

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et Informatique
Département d'Electronique

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Académique

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie Electrique

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Thème :

Extension du réseau MPLS via la technologie VSAT

Proposé par :

-Mr. MAHMOUDI azeddine

Encadré par :

-Mr. MEKHAZNI Mohamed Amine

-Mr. ADDAR Abderezak

-Mr. LAHDIR Mourad

Présenté par :

- BELAID El-Hadi

- BENEDINE Mahdi

2017/2018

Remerciements

Au terme de ce mémoire, nous tenons à montrer toute notre gratitude à nos deux encadrants Mr. MEKHAZNI Mohamed Amine et Mr. ADDAR Abderezak, en les remerciant pour leur temps, leurs conseils, leur implication, leur disponibilité et gentillesse, et toute l'aide qu'ils nous ont apporté pour mener à bien la réalisation de ce travail.

Aussi, un grand merci pour le directeur d'Algérie Télécom Satellite, Mr. MAHMOUDI Azeddine, qui nous a donné cette opportunité de travailler au sein de la base d'ATS de « LAKHDARIA », ainsi que les moyens qu'il a mis à notre disposition.

Un très grand merci pour Mr. ASSAM Hcicène et Mr. ASSAM Mohand grâce à qui tout cela a pu avoir lieu.

Au final, un grand merci à notre promoteur Mr. LAHDIR Mourad, pour ses conseils, son temps et sa gentillesse. Ainsi que tous ceux qui ont contribué à la réalisation de notre travail.

MERCI...

Mahdi et El-hadi.

Dédicaces

On dédie ce travail à nos chers parents pour leurs aides, leurs sacrifices, leurs encouragements, leurs soutiens qui nous a conforté dans les moments difficiles.

A nos frères et sœurs, à nos familles, à tous ceux qui nous sont proches, à tous ceux qu'on aime, qui nous aiment.

A nos amis(es).

GLOSSAIRE

ACM : Adaptative Coding and Modulation

AEL : Affaiblissement de l'Espace Libre

APSK : Amplitude and phase-Shift Keying

ATS : Algérie Télécom Satellite

BPSK : Base Phase-shift keying

BUC : Block Up Converter

CDMA : Code Division Multiplexed Access

CE : Customer Edge

COS : Class Of Service

CR-LDP : Constraint-based Routing Over Label Distribution Protocol

CSPF : Constrained Shortest Path First

Diffserv : Differentiated Services

DVB-S : Digital Video Brodcasting-Satellite

EBGP : External BGP

ELSR : Edge Label Switching Router

FDMA : Fréquence Division Multiplexed Access

FEC : Forward Error Corrector

FEC : Forwarding Equivalence Class

FIB : Forwarding Information Base

GEO : Geostationary Earth Orbit

GMPLS : Generalized MPLS

HLC : Hub Line Carde

IBGP : Internal BGP

ICO : Intermediate Circular Orbits

IDU : InDoor Unit

IETF : Internet Engineering Task Force

IGP : Interior Gateway protocol

IP : Internet Protocol

LAN : Local Area Network

LDP : Label Distribution Protocol

LEO : Low Earth Orbit

LER : Label Edge Router

LFIB : Label Forwarding Information Base

LIB :Label Information Base

LNB : Low Noise Block

LSP : Label Switch Path

LSR : Label Switching Router

MEO : Medium Earth Orbit

MPLS : Multi Protocol Label Switching

MPLS-TE : Multi Protocol Label Switching- Traffic-Engineering

NMS : Network Management System

ODU : OutDoor Unit

OPT : Open File

OSI : Open Systems Interconnection

OSPF : Open Shortest Path First)

OSPF-TE : Open Shortest Path First-Traffic Engineering

P : Provider router

PE : Provider Edge Router

PN : Privat Network

PP : Protocol Processor

QoS : Qualité de Service

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying

RCVO : ReCeIve Only

RIP : Router Information Protocol

RIP : Routing Information Protocol

RSVP : ReSerVation Protocol

RSVP-TE : ReSerVation Protocol-Traffic Engineering

SPF : Shortest Path First

TCP/IP : Transfer Control Protocol/ Internet Protocol

TDM : Time Division Multiplexed

TDMA : Time Division Multiplexed Access

TE : Traffic-Engineering

TT&C : Tracking Telemetry and Command

TTL : Time To Live

VPLS : Virtual Privite LAN Services

VPN : Virtual Private Network

VSAT : Very Small Aperture Terminal

Liste des figures

Figure 1.1 : la couche MPLS.....	5
Figure 1.2 : architecture physique du MPLS.....	6
Figure 1.3: architecture de l’Ingress LER.....	7
Figure 1.4: architecture de l’Egress LER.....	7
Figure 1.5 : architecture logique du réseau MPLS.....	8
Figure 1.6 : plan de contrôle et plan de données.....	9
Figure 1.7 : table LFIB.....	10
Figure 1.8 : annonce d’un nouveau préfixe par le protocole OSPF.....	11
Figure 1.9 : demande d’établissement d’un LSP.....	12
Figure 1.10 : attribution de labels par le protocole LDP.....	12
Figure 1.11 : établissement des chemins (des LSP)	13
Figure 1.12 : l’entête MPLS.....	14
Figure 1.13 : routage implicite.....	15
Figure 1.14 : routage explicite.....	16
Figure 1.15 : les messages LDP.....	17
Figure 1.16: distribution de labels selon le mode non sollicité.....	18
Figure 1.17: distribution de labels selon le mode sollicité.....	19
Figure 1.18 : la commutation de label.....	20
Figure 1.19 : routage classique.....	21
Figure 1.20 : la TE selon MPLS.....	21
Figure 1.21 : établissement de chemin avec RSVP-TE.....	23
Figure 1.22 : VPN/MPLS.....	25
Figure 2.1 : secteur terrestre et secteur spatial.....	30
Figure 2.2 : satellite en orbite.....	31
Figure 2.3 : satellite de télécommunication.....	31
Figure 2.4 : les transpondeurs d’un satellite de télécommunication.....	32
Figure 2.5 : classement des satellites selon leurs orbites.....	34
Figure 2.6 : zones de couvertures des satellites selon leur orbite.....	36
Figure 2.7 : délai de propagation.....	36
Figure 2.8 : la technologie VSAT.....	38

Figure 2.9 : composants d'un site VSAT distant.....	39
Figure 2.10 : antenne VSAT.....	40
Figure 2.11 : BUC iDirect.....	40
Figure 2.12 : LNB iDirect.....	41
Figure 2.13 : Hub iDirect de Lakhdaria.....	43
Figure 2.14 : architecture d'un Hub iDirect.....	43
Figure 2.15 : serveur NMS.....	44
Figure 2.16 : le Protocol Processor.....	44
Figure 2.17 : châssis du Hub iDirect.....	45
Figure 2.18 : carte HLC.....	45
Figure 2.19 : routeur du Hub.....	46
Figure 2.20 : routeur iDirect evolution X7.....	46
Figure 2.21 : La topologie Star.....	47
Figure 2.22 : La topologie Mesh.....	48
Figure 2.23 : la topologie I/SCPC.....	48
Figure 3.1 : interface du GNS3.....	53
Figure 3.2 : interface graphique de iBuilder.....	54
Figure 3.3 : interface graphique de iMonitor.....	55
Figure 3.4 : interface graphique de iSite.....	56
Figure 3.5 : nommer le projet.....	57
Figure 3.6 : topologie complète du réseau.....	58
Figure 3.7 : interface de configuration.....	59
Figure 3.8 : attribution d'adresse IP à une interface.....	59
Figure 3.9 : activation du protocole ospf.....	61
Figure 3.10 : activation du MPLS.....	61
Figure 3.11 : activation de la TE.....	62
Figure 3.12 : association de la TE à OSPF.....	62
Figure 3.13 : création de tunnel.....	63
Figure 3.14 : spécification du chemin du tunnel.....	63
Figure 3.15 : partage de charge entre deux tunnels.....	64
Figure 3.16 : enregistrer la configuration.....	64
Figure 3.17 : test d'établissement de la connexion.....	65

Figure 3.18 : vérification de la création du tunnel 1	65
Figure 3.19 : visualisation du trafic avec Wireshark.....	66
Figure 3.20 : configuration d'adresses IP sur la carte HLC.....	69
Figure 3.21 : configuration du Downstream de la carte HLC.....	70
Figure 3.22 : configuration du Upstream de la carte HLC.....	70
Figure 3.23 : ajouter un routeur (terminal).....	71
Figure 3.24: donner les informations concernant le routeur.....	72
Figure 3.25 : configuration IP.....	72
Figure 3.26 : choix de la bande passante dans la QoS.....	73
Figure 3.27 : attribution des coordonnées de géolocalisation.....	73
Figure 3.28 : configuration des constituants de l'antenne.....	74
Figure 3.29 : application de la configuration sur le routeur.....	74
Figure 3.30 : enregistrement et sauvegarde du fichier OPT.....	75
Figure 3.31 : l'accès au routeur iDirect X7 du client.....	76
Figure 3.32 : configuration du routeur X7.....	77
Figure 3.33 : connecter le LNB au routeur X7.....	77
Figure 3.34 : visualisation du signal lors du pointage de l'antenne.....	78
Figure 3.35 : intégrer les sites clients au backbone MPLS.....	79
Figure 3.36 : correspondre QoS iDirect au LSP MPLS.....	80
Figure 3.37 : étendre le cloud MPLS à l'échelle mondiale.....	81

