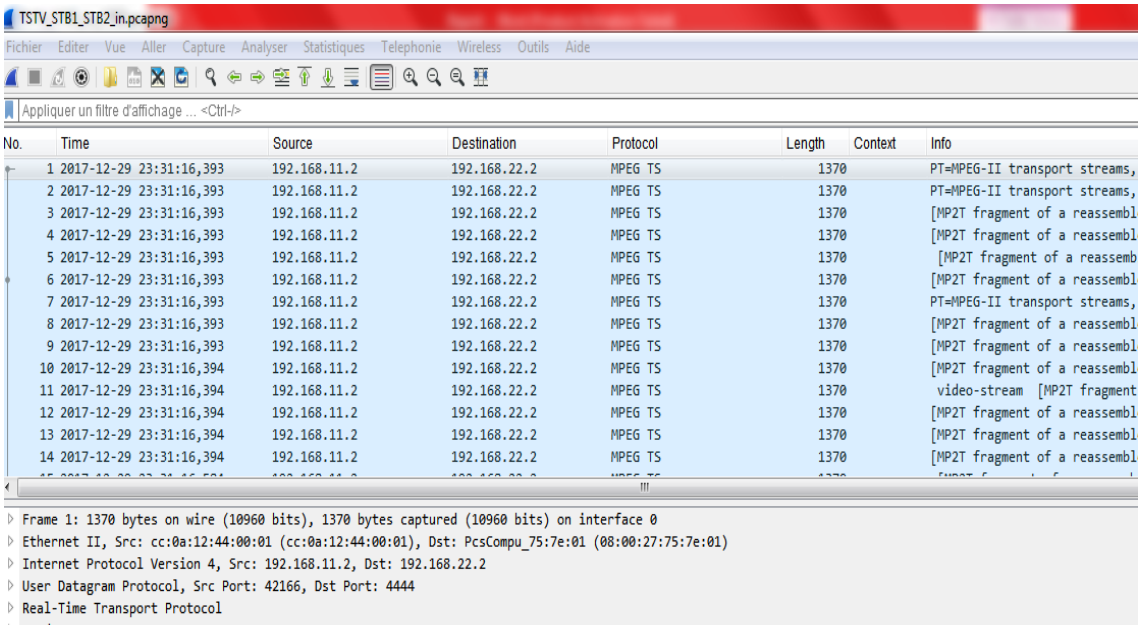

Figure 5-20 : Trafic TSTV reçu par STB2

5.5.2 Simulation sur Matlab

Pour évaluer les performances et l'efficacité de la solution proposée, nous avons créé une simulation de la consommation de la bande passante unicast entre le nœud d'accès AN et le routeur d'agrégation AGR en utilisant la plateforme de simulation MATLAB.

Dans cette simulation, nous supposons qu'il y a 100 utilisateurs BTV, 60 chaines BTV (3 Mb/s) et 80 utilisateurs TSTV capables de demander le contenu enregistré sur le serveur TSTV. La simulation du trafic BTV et TSTV a été lancée en même temps, la simulation a duré 20 minutes (1200 secondes), le STB_S reçoit le contenu BTV, le décode et l'envoie à l'écran TV et en même

temps l'enregistre sur son disque dure pendant une durée déterminée (pour cette expérience, la durée maximale d'enregistrement est 50 secondes).

La figure 5- 21 décrit la consommation de la bande passante au niveau du nœud d'accès. Au début, aucun STB ne dispose du contenu demandé ce qui oblige le serveur TSTV à envoyer le flux par lui-même, ce qui explique par la suite un trafic TSTV important au niveau du lien AN-AGR. Après quelques instants et dés que le contenu devient disponible au niveau des STBs, les STBs commencent à le partager avec leurs STB voisins. Par conséquent, le taux de charge du lien AN-AGR diminue d'une façon remarquable.