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : bandes de fréquences utilisées.....	34
Tableau 3.1 : configuration des interfaces de tous les routeurs.....	60
Tableau 3.2 : les équipements utilisés.....	66-67

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre 1 : La technologie MPLS	4
1.1 Préambule	4
1.2 Définition du MPLS (Multi-Protocol Label Switching).....	4
1.3 Architecture du MPLS	6
1.3.1 Architecture physique	6
1.3.1.1 Les routeurs LSR.....	6
1.3.1.2 Les routeurs LER	6
1.3.2 Architecture logique du MPLS	8
1.3.2.1 Plan de contrôle	8
1.3.2.2 Plan de données	8
1.4 Principe de fonctionnement du MPLS.....	10
1.4.1 Définition d'un label	13
1.4.2 L'entête MPLS	14
1.4.3 Le LSP (Label Swithing Path)	14
1.4.3.1 Routage implicite (Implicit Routing)	15
1.4.3.2 Routage explicite (Explicit Routing).....	15
1.4.4 L'OSPF (Open Shortest Path First)	16
1.4.5 La FEC (Forwarding Equivalence Class)	16
1.4.6 Distribution de label par le protocole LDP (Label Distribution Protocol)	17
1.4.7 La commutation des labels	19
Figure 1.18 : la commutation de label.	20
1.5 Les applications du MPLS.....	20
1.5.1 L'ingénierie de trafic (Traffic Engineering)	20
1.5.1.1 Le MPLS-TE.....	20
1.5.1.2 L'OSPF-TE (Open Shortest Path First-Traffic Engineering)	21
1.5.1.3 La création des LSP-TE	21
1.5.1.4 Les protocoles de signalisation incluant la TE.....	22
1.5.2 MPLS-QoS (Quality of Service).....	24
1.5.3 Les VPN/MPLS	24
1.6 L'évolution du MPLS.....	25

1.6.1 GMPLS (Generalized MPLS).....	25
1.6.2 VPLS (Virtual Private LAN Services)	25
1.7 Discussion.....	27
Chapitre 2 : Le réseau de transmission satellitaire VSAT	29
2.1 Préambule	29
2.2 Historique	29
2.3 Description d'un système de télécommunication par satellite	30
2.3.1 Le secteur terrestre	30
2.3.2 Le secteur spatial.....	30
2.4 Définition d'un satellite	31
2.4.1 Définition d'un satellite de télécommunication.....	31
2.4.2 Les composants d'un satellite	32
2.4.2.1 La plateforme	32
2.4.2.2 La charge utile d'un satellite	32
2.4.3 Classement des satellites selon leurs orbites.....	33
2.4.3.1 Les satellites LEO (Low Earth Orbit)	33
2.4.3.2 Les satellites MEO (Medium Earth Orbit).....	33
2.4.3.3 Les satellites GEO (Geostationary Earth Orbit).....	33
2.4.4 Les bandes de fréquences et régions de couverture	34
2.4.4.1 Les bandes de fréquences utilisées.....	34
2.4.4.2 Les régions de couverture	35
2.4.5 Les contraintes d'un système de satellitaire.....	35
2.4.5.1 La gestion de la bande passante	35
2.4.5.2 La zone de couverture	36
2.4.5.3 Le délai de propagation	36
2.4.6 Les paramètres influant les transmissions satellitaires	37
2.4.6.1 Le rapport signal sur bruit [S/N]	37
2.4.6.2 Affaiblissement en Espace Libre(AEL)	37
2.4.6.3 Effet des éléments dans l'atmosphère	37
2.5 La technologie VSAT	37
2.5.1 Les composants d'un réseau VSAT	38
2.5.1.1 Le Hub.....	38
2.5.1.2 Une station VSAT (site distant)	39
2.5.2 L'antenne VSAT.....	39

2.5.2.1 Le BUC (Block Up Converter)	40
2.5.2.2 Le LNB (Low Noise Block).....	41
2.6 Le système VSAT iDirect.....	41
2.6.1 Le standard DVB-S2 (Digital Video Broadcasting - Satellite 2).....	42
2.6.1.1 Techniques de modulation	42
2.6.1.2 Codage FEC (Forward Error Corrector)	42
2.6.1.3 Technique de multiplexage	43
2.7 Le Hub iDirect evolution.....	43
2.7.1.1 Le serveur NMS (Network Management System).....	44
2.7.1.2 Le PP (Protocol Processor)	44
2.7.1.3 Le châssis iDirect 5IF.....	45
2.7.1.4 Le routeur du Hub	46
2.7.2 Les routeurs satellites iDirect evolution	46
2.7.3 Les topologies VSAT.....	47
2.7.3.1 La topologie Star (étoile).....	47
2.7.3.2 La topologie Mesh (maillé)	48
2.7.3.3 La topologie I /SCPC	48
2.8 Avantages et inconvénients de la technologie iDirect.....	49
2.8.1 Les avantages	49
2.8.2 Les inconvénients.....	49
2.9 Les services offerts par un système VSAT.....	49
2.10 Discussion.....	50
Chapitre 3 : La liaison MPLS-TE VSAT	52
3.1 Préambule	52
3.2 Applications.....	52
3.2.1 L'émulateur GNS3.....	52
3.2.2 L'application iVantage.....	53
3.2.2.1 iBuilder.....	53
3.2.2.2 iMonitor.....	54
3.2.2.3 iSite.....	55
3.3 Partie 1 : Simulation et configuration d'un réseau MPLS-TE à l'aide de GNS3.....	56
3.3.1 Etape 1 : simulation du réseau	56
3.3.2 Etape 2 : configuration de notre réseau.....	58
3.3.2.1 Configuration des interfaces.....	58

3.3.2.2 Activer le protocole OSPF	60
3.3.2.3 Activer le MPLS.....	61
3.3.2.4 Activer le Traffic Engineering (MPLS-TE)	61
3.3.2.5 Création de tunnel	62
3.3.2.6 Partage de charge entre les deux tunnels.....	64
3.4 Partie 2 : Configuration d'un réseau VSAT	66
3.4.1 Etape 1 : Configuration au niveau du Hub.....	68
3.4.1.1 Configuration de la carte HLC	68
3.4.1.2 Configuration du routeur	71
3.4.2 Etape 2 : Configuration au niveau de la station VSAT (site distant).....	75
3.5 Partie 3 : établir la liaison entre les deux réseaux MPLS-TE et VSAT.....	78
3.6 Discussion.....	82
Conclusion.....	84
Résumé.....	87
Annexes	88
Bibliographie.....	95
Webographie.....	96

Introduction

Introduction :

Le monde interconnecté d'aujourd'hui génère de gros volumes de données, liées aux réseaux multiservices, qui offrent notamment des applications en temps réel comme la VoIP, l'IP TV, le Streaming.... Ces volumes conséquents saturent les réseaux informatiques existants, qui utilisent majoritairement le protocole IP (Internet Protocol), basé sur le routage de paquets de données. Il permet de router (acheminer) les données en utilisant des adresses IP, et vu qu'il fonctionne en mode non connecté, il montre ses limites en terme de bande passante, de débit, de QoS (Quality of Service) et de gestion des pannes. Des services appréciés et recherchés par les utilisateurs, notamment par des entreprises qui souhaitent établir leurs propres réseaux, et communiquer en temps réel, ainsi, pouvoir assurer la sécurité et l'arrivée des données, et ce dans les meilleurs délais possibles.

Ce problème de saturation a poussé les chercheurs du domaine des télécommunications à trouver une solution, qui permet de gérer au mieux les réseaux multiservices. La solution trouvée s'est portée sur la technologie MPLS (Multi Protocol Label Switching), qui est basée sur la commutation de paquets IP. Elle combine les concepts de routage de la couche réseau, et les mécanismes de la commutation de la couche liaison du modèle OSI (Open Systems Interconnection).

Cette technologie MPLS qui fonctionne en mode connecté, permet de gérer au mieux les réseaux multiservices. Parmi les améliorations apportées par le MPLS, la possibilité de préconfigurer des chemins (routes) explicites, et des routes de secours en cas de panne, ainsi que le partage de charge entre ces différentes routes pour éviter la congestion, la réservation et l'optimisation des ressources (en terme de bande passante). L'amélioration la plus notable, est la diminution du délai de transmission des paquets à travers le réseau, grâce à la prise en charge des traitements complexes de ces derniers, par les routeurs situés aux extrémités du réseau MPLS, ce qui garantit une bonne QoS.

Pour exploiter au mieux cette technologie, la fibre optique s'est montrée comme le support de transmission adéquat, pour assurer les besoins en débit des utilisateurs. Cependant, il existe des zones non reliées au réseau terrestre, surtout dans les endroits isolés et éloignés, où de grandes entreprises œuvrent dans l'exploitation minière, pétrolière...etc, et qui ont besoin de transmettre et recevoir des données en temps réel, en toute confidentialité, et surtout de disposer d'une grande mobilité dans les transmissions de données.

Un autre mode de transmission dans ce cas est envisagé, pour remédier à ces contraintes, de la qu'on a pensé à exploiter les satellites dans les télécommunications, qui utilisent comme support de transmission, les ondes électromagnétiques. L'utilisation des satellites dans les télécommunications, permet de remédier aux besoins d'accès au très haut-débit, et de sécuriser les transmissions, ainsi que de mettre fin aux problèmes, liés à l'emplacement par rapport aux infrastructures terrestres. D'où l'apparition d'une nouvelle technologie appelée VSAT (Very Small Aperture Terminal), elle permet d'assurer des transmissions entre plusieurs sites distants terrestres, grâce à une plateforme iDirect. VSAT est composée d'un site central, et de plusieurs sites distants.

L'objet de notre projet de fin d'étude, est de trouver comment faire la liaison entre ces deux technologies (envoi de datas MPLS via le satellite avec la technologie VSAT), ainsi, pour réaliser notre travail, notre mémoire est divisé en trois chapitres, qui sont les suivants : dans le premier chapitre, nous présentons la technologie MPLS, son fonctionnement et ses applications. Dans le deuxième chapitre, nous donnons des généralités sur les systèmes satellitaires, et nous présentons la technologie VSAT. Le troisième et dernier chapitre, est consacré à la partie pratique, où nous avons simulé un réseau MPLS-TE, et créé un réseau VSAT en utilisant le satellite Algérien Alcomsat-1, dans le but de faire la liaison entre ces deux technologies, qui est l'objectif de notre travail. Nous terminons notre mémoire par une conclusion, tout en donnant les perspectives nécessaires pour améliorer ce travail.

Chapitre 1 : La technologie MPLS.

1.1 Préambule :

Le protocole IP (Internet Protocol) est grandement employé dans les applications réseaux. Vers les années 2000, il y-a eu une forte augmentation des tailles des réseaux, et du trafic de données, ce qui a mis en évidence les limites de l'architecture classique d'un réseau IP. Pour transporter des paquets à travers ce dernier, les routeurs analysent l'adresse de destination dans l'entête IP, avant de les envoyer sur la bonne interface de sortie, c'est le routage IP.

Cette opération est répétée dans chaque routeur, puisqu'il fonctionne dans un mode non connecté, c'est-à-dire, les paquets constituant un message peuvent emprunter plusieurs chemins différents, ce qui ralentit considérablement la transmission de ce dernier.

Pour résoudre tous ces problèmes, le MPLS (Multi Protocol Label Switching) a été mis en place. Son principe de base est de reprendre les avantages du routage IP (couche réseau), et ceux de la commutation (couche liaison), pour répondre aux besoins de fiabilité et de disponibilité.

1.2 Définition du MPLS (Multi-Protocol Label Switching) :

Le MPLS est une nouvelle technologie des réseaux normalisés par l'IETF (Internet Engineering Task Force), il permet de migrer le réseau IP routé vers un réseau IP commuté. Ça consiste à attribuer une nouvelle en-tête, appelée l'en-tête MPLS aux paquets IP, cette dernière contient des labels (étiquettes) en plus d'autres champs (EXP, S, ...). Le routage des paquets à l'intérieur d'un réseau MPLS, se base sur les labels et non pas sur les adresses IP, pour cela, une couche MPLS est ajoutée au modèle OSI (Open Systems Interconnection), cette couche regroupe les concepts de routage IP de la couche réseau (couche 3), et les mécanismes de commutation de la couche liaison (couche 2), elle se situe entre ces deux couches, et est référencée comme la couche 2,5.

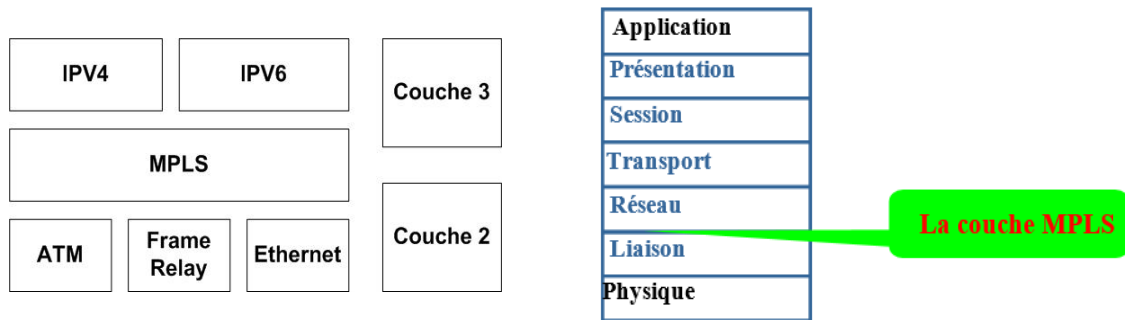


Figure 1.1 : la couche MPLS.

Parmi les objectifs principaux du MPLS :

- Simplifier et améliorer le transfert des paquets (en remplaçant la fonction de routage par une fonction de commutation (utilisation de labels)).
- Optimisation des ressources (gestion du trafic assurée par la TE (Trafic Engineering) pour éviter la congestion d'une liaison dans un réseau).
- Garantir une bonne qualité de service (QoS) pour les clients.
- Regrouper plusieurs mécanismes complémentaires au fonctionnement du réseau IP, sans pour-autant exiger la mise en place de nouvelles infrastructures.
- Affecter le traitement complexe des paquets aux routeurs se trouvant aux extrémités d'un réseau MPLS, tandis-que ceux qui se trouvent dans le cœur du réseau s'occupent seulement de la commutation des paquets.
- Réduire le coût.

➤ **Définition de l'IETF (Internet Engineering Task Force) :**

L'IETF est une communauté internationale de personnes, spécialisées dans le domaine des réseaux internet. Ces groupes de travail ont créé les standards : de routage, de gestion des réseaux, de transport, de sécurité, de la qualité de service...etc. Elle a été constituée en 1986 dans le but d'améliorer le fonctionnement de l'internet, elle reste ouverte à tout individu voulant l'intégrer et la consulter (concepteurs de réseaux, opérateurs, chercheurs, vendeurs..., etc).

1.3 Architecture du MPLS :

1.3.1 Architecture physique :

L'architecture physique du MPLS est composée de deux types de routeurs, qui sont interconnectés entre eux, les LSR (Label Switching Router) et les LER (Label Edge Router).

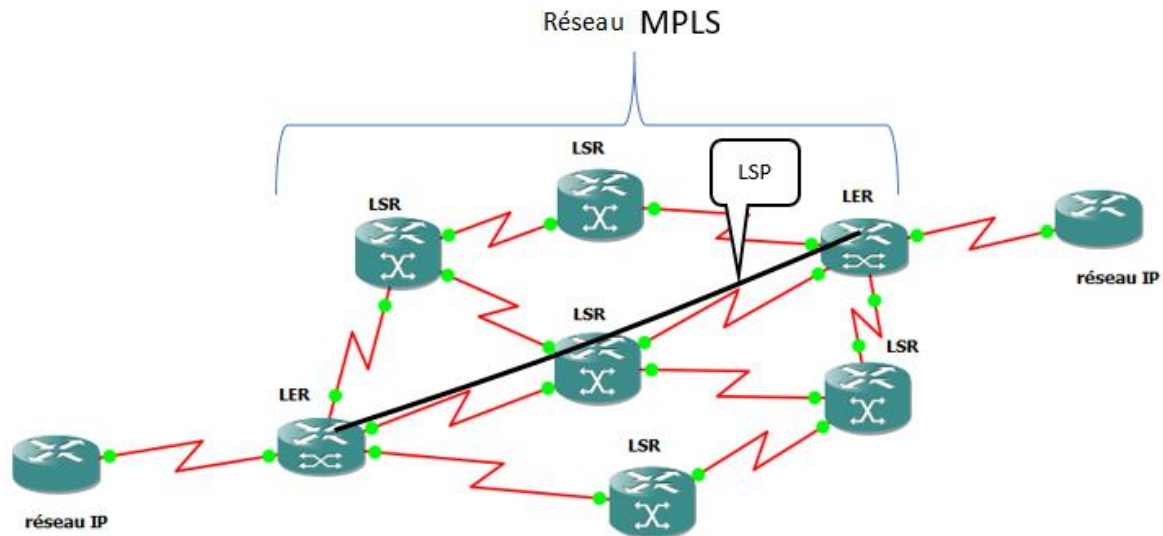


Figure 1.2 : Architecture physique du MPLS.