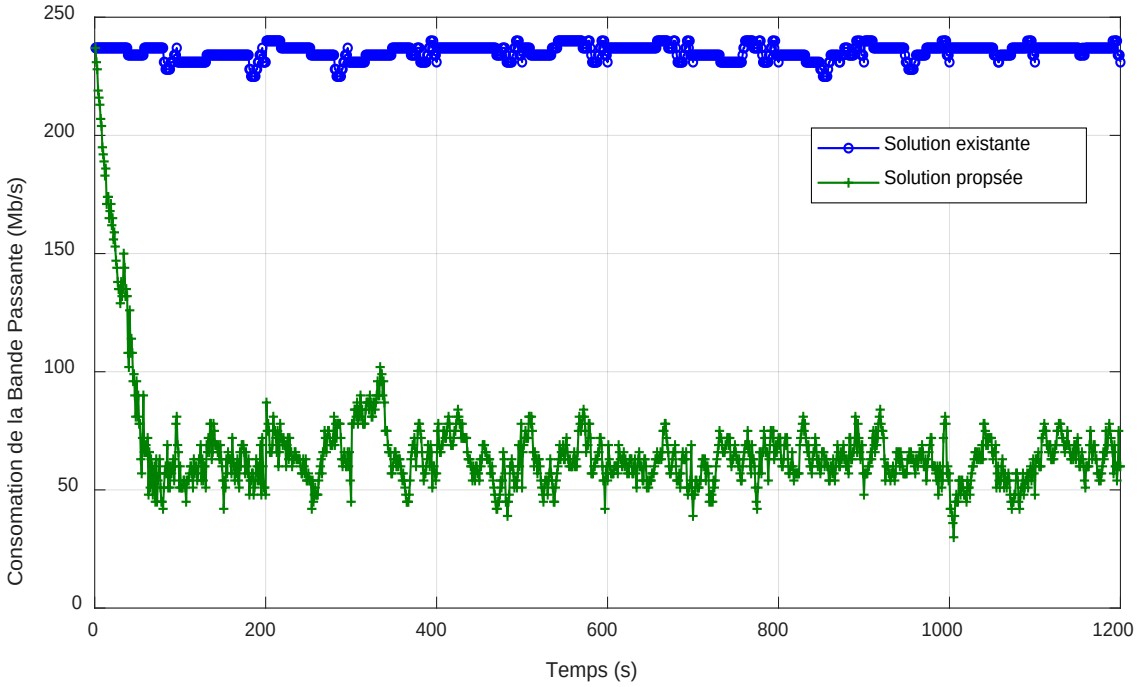

Figure 5-21 : Simulation de la bande passante avant et après l'implémentation de la nouvelle solution TSTV

5.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce travail, une nouvelle solution pour gérer efficacement le trafic TSTV unicast sur le réseau IP en implémentant la

solution d'assistance par STB voisin. Cela signifie que le STB demande et stocke le flux BTV pour le partager après avec d'autres STB voisin comme flux TSTV. Dans les cas où il n'y a aucun STB qui peut partager le contenu TSTV demandé, le serveur TSTV fournira le contenu TSTV par lui-même, conformément à la solution TSTV existante.

La solution proposée est totalement contrôlée par le serveur TSTV central en se basant sur les informations recueillies à partir des demandes de changement de chaines (et les emplacements des STBs tranmis par le serveur d'accès).

Conclusions et Perspectives

1 Conclusion générale

Cette thèse a été consacrée à l'étude et l'optimisation de la bande passante unicast d'un système IPTV. Deux nouvelles solutions ont été proposées pour gérer efficacement la bande passante unicast sur le réseau IP. Cela signifie que les clients peuvent demander le flux BTV en multicast et le sauvegarder au niveau de leurs STBs pour le partager après avec leurs voisins sous forme des flux unicast.

Au début de ce document, nous avons présenté l'architecture d'un système IPTV et le mécanisme de fonctionnement des différents services offerts par ce système et les technologies et le protocoles utilisés pour livrer le trafic au clients final.

Une étude détaillée sur le délai de changement de chaines BTV a été présenté dans le troisième chapitre, cette étude met en évidence les différents contributeurs au problème de délai ainsi les différentes solutions proposées au cours des dernières années pour remédier à ce problème.

Le quatrième chapitre constitue la première contribution de cette thèse puisqu'il porte sur l'optimisation du trafic FCC, notre solution consiste à implémenter les capacités et les fonctionnalités du serveur FCC au niveau des STBs des clients en parallèle avec le serveur FCC central. Le serveur FCC agira dans ce cas comme contrôleur des STBs et en même temps en tant que serveur FCC traditionnel. Après la réception du flux d'une chaine, le STB le décode et

l'affiche sur l'écran de l'utilisateur et en même temps il met ce flux dans son cache pendant quelques secondes pour le transmettre après à un autre STB voisin au cas où ce dernier demanderait la même chaine.