1.3.1.1 Les routeurs LSR :

Ce sont des routeurs commutateurs qui se situent au cœur du réseau MPLS, ils permettent la commutation des paquets en fonction des labels, sans consultation d'adresse IP.

1.3.1.2 Les routeurs LER :

Appelés aussi les ELSR (Edge Label Switching Router), ce sont des LSR qui se situent aux extrémités du réseau MPLS, ils représentent l'interface entre le réseau MPLS et les autres réseaux extérieurs (IP, ATM...).

Ils sont responsables de l'affectation des labels aux paquets IP entrants, et de les enlever à la sortie, une partie d'entre eux supporte le protocole IP, et l'autre le protocole MPLS pour l'adaptation des paquets IP au réseau MPLS. Il existe deux types de LER :

- **Ingress LER** : c'est un routeur commutateur d'entrée au réseau MPLS, il permet d'affecter un label à un paquet IP, pour qu'il puisse transiter dans le cœur d'un réseau MPLS, à travers les LSR jusqu'au routeur de sortie. Pour que le Ingress LER affecte un label il doit :

- Examiner le paquet IP entrant (consulter son adresse IP de destination).
- Classifier le paquet IP dans une FEC (Forwarding Equivalence Class).
- Générer l'entête MPLS qui contient le label correspondant à la FEC à laquelle le paquet IP appartient (correspondance FEC /label déduite à partir d'une table appelée LFIB (Label Forwarding Information Base)).

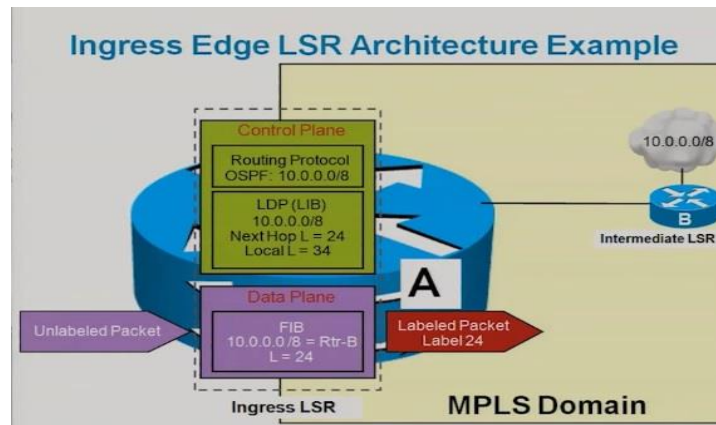


Figure 1.3: architecture de l'Ingress LER.

- **Egress LER** : C'est un routeur commutateur de sortie du réseau MPLS, il a pour fonction d'enlever le label affecté aux paquets par les routeurs qui se trouvent en amont, puis, ces paquets sont routés vers le routeur extérieur du réseau MPLS (appartient à un autre réseau : IP, ATM...), en utilisant l'adresse IP de destination.

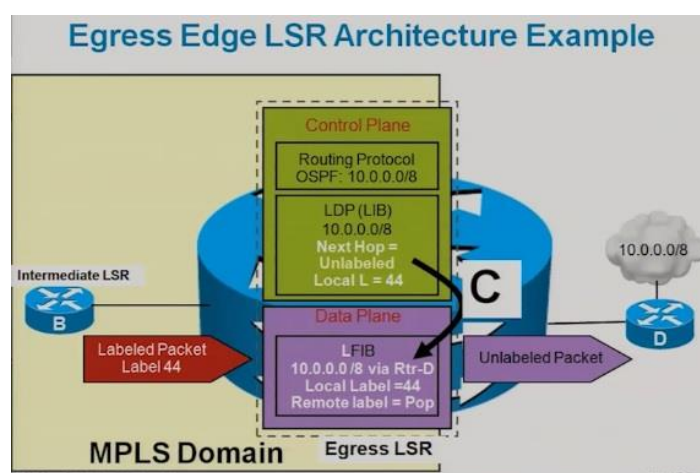


Figure 1.4: architecture de l'Egress LER.

1.3.2 Architecture logique du MPLS :

Cette architecture repose sur deux plans principaux pour la commutation des labels dans le réseau, qui sont illustrés dans la figure suivante :

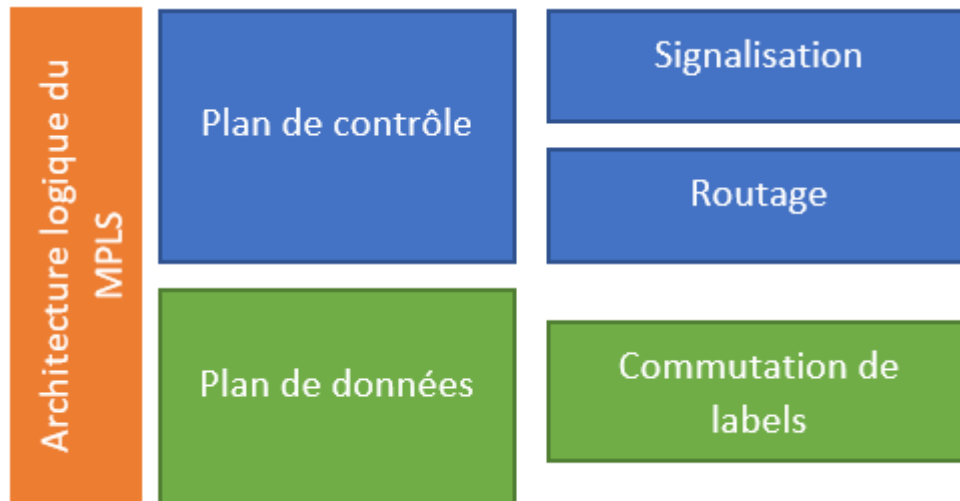


Figure 1.5 : architecture logique du réseau MPLS.

1.3.2.1 Plan de contrôle :

Ce plan est composé de deux parties : la partie routage et la partie signalisation.

La partie routage utilise des protocoles de routage IGP (Interior Gateway Protocol) classiques, tels que l'OSPF (Open Shortest Path First), dans le but d'avoir une vision globale de la topologie du réseau MPLS (création de la table de routage).

La partie signalisation s'occupe de la distribution des labels et la création des chemins LSP (Label Switch Path), grâce à des protocoles de signalisation spécialement développés pour le réseau MPLS comme le LDP (Label Distribution Protocol). La construction des LSP se fait de deux manières : par le routage implicite et le routage explicite (développé par la suite).

1.3.2.2 Plan de données :

Il est indépendant des protocoles de routage et de distribution des labels, il permet d'acheminer les paquets labélisés à travers le réseau MPLS, en se basant sur une table de commutation appelée LFIB (Label Forwarding Information Base). La LFIB permet de commuter des paquets de la source vers la destination, en utilisant les bons labels pour avoir le

meilleur chemin (LSP) possible. Les LSR construisent deux tables, la LFIB et la LIB (Label Information Base) à partir des informations apprises par le protocole LDP. La LFIB est un sous-ensemble de la base LIB.

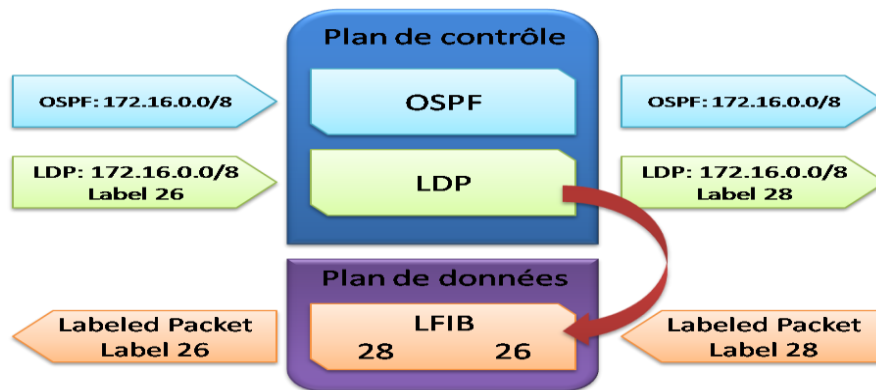


Figure 1.6 : plan de contrôle et plan de données.

Pour acheminer les paquets, le MPLS utilise trois structures de données :

➤ **La LIB (Label Information Base) :**

C'est la première table construite par les routeurs MPLS. Elle contient pour chaque sous-réseau IP (adresse destination), la liste des labels affectés par les LSR voisins, ce qui permet à chaque routeur de connaître tous les chemins possibles pour atteindre la destination.

➤ **La LFIB (Label Forwarding Information Base) :**

Chaque routeur construit une table LFIB à partir de la table LIB et la table de routage IP. Elle ne contient que les labels qui permettent d'avoir le meilleur chemin vers la destination.

En fonction du port et du label d'entrée, elle permet de déterminer le label et le port de sortie dans un routeur (LSR).

La table **LFIB** de R2

Interface IN	Label IN	Interface Out	Label Out
0	45	1	22

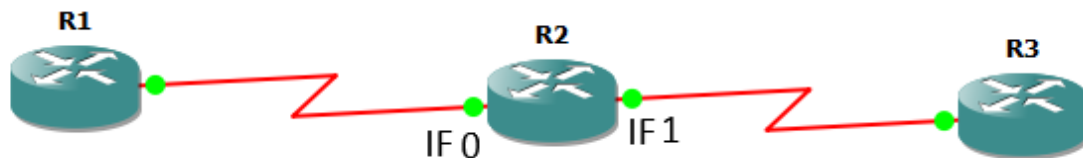


Figure 1.7 : table LFIB.

➤ **La FIB (Forwarding Information Base) :**

Cette table permet d'acheminer les paquets non labélisés.

1.4 Principe de fonctionnement du MPLS :

Le MPLS repose sur le principe de commutation des labels (étiquettes). Il représente la convergence du réseau IP basé sur le routage par adresse IP, vers une autre méthode de transfert, qui est la commutation des labels. L'avantage principal de cette méthode est d'accroître la vitesse de traitement des datagrammes par les équipements du réseau (les routeurs), ce qui diminue considérablement le délai de transfert des données, et garantit une bonne qualité de service en ce qui concerne les multimédias (VoIP, visio-conférence...), les VPN ...

Le fonctionnement du MPLS se fait comme suit :

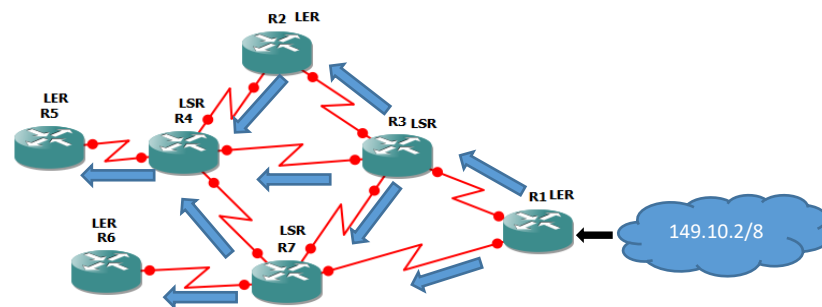
Lorsqu'un paquet arrive à un LER d'entrée (Ingress LER), ce dernier lui affecte un label en fonction de son FEC (Forwarding Equivalence Class) à laquelle il appartient (souvent, elle représente l'adresse IP de destination), puis ce paquet est commuté par les LSR (chaque LSR change le label d'entrée par un autre de sortie), jusqu'au LER de sortie (Egress LER) qui supprime le label (souvent le LSR avant le Egress LER qui supprime le label), le routage IP prend alors le relais (en dehors du réseau MPLS). Le chemin emprunté par le paquet dans le réseau MPLS est appelé un LSP (Label Switching Path), ce dernier est déterminé par des protocoles de routage tels que l'OSPF, qui permettent de créer des tables de routage dans chaque routeur. Ensuite, les LSP sont établis par des protocoles de distribution de labels tels que le

LDP, lors de cette distribution, une table de commutation LFIB est créée dans chaque routeur (LSR et LER).

Pour bien visualiser tout cela, voici un exemple d'illustration :

A noter que dans cet exemple, la distribution des labels par LDP se fait selon le mode sollicité (par demande avec le message « Label Request »).

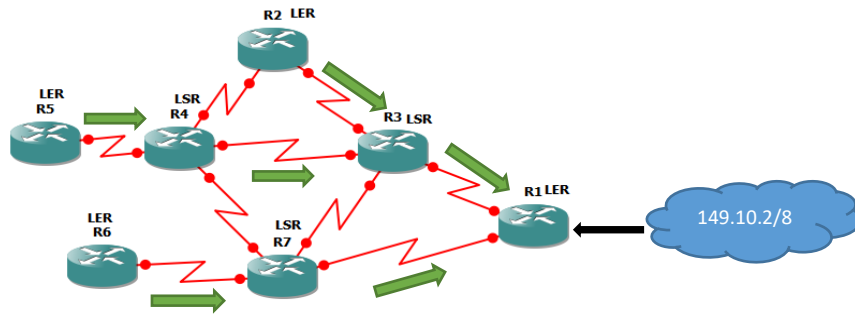
- ❖ Lors de la détection d'un nouveau préfixe (exemple : 149.10.2/8) par un LER (Egress) :
 - Ce dernier envoie un message d'annonce de ce nouveau préfixe (implique la création d'une nouvelle FEC) par l'un des protocoles de routage tels que l'OSPF.
 - Les LER d'entrée (Ingress LER) apprennent l'existence du préfixe en recevant le message d'annonce.



➡ Message OSPF.

Figure 1.8 : annonce d'un nouveau préfixe par le protocole OSPF.

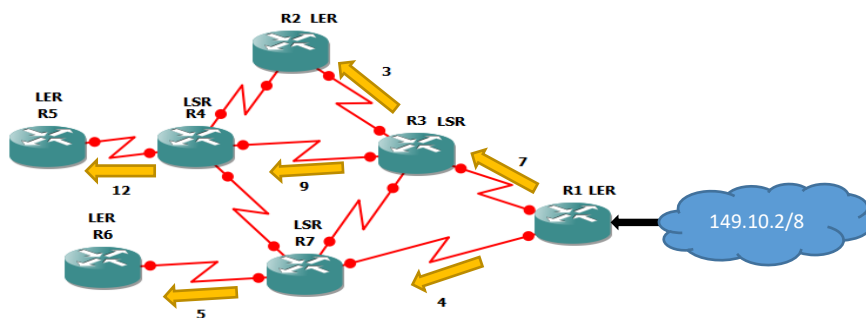
- ❖ Puis les LER d'entrée (Ingress LER) demandent l'établissement d'un LSP vers 149.10.2/8, via des messages "label request" du protocole LDP. Ces messages suivent la meilleure route IP (la moins courte et moins coûteuse calculée par un protocole de routage IP tel que l'OSPF) vers 149.10.2/8.



➡ Le message « Label Request ».

Figure 1.9 : demande d'établissement d'un LSP.

- ❖ Ensuite, les labels sont attribués (association FEC/label), en commençant par l'Egress LER, qui envoie un message "label mapping" du protocole LDP qui contient un label comme réponse au message "label request", dès qu'un LSR voisin reçoit ce message, il l'envoie lui aussi avec un nouveau label, ce processus se répète jusqu'aux Ingress LER.



➡ Le message « Label Mapping ».

Figure 1.10 : attribution de labels par le protocole LDP.

- ❖ Dès que les Ingress LER reçoivent leur label, le LSP est établi depuis chaque Ingress LER vers 149.10.2/8.

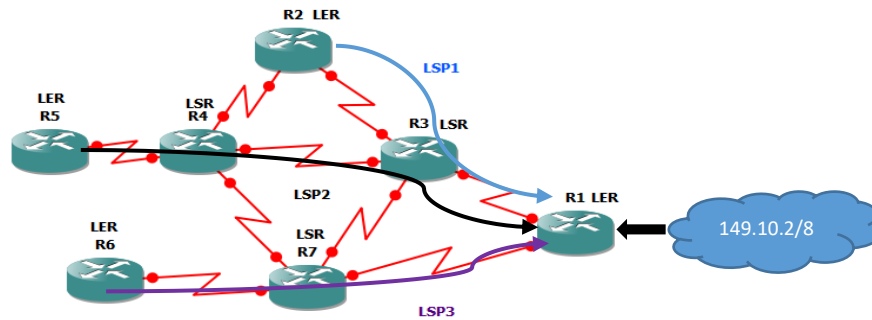


Figure 1.11 : établissement des chemins (des LSP).

A noter aussi que lors de la distribution des labels, une table de commutation des labels LFIB est créé dans chaque routeur du réseau MPLS, pour la commutation des paquets IP labélisés.

L'association FEC/label est appelée "binding".

La commutation des labels (paquets) sera expliquée par la suite.

1.4.1 Définition d'un label :

Un label (étiquette) est un nombre entier, qui prend un champ de 20 bits dans l'entête MPLS, cette dernière est insérée entre l'entête de la couche réseau, et celle de la couche liaison du paquet IP.

Les labels sont utilisés pour la commutation des paquets IP par les LSR du réseau MPLS, le long du chemin LSP déterminé. Grâce à la notion de label, les LSR du cœur du réseau n'ont pas besoin de consulter les adresses IP des paquets (source et destination), ils consultent juste les tables de commutation des labels.