La deuxième contribution qu'on a présenté dans le cinquième chapitre, consiste à réduire le trafic TSTV, cette solution est basée sur l'implémentation de quelques fonctionnalités du serveur TSTV sur chaque STB utilisateur, le serveur TSTV fonctionne dans ce cas comme contrôleur des STBs et en même temps comme serveur TSTV traditionnel. Le flux des chaines BTV demandé par le client sera enregistré localement sur le STB pendant quelque temps pour qu'il soit disponible si les STBs voisins (STBs appartenant au même AN) demanderaient le meme flux.

2 Perspectives et travaux futurs

Le travail réalisé dans cette thèse consiste en un point de départ à toute une série de travaux possibles. Plusieurs perspectives sont envisageables.

Tout d'abord, un complément de la solution point à point semble nécessaire pour réduire la consommation de la bande passante unicast des autres services comme le cas du service VOD par exemple. Le contenu VOD demandé par les clients peut être téléchargé et sauvegardé au niveau du STB pour qu'il soit partagé après avec d'autres STBs voisin intéressés par le même contenu.

Nous pouvons également élargir l'application des solutions proposées précédemment pour qu'elles soient appliquées au niveau du reseau IP au lieu du réseau d'accés (c.-à-d. définir les relations de voisinage au niveau des

routeurs d'agrégation ou bien au niveau des différents routeurs du réseau cœur IP).

Références bibliographiques

[1] W. Simpson and H. Greenfield, *Iptv and Internet Video: Expanding the Reach of Television Broadcasting*, 2nd ed. 2009.

[2] Y. F. R. Chen *et al.*, "Zebroid: Using IPTV data to support STB-assisted VoD content delivery," *Multimed. Syst.*, vol. 16, no. 3, pp. 199–214, 2010.

[3] J. Zhuo, J. Li, G. Wu, and S. Xu, "Efficient cache placement scheme for clustered time-shifted TV servers," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 54, no. 4, pp. 1947–1955, 2008.

[4] W. Xiang, G. Wu, Q. Ling, and L. Wang, "Piecewise patching for time-shifted TV over HFC networks," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 53, no. 3, pp. 891–897, 2007.

[5] C. Hellberg, D. Greene, and T. Boyes, *Broadband network architectures : designing and deploying triple-play services*. Prentice Hall, 2007.

[6] E. Mikoczy and P. Podhradsky, "Evolution of IPTV Architecture and Services towards NGN," Springer, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 315–339.

[7] Gyu Myoung Lee, Chae Sub Lee, Woo Seop Rhee, and Jun Kyun Choi, "Functional Architecture for NGN-Based Personalized IPTV Services," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 55, no. 2, pp. 329–342, Jun. 2009.

[8] S. Ahson and M. Ilyas, *IP multimedia subsystem (IMS) handbook*. CRC Press, 2009.

[9] Hassnaa Moustafa and Sherali Zeadally, *Media Networks : Architectures, Applications, and Standards*. CRC Press, 2012.

[10] A. Popescu, *Greening Video Distribution Networks: Energy-Efficient Internet Video Delivery*. Cham: Springer International Publishing, 2018.

[11] D. Ramirez, *IPTV security : protecting high-value digital contents*. John Wiley, 2008.

[12] C. Lin, *Broadband optical access networks and fiber-to-the-home : systems technologies and deployment strategies*. Wiley, 2006.

[13] A. Ahmed and S. Asadullah, *Deploying IPv6 in broadband access networks*. Wiley, 2009.

[14] International Engineering Consortium., *Evolving the access network : comprehensive report.* IEC, 2006.

[15] G. O'Driscoll, *Next generation IPTV services and technologies*. Wiley-Interscience, 2008.

[16] J.-S. Lee, H. S. Rhee, and D. H. Lee, "Efficient and Secure Communication between Set-Top Box and Smart Card in IPTV Broadcasting," in *2008 International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*, 2008, pp. 307–310.

[17] S. M. Fati, S. Azad, and A.-S. K. Pathan, *IPTV delivery networks : next generation architectures for live and video-on-demand services*, 1st ed. Wiley,

2018.

[18] J. Postel, “RFC 791 :Internet Protocol,” 1981.

[19] J. Postel, “RFC 768: User Datagram Protocol,” 1980.

[20] H. Schulzrinne *et al.*, “RFC 3550: RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications,” 2003.

[21] H. Schulzrinne, A. Rao, and R. Lanphier, “RFC 2326: Real Time Streaming Protocol (RTSP),” 1998.

[22] U. N. Black, *IP Routing Protocols: RIP, OSPF, BGP, PNNI and Cisco Routing Protocols*. Prentice Hall, 2000.