1.4.2 L'entête MPLS :

L'entête MPLS est codé sur 4 octets (32bits), elle est divisée en quatre champs montré dans la figure suivante :

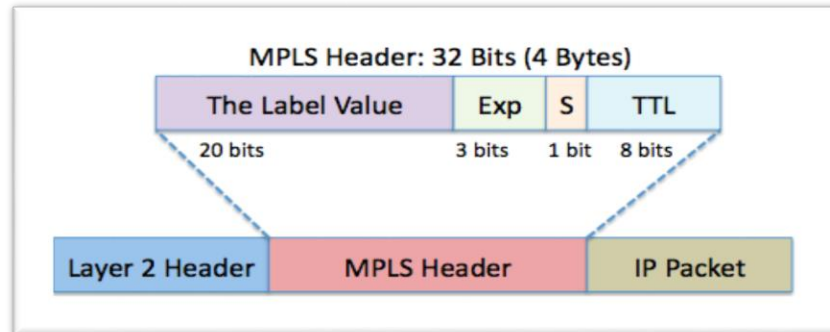


Figure 1.12 : l'entête MPLS.

Le champ LABEL : représente la valeur du label, il est sur 20 bits.

Le champ EXP : aussi appelé COS (Class Of Service), il inclut les informations sur la classe de service, il est codé sur 3 bits et reste expérimentale.

Le champ S (Bottom of Stack): c'est un champ sur 1 bit, il indique l'empilement des labels. Il est à 1 lorsque le label se trouve au sommet de la pile juste avant l'entête IP, sinon il est à 0.

Le champs TTL (Time To Live) : codé sur 8 bits, il limite la durée de vie d'un paquet, en limitant son nombre de sauts dans le réseau. A noter que ce nombre est décrémenté de 1 à chaque saut (à chaque passage dans un LSR). Le but est de minimiser l'effet des boucles.

1.4.3 Le LSP (Label Swithing Path) :

Il représente le chemin à emprunter par un paquet IP lors de son passage dans un réseau MPLS, on peut le définir aussi comme une succession de labels partant du routeur d'entrée (Ingress LER) jusqu'au routeur de sortie (Egress LER).

Ce chemin est créé avant la transmission des données, ou à la détection d'un paquet qui souhaite traverser le réseau. Les LSP sont établis par le protocole LDP, en fonction de la FEC (Forwarding Equivalence Class) correspondante au paquet. A noter qu'un LSP est unidirectionnel. L'établissement des LSP nécessite la mise en œuvre des protocoles de routage

IP (IGP), et des protocoles de signalisation spécifiques à MPLS tels que : LDP, RSVP, CR-LDP, RSVP-TE.

La construction d'un LSP se fait de deux manières :

1.4.3.1 Routage implicite (Implicit Routing) :

Dit aussi routage saut par saut (hop by hop), après le calcul du chemin LSP par un protocole de routage tel que l'OSPF, le protocole de signalisation LDP intervient dans chaque LSR pour faire la correspondance FEC/labels. Avec ce type de routage, chaque LSR est libre et responsable de choisir le saut (le prochain LSR voisin) qui appartiendra au LSP.

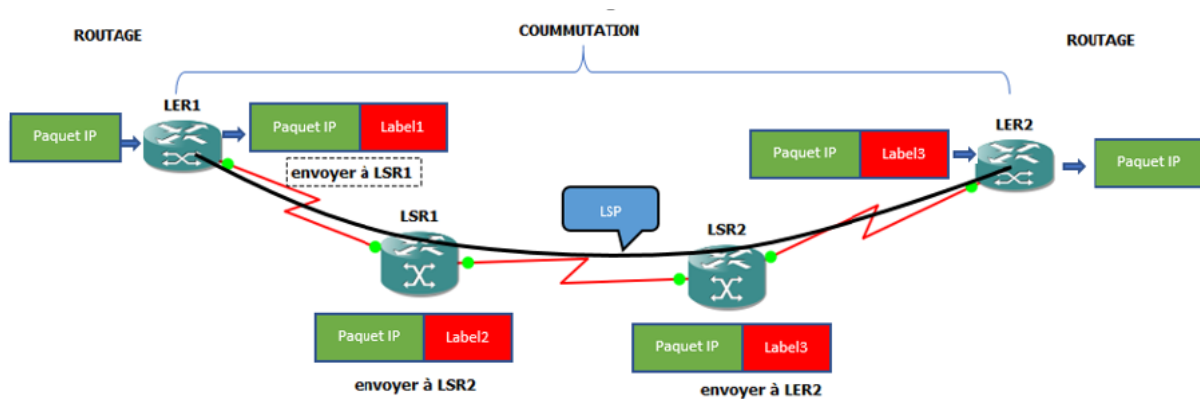


Figure 1.13 : routage implicite.

1.4.3.2 Routage explicite (Explicit Routing) :

Le routage explicite est la solution MPLS pour faire de l'ingénierie de trafic (TE), afin de garantir un chemin (LSP) qui vérifie les exigences du trafic, tel que la bande passante nécessaire, la qualité de service (QoS), le délai de transfert...etc.

Le but est d'utiliser efficacement les ressources du réseau, et la répartition du trafic d'une façon équilibrée sur l'ensemble du réseau, cela pour éviter la surutilisation des liens. Ce routage consiste à ne construire un LSP que lorsqu'un flux est susceptible de l'utiliser.

Dans le routage explicite, le choix des LSR qui construisent le LSP (de bout en bout) qui correspond à une FEC est fait généralement par un seul routeur, soit celui d'entrée (Ingress LER) ou de sortie (Egress LER), donc les LSR ne sont pas libres de choisir le prochain saut.

Cela permet à l’Ingress LER d’avoir une liste des LSR, à travers lesquels un paquet va être routé explicitement pour aboutir à l’Egress LER.

Ce type de routage nécessite la mise en œuvre de protocoles de routages, comme l’OSPF-TE (Open Shortest Path First-Traffic Engineering), et des protocoles de signalisation comme le RSVP-TE (ReSerVation Protocole- Traffic Engineering) et CR-LDP (Constraint-based Routing Over Label Distribution Protocol), qui permettent la réservation des ressources d’une façon optimisée, et la distribution des labels pour créer un LSP routé explicitement.

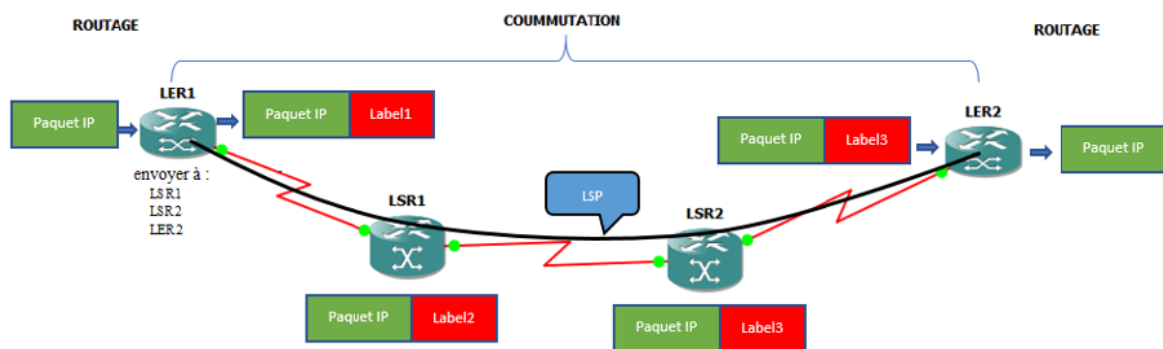


Figure 1.14 : routage explicite.

1.4.4 L’OSPF (Open Shortest Path First) :

L’OSPF a été désigné par l’IETF comme un des protocoles IGP le plus utilisé, il a été destiné à remplacer le RIP (Routing Information Protocol).

Les messages de routage à état de liens permettent au routeur d’avoir une vue de l’ensemble du réseau. C’est un protocole servant à déterminer le meilleur chemin que peuvent emprunter les paquets. Pour créer la table de routage, l’OSPF utilise un algorithme de plus courts chemins SPF (Shortest Path First).

1.4.5 La FEC (Forwarding Equivalence Class) :

La FEC est un ensemble de paquets IP ayant les mêmes caractéristiques (même adresse de destination, même adresse source, même QoS (Quality of Service)...), (souvent l’adresse IP de destination est la caractéristique de base prise comme une FEC) . Un paquet est assigné dès son entrée dans le réseau à une seule FEC, tous les paquets de la même FEC, reçoivent le même

traitement par les LSR au cours de leur acheminement. A chaque FEC est associé un label. Cette opération ne se réalise qu'une seule fois, cela veut dire que tous les paquets d'une même FEC ont le même label, et suivent le même chemin (LSP) au sein du réseau.