[23] Cédric Llorens, Laurent Levier, Denis Valois, and Benjamin Morin, *Tableaux de bord de la sécurité réseau*, 2nd ed. Librairie Eyrolles, 2006.

[24] J. Moy, “RFC 2328: OSPF Version 2,” 1998.

[25] H. Smit and T. Li, “RFC 3784 : Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Extensions for Traffic Engineering (TE),” 2004.

[26] Gary Scott Malkin, “RFC 2453 : RIP Version 2,” 1998.

[27] D. Savage, J. Ng, S. Moore, D. Slice, P. Paluch, and R. White, “RFC 7868 : Cisco’s Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP),” RFC Editor, 2016.

[28] S. Hares, Y. Rekhter, and T. Li, “RFC 4271 : A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4),” 2006.

[29] P. R. Tadimety, *OSPF: A Network Routing Protocol*. Berkeley, CA: Apress, 2015.

[30] Randy Zhang and Micah Bartell, *BGP Design and Implementation*. 2003.

[31] T. Socolofsky and C. Kale, “RFC 1180: A TCP/IP Tutorial,” 1991.

[32] B. Williamson, *Developing IP Multicast Networks Volume I*. 2000.

[33] I. Kouvelas, B. Cain, B. Fenner, S. Deering, and A. Thyagarajan, “RFC 3376 : Internet Group Management Protocol, Version 3,” 2002.

[34] W. Fenner, “RFC 2236 : Internet Group Management Protocol, Version 2,” 1997.

[35] B. Fenner, M. Handley, H. Holbrook, and I. Kouvelas, “RFC4601: Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised),” Aug. 2006.

[36] S. E. Deering, “RFC 1112 : Host extensions for IP multicasting,” RFC 1112, Aug-1989.

[37] J. Yoon, S. Park, and S. Choe, “Implementation of EIGMP for fast IPTV channel change in GEPON,” *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 57, no. 2, pp. 484–491, 2011.

[38] Narbik Kocharians and Terry Vinson, *CCIE Routing and Switching v5.0 Official Cert Guide, Volume 2: Exa 21 Of Cer Gui ePub_5*. 2014.

[39] G. Cizault, “Multicast IPv6,” in *IPv6, théorie et pratique*, O’Reilly, 2005, pp. 201–240.

[40] P. André, *Architecture des réseaux fixes*. 2011.

[41] C. Perkins, *RTP: Audio and Video for the Internet*. 2003.

[42] J. Postel, "RFC 768 : User Datagram Protocol," 1980.

[43] J. Rey, D. Leon, A. Miyazaki, V. Varsa, and R. Hakenberg, "RFC 4588 - RTP Retransmission Payload Format," 2006.

[44] J. Rey, N. Sato, and S. Wenger, "RFC 4585 : Extended RTP Profile for Real-time Transport Control Protocol (RTCP)-Based Feedback (RTP/AVPF)," 2006.

[45] Charles Hornig, "RFC 894 : A Standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks," 1984.

[46] L. Mamakos, K. Lidl, J. Evarts, D. Carrel, D. Simone, and R. Wheeler, "RFC 2516 : A Method for Transmitting PPP Over Ethernet (PPPoE)," 1999.

[47] R. Droms, "RFC 1541 : Dynamic Host Configuration Protocol," 1993.

[48] Frank Effenbergera and Tarek S.El-Bawabb, "Passive Optical Networks (PONs): Past, present, and future," *Opt. Switch. Netw.*, vol. 6, no. 3, pp. 143–150, Jul. 2009.

[49] R. Yadav, "Passive-Optical-Network- (PON-) Based Converged Access Network [Invited]," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 4, no. 11, pp. B124–B130, Nov. 2012.

[50] Issam WAHIBI, "Algorithmes de précompensation et d'annulation de la diaphonie pour les systèmes DSL," Telecom Bretagne, 2008.

[51] C. K. Summers, *ADSL : standards, implementation, and architecture*. CRC Press, 1999.

[52] A. A. Azzam and M. N. Ransom, *Broadband access technologies : ADSL/VDSL, cable modems, fiber, LMDS*. McGraw-Hill, 1999.

[53] G. Keiser, *FTTX concepts and applications*. John Wiley & Sons, 2006.

[54] D. Perkins, "RFC 1547 : Requirements for an Internet Standard Point-to-Point Protocol," 1993.

[55] V. Mammoliti, G. Zorn, P. Arberg, and R. Rennison, "RFC 4679 : DSL Forum Vendor-Specific RADIUS Attributes," 2006.

[56] R. Droms, "RFC 2131: Dynamic Host Configuration Protocol," 1997.

[57] P. V. Mockapetris, "RFC 1034 : Domain names - concepts and facilities," 1987.

[58] M. Patrick, "RFC 3046 : DHCP Relay Agent Information Option," 2001.

[59] ITU-T, "G.984.1: Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics," *Networks*, pp. 1–43, 2008.

[60] LIVRE BLANC, *Les réseaux PON « Passive Optical Network », Eléments d'appréciation techniques, économiques et réglementaires*. .

[61] D. Hood and E. Trojer, *Gigabit-capable passive optical networks*, 1st ed. Wiley, 2012.

[62] Gaël Simon, "Introduction des technologies de multiplexage en longueur d'onde dense dans les futures générations de réseaux d'accès optique," TELECOM ParisTech, 2016.

[63] ITU-T Recommendation, "G.993.1 : Very high speed digital subscriber line transceivers (VDSL)," 2004.

[64] ATIS T1.424 : 2004, "Interface Between Networks and Customer

Installation Very-High-Bit-Rate Digital Subscriber Lines (VDSL) Metallic Interface (DMT Based)," 2004.

[65] TS 101 270-1 V1.1.2, "Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 1 : Functional requirements.," 1998.

[66] ETSI TS 101 270-2, "Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very High Speed Digital Subscriber Line (VDSL); Part 2 : Transceiver specification.," 2003.

[67] I.-T. Recommendation, "G. 993.2 (02/2006) Very high speed Digital subscriber lines transceivers 2 (VDSL2)."

[68] F. DUTHILLEUL and P. SPRUYT, *Technologies DSL : passé, présent et futur*. Editions T.I. | Techniques de l'Ingénieur, 2007.

[69] N. Degrande, K. Laevens, D. De Vleeschauwer, A. L. Bell, and R. Sharpe, "Increasing the User Perceived Quality for IPTV Services," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 2, pp. 94–100, 2008.

[70] M. Fleury and W. Park, "Title : Future Performance of Video Codecs," 2006.

[71] "ISO - ISO/IEC 13818-3- Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information," 1995.

[72] "ISO - ISO/IEC FDIS 14496-10, Coding of audio-visual objects," 1998.

[73] H. Sun, X. Chen, and T. Chiang, *Digital video transcoding for transmission and storage*. CRC Press, 2005.

[74] A. C. Begen, N. Glazebrook, and W. Ver Steeg, "A Unified Approach for Repairing Packet Loss and Accelerating Channel Changes in Multicast IPTV," in *2009 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, 2009, pp. 1–6.

[75] C. Sasaki, A. Tagami, T. Hasegawa, and S. Ano, "Rapid Channel Zapping for IPTV Broadcasting with Additional Multicast Stream," in *2008 IEEE International Conference on Communications*, 2008, pp. 1760–1766.

[76] R. Kooij, K. Ahmed, and K. Brunnström, "Perceived quality of channel zapping," in *Proceedings of the 5th IASTED International Conference on Communication Systems and Networks, CSN 2006*, 2006, pp. 155–158.

[77] H. Uzunalioglu, "Channel Change Delay in IPTV Systems," in *2009 6th IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, 2009, pp. 1–6.

[78] S. W. Kim, S. Y. Kim, S. Kim, and J. Heo, "Performance analysis of forward error correcting codes in IPTV," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 54, no. 2, pp. 376–380, May 2008.

[79] P. Siebert, T. N. M. Van Caenegem, and M. Wagner, "Analysis and Improvements of Zapping Times in IPTV Systems," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 55, no. 2, pp. 407–418, Jun. 2009.

[80] H. Fuchs and N. Färber, "Optimizing channel change time in IPTV applications," in *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting 2008, Broadband Multimedia Symposium 2008, BMSB*, 2008, pp. 1–8.

[81] S. Weigiang, L. Kan, and G. Yang, "Performance analysis of a finite duration multichannel delivery method in IPTV," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 54, no. 3, pp. 419–429, Sep. 2008.

[82] Y. Bejerano and P. V. Koppol, "Improving zap response time for IPTV," in *Proceedings - IEEE INFOCOM*, 2009, pp. 1971–1979.

[83] "Cisco White Paper, Delivering Video Quality in Your IPTV Deployment," 2013.

[84] J. Lin, W. Lei, S. Bai, and L. Li, "The implementation of fast channel switching in IPTV," in *2009 2nd International Conference on Intelligent Computing Technology and Automation, ICICTA 2009*, 2009, vol. 4, pp. 684–688.