1.4.6 Distribution de label par le protocole LDP (Label Distribution Protocol) :

Un label est attribué à chaque FEC, cette distribution peut être manuelle (limitée pour les petits réseaux), ou bien automatique en utilisant un protocole spécifique tel que le LDP.

LDP définit l'ensemble des procédures et des messages utilisés pour l'attribution des labels entre les LSR, ils sont illustrés dans la figure suivante :

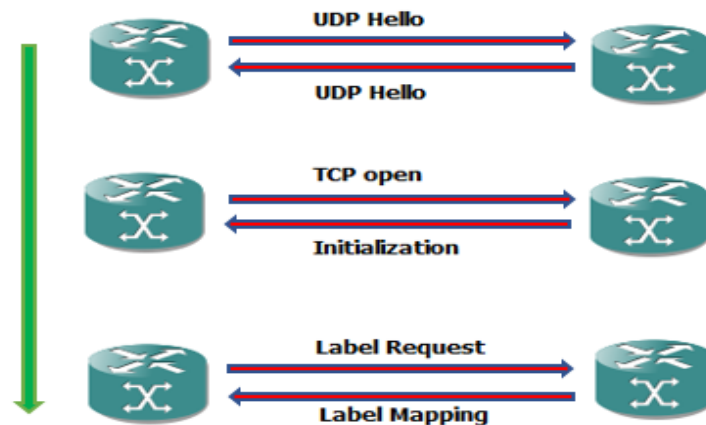


Figure 1.15 : les messages LDP.

Son rôle est d'associer des labels aux FEC, dans le but de créer des LSP, il permet de créer les tables de commutation dans chaque routeur, en se basant sur les tables de routage IP créées par les protocoles IGP (tel que OSPF).

Le message "Hello" est diffusé par un LSR, via le protocole UDP pour établir une relation (connexion) avec les LSR voisins, à la réception, les LSR disponibles répondent par le même message "Hello" pour confirmer leur présence (disponibilité).

Puis une session TCP est établie entre ces LSR voisins par l'échange des messages "TCP Open", et comme réponse, le message "Initialisation" est renvoyé pour initialiser le transport des messages d'annonce des labels.

Ensuite LDP commence la distribution des labels, soit avec le mode sollicité : un message “Label Request” est envoyé par l’Ingress LER vers l’Egress LER, ce dernier répond par un message “Label Mapping” qui contient un label. Soit avec le mode non sollicité : l’Egress LER distribue directement les labels avec le message “Label Mapping”, sans demande de l’Ingress LER par un message “Label Request”.

Il existe deux modes de distribution de labels :

➤ **Le mode non sollicité (mode Unsolicited) :**

Dès qu’un LER (souvent l’Egress LER) découvre une nouvelle FEC (nouvelle connexion d’un LER à un réseau IP, exemple : 128.67.22.2/8), il lui associe un label, puis, il informe ses voisins de la correspondance FEC/label, en diffusant le message “mapping” du protocole LDP jusqu’aux LER (Ingress LER).

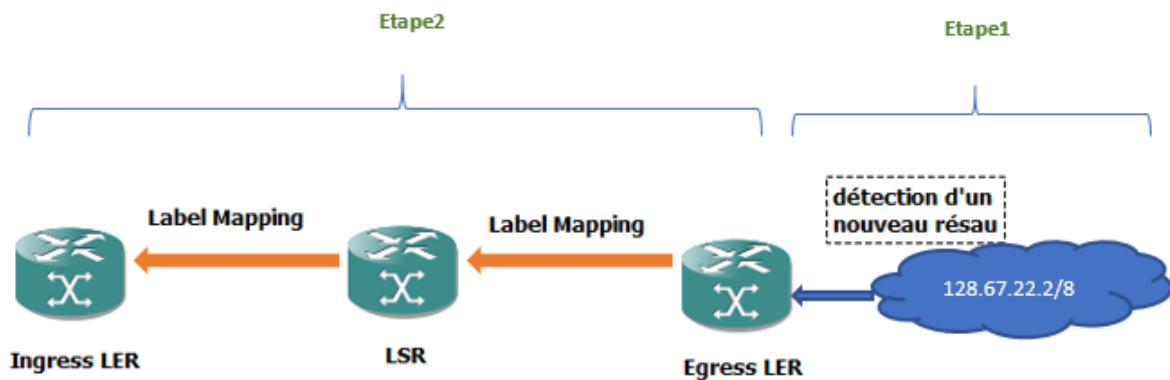


Figure 1.16 : distribution de labels selon le mode non sollicité.

➤ **Le mode sollicité (mode on Demand) :**

Dès qu’un LER reçoit un message d’annonce d’une nouvelle FEC (128.67.22.2/8) par un routeur LER (Egress LER), il lui demande de lui fournir un label à associer à cette FEC, cette demande est assurée par le message “label request” du protocole LDP, le Ingress LER répond par le message “Label mapping” qui contient la correspondance FEC/label.

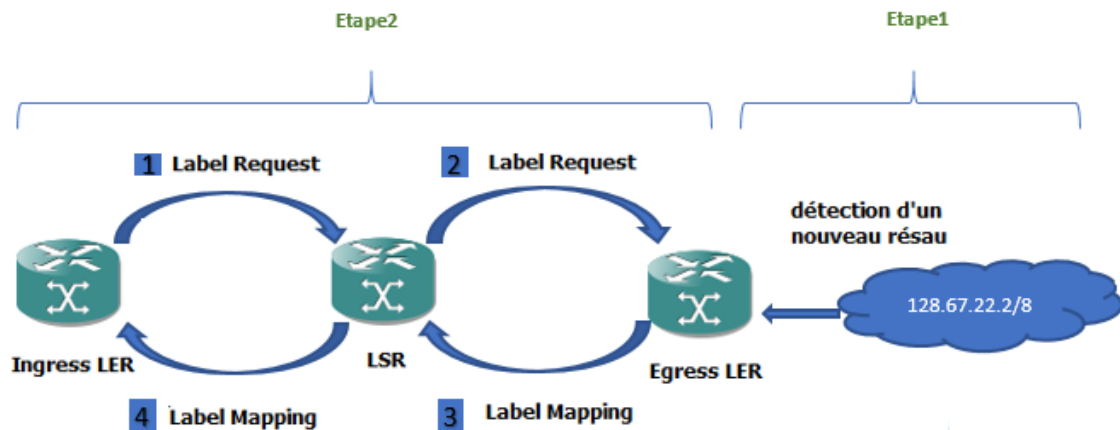


Figure 1.17: distribution de labels selon le mode sollicité.

1.4.7 La commutation des labels :

Lorsqu'un paquet arrive à un routeur d'entrée (Ingress LER) au réseau MPLS, ce dernier déduit en fonction de l'adresse IP de destination, la FEC à laquelle ce paquet est associé, puis, il consulte sa table de commutation de label, pour déduire le label et le port de sortie correspondant à cette FEC. Ensuite, l'Ingress LER insère ce label dans le paquet (entre les deux entêtes réseau et liaison), ce qui lui permet d'atteindre le prochain LSR.

Après l'insertion du label (opération Push), le paquet est acheminé par commutation de label, cette commutation est garantie par les LSR du cœur du réseau, le long du LSP associé à la FEC. Lorsqu'un LSR du cœur du réseau reçoit le paquet, il consulte sa table de commutation LFIB, et déduit le label et l'interface de sortie à partir du label et l'interface d'entrée, ensuite, le LSR change le label d'entrée par celui de sortie dans le paquet (opération Swap), et envoie ce dernier sur l'interface de sortie déduite. Ce processus est répété par chaque LSR, le long du LSP que le paquet doit emprunter jusqu'au routeur de sortie (Egress LER). Lorsque ce dernier reçoit le paquet, il supprime le label du paquet (opération Pop), dès lors, l'acheminement du paquet se fait par adresse IP. Par moment, c'est le LSR avant le Egress LER qui supprime le label. La figure suivante illustre ce qui a été décrit :

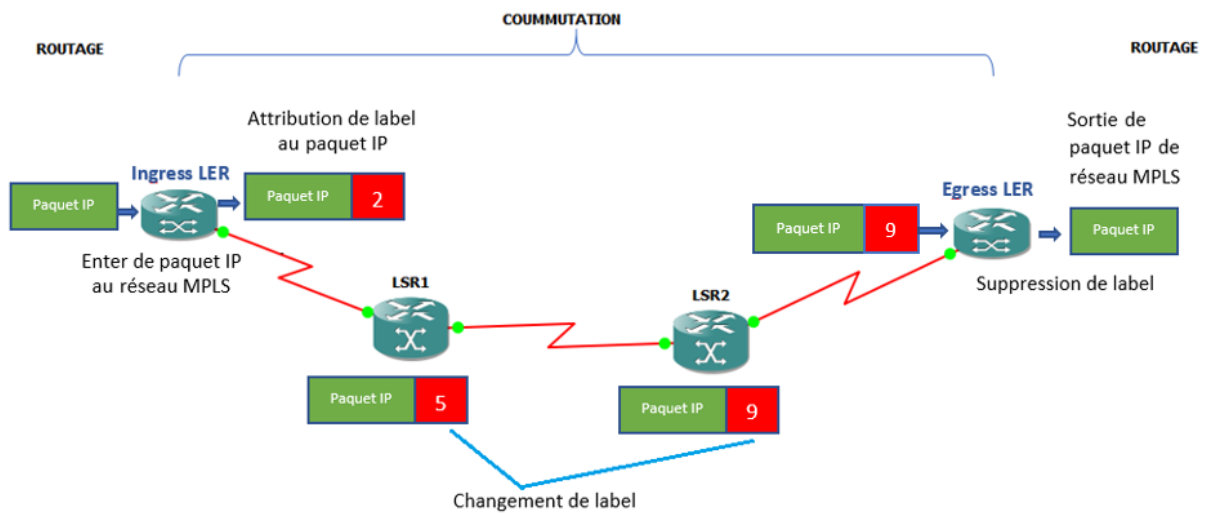


Figure 1.18 : la commutation de label.