[85] D. Banodkar, K. K. Ramakrishnan, S. Kalyanaraman, A. Gerber, and O. Spatscheck, "Multicast instant channel change in IPTV systems," in *2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE '08)*, 2008, pp. 370–379.

[86] H. Joo, H. Song, D. B. Lee, and I. Lee, "An effective IPTV channel control algorithm considering channel zapping time and network utilization," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 54, no. 2, pp. 208–216, Jun. 2008.

[87] Yuna Kim *et al.*, "Reducing IPTV channel zapping time based on viewer's surfing behavior and preference," in *IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting 2008, Broadband Multimedia Symposium 2008, BMSB*, 2008.

[88] I. Basicevic, D. Kukolj, S. Ocovaj, G. Cmiljanovic, and N. Fimic, "A fast channel change technique based on channel prediction," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 64, no. 4, pp. 418–423, Nov. 2018.

[89] U. Oh, S. Lim, and H. Bahn, "Channel reordering and prefetching schemes for efficient iptv channel navigation," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 56, no. 2, pp. 483–487, May 2010.

[90] J. Lee, G. Lee, S. Seok, and B. Chung, "Advanced scheme to reduce IPTV channel zapping time," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 4773 LNCS, Springer, Berlin, Heidelberg, 2007, pp. 235–243.

[91] I. Chakrabarti, K. N. S. Batta, and S. K. Chatterjee, *Motion estimation for video coding : efficient algorithms and architectures*. 2015.

[92] Y. Lee, J. Lee, I. Kim, and H. Shin, "Reducing IPTV channel switching time using H.264 scalable video coding," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 54, no. 2, pp. 912–919, May 2008.

[93] M. Sarni, B. Hilt, and P. Lorenz, "A Novel Channel Switching Scenario in Multicast IPTV Networks," in *2009 Fifth International Conference on Networking and Services*, 2009.

[94] Microsoft Corporation, "Delivering IPTV with the Windows Media Platform," 2003.

[95] R. Haimi-Cohen and J. P. Hearn, "Fast channel change handling of late multicast join," US 8,161,515 B2, 13-May-2012.

[96] A. C. Begen, N. Glazebrook, and W. Ver Steeg, "Reducing channel-change times with the real-time transport protocol," *IEEE Internet Comput.*, vol. 13, no. 3, pp. 40–47, May 2009.

[97] E. H. Khabbiza, R. El Alami, and H. Qjidaa, "A Novel Approach to Reduce the Unicast Bandwidth of an IPTV System in a High-Speed Access

Network," *Int. J. Digit. Multimed. Broadcast.*, vol. 2017, 2017.

[98] B. Ver Steeg *et al.*, "RFC 6285 : Unicast-Based Rapid Acquisition of Multicast RTP Sessions," RFC Editor, 2011.

[99] "OIPF Release 2 Specification Volume 4a – Examples of IPTV Protocol Sequences [V2.2]," 2013.

[100] J. Y. B. Lee, "On a unified architecture for video-on-demand services," *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 4, no. 1, pp. 38–47, Mar. 2002.

[101] S. M. Thampi, "A Review on P2P Video Streaming," Apr. 2013.

[102] E. H. Khabbiza, R. El Alami, and H. Qjidaa, "Peer-Assisted Content Delivery to Reduce the Bandwidth of TSTV Service in IPTV System," *Int. J. Digit. Multimed. Broadcast.*, vol. 2019, 2019.

[103] "ANSI, T1.413-1995; Network and Customer Installation Interfaces - Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface." 1998.

[104] ETSI TS 105 388 V1.1.1, "Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL2plus) - European specific requirements [ITU-T Recommendation G.992.5 modified]," 2008.

[105] C. Welsh, *GNS3 network simulation guide*. Packt Publishing, 2013.

[106] H. Fallon, A. de Lattre, J. Bilien, A. Daoud, M. Gautier, and C. Stenac, *VLC user guide*. 2003.

[107] J. van der Meer, D. Mackie, V. Swaminathan, D. Singer, and P. Gentric, "RFC 3640 : RTP Payload Format for Transport of MPEG-4 Elementary Streams," 2003.

[108] C. C. Wen and C. S. Wu, "QoS supported IPTV service architecture over hybrid-tree-based explicit routed multicast network," *Int. J. Digit. Multimed. Broadcast.*, vol. 2012, 2012.