1.5 Les applications du MPLS :

1.5.1 L'ingénierie de trafic (Traffic Engineering) :

C'est une nouvelle application du MPLS, normalisée sous le nom du MPLS-TE, elle consiste à l'exploitation optimale des ressources du réseau, et mène à un partage équilibré du trafic dans le réseau, dans le but d'éviter la congestion des liens. Cette optimisation est due à la prise en considération de la bande passante d'un lien, avant la décision de routage.

L'ingénierie de trafic nécessite des protocoles spéciaux comme : OSPF-TE pour le routage, CR-LDP et RSVP-TE pour la signalisation.

1.5.1.1 Le MPLS-TE :

Le routage IP exploité par MPLS permet d'acheminer les données en empruntant le chemin le plus court, grâce aux protocoles de routage tels que l'OSPF. Toutes les données avec la même destination empruntent le même chemin, cela mène à la congestion (surutilisation d'un lien) de ce dernier et à la perte de paquets, ce qui a pour conséquence la dégradation de la QoS.

La solution à ce problème, c'est d'ajouter une nouvelle application au réseau MPLS, qui est l'ingénierie de trafic (TE), ce qui donne le MPLS-TE.

Le mécanisme MPLS-TE permet d'établir les chemins appelés LSP-TE de la source vers la destination, avec un routage explicite en fonction des contraintes du trafic tels que la bande passante, la QoS, le débit ..., et les ressources disponibles sur le réseau (liens et routeurs).

Le but est d'optimiser les ressources, garantir une QoS et de répartir le trafic (partage de charge) sur plusieurs chemins pour éviter la surutilisation des liens.

MPLS-TE offre la fonctionnalité de re-routage rapide (MPLS-TE Fast Re-route) en cas de panne dans le réseau (défaillance d'une liaison, d'un nœud...), avec un temps de réparation très court (moins de 100 ms). La différence entre MPLS et MPLS-TE, est que ce dernier utilise des protocoles de routage et des algorithmes qui prennent en compte les contraintes de l'ingénierie de trafic (TE), et les ressources disponibles sur le réseau.

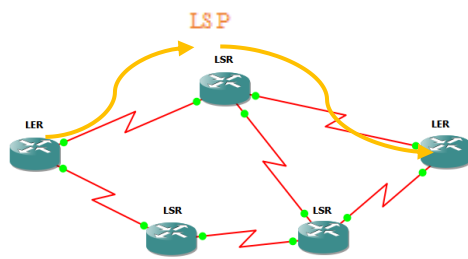


Figure 1.19 : routage classique.

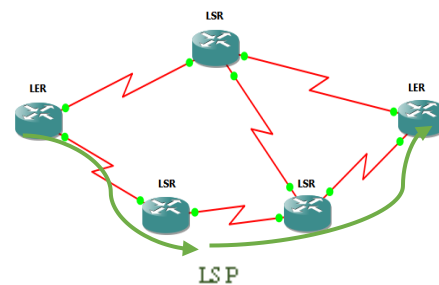


Figure 1.20 : la TE selon MPLS.

1.5.1.2 L'OSPF-TE (Open Shortest Path First-Traffic Engineering) :

C'est un protocole IGP à état de liens étendu de l'OSPF, dans le but de transmettre des paramètres liés à la TE et la QoS. Il utilise des diffusions sûres pour établir une vision commune et synchronisée de la topologie TE du réseau sur tous les routeurs OSPF-TE. Il permet de déterminer (calculer) le chemin le plus court, en prenant en compte les contraintes TE (bande passante, délai...).

1.5.1.3 La création des LSP-TE :

Le MPLS-TE repose sur trois fonctions principales pour le calcul et l'établissement des LSP-TE :

➤ Découverte de la topologie TE :

Cette fonction est assurée par des protocoles de routage classiques IGP, étendus en IGP-TE tel que l'OSPF-TE, ce dernier permet à chaque routeur d'avoir une vision de la topologie du réseau ainsi que des paramètres TE associés, comme la bande passante disponible, la bande passante réservable sur un lien, la qualité de service (QoS) ...

➤ **Calcul de chemin :**

Cette fonction est assurée par l'exécution d'un algorithme de calcul des routes, appelé CSPF (Constrained Shortest Path First), par les routeurs du réseau. Ce qui permet de déterminer des chemins qui vérifient les contraintes TE (bande passante, liens et routeurs à utiliser ...). Ces chemins sont appelés LSP-TE. Le but n'est pas de créer le chemin le plus court, mais le plus performant.

➤ **Signalisation des LSP-TE :**

Dès que les chemins LSP-TE sont calculés, cette fonction intervient pour les établir en utilisant des protocoles de signalisation comme RSVP-TE et CR-LDP (moins utilisé). Le protocole le plus répandu RSVP-TE permet de :

- Réserver les ressources sur le LSP-TE calculé (du routeur d'entrée à celui de sortie).
- Un routage explicite.
- Distribution des labels le long des LSP-TE.

De plus, il assure le maintien, la suppression des LSP et la notification d'erreurs.

1.5.1.4 Les protocoles de signalisation incluant la TE :

➤ **CR-LDP (Constraint-base Routing over LDP) :**

Le protocole CR-LDP (LDP+TE) est une version étendue de LDP, il inclut la TE. Il a pour fonction la réservation des ressources, et la distribution des labels le long du LSP-TE en fonction des contraintes TE (bande passante, ressources disponibles, délai...).

Il ouvre des sessions TCP entre les LSR, dans lesquelles il envoie des messages de distribution des labels (label mapping).

➤ **LE RSVP-TE (ReSerVation Protocol-Traffic Engineering) :**

Le RSVP-TE est un protocole de signalisation, destiné à réserver les ressources pour les flux de données, en plus de la distribution des labels, afin d'introduire de la QoS dans un réseau.

RSVP-TE permet de réserver les ressources nécessaires au LSP dans les LSR et LER lors de l'établissement du chemin, et ainsi détecter les pannes de liens ou de routeurs, et pouvoir re-router rapidement des LSR. Ces états sont rafraichis périodiquement pour pallier les pertes

d'éventuels messages. RSVP-TE utilise deux messages principaux pour la réservation des ressources :

- Path** : demande d'établir et maintenir un LSP dans le sens descendant.
- Resv** : réponse à la demande d'établissement d'un LSP dans le sens montant.

✓ **Etablissement d'un chemin:**

Sachant que le travail de RSVP-TE est de signaler et maintenir la réservation de ressources à travers un réseau, il a trois fonctions de base :

- Etablir et maintenir des chemins.
- La suppression des chemins.
- La signalisation des erreurs.

L'établissement d'un chemin (LSP-TE) par RSVP-TE est effectué en deux temps. Après que l'Ingress LER ait fini sa procédure CSPF (Constrained Shortest Path First) pour un tunnel (LSP-TE), il signale le chemin trouvé à travers le réseau. L'Ingress LER envoie un message "Path", qui est le message de demande d'établissement d'un LSP au prochain saut, dans le chemin calculé vers la destination. Le message "Path" est envoyé de la source vers la destination, de proche en proche, le long de la route calculée. A la réception du message "Path", chaque routeur enregistre les informations reçues dans le message, et réalise un contrôle d'admission local pour vérifier que le prochain lien valide les contraintes TE du LSP-TE. En réponse, le routeur de destination (Egress LER) renvoi un message "Resv" de proche en proche vers la source. Ce message réserve la bande passante et distribue les labels, puis, mène les tables MPLS et la table IP à une mise à jour. Lorsque le message "Resv" arrive et que la mise à jour est effectuée, le chemin est établi et peut être utilisé.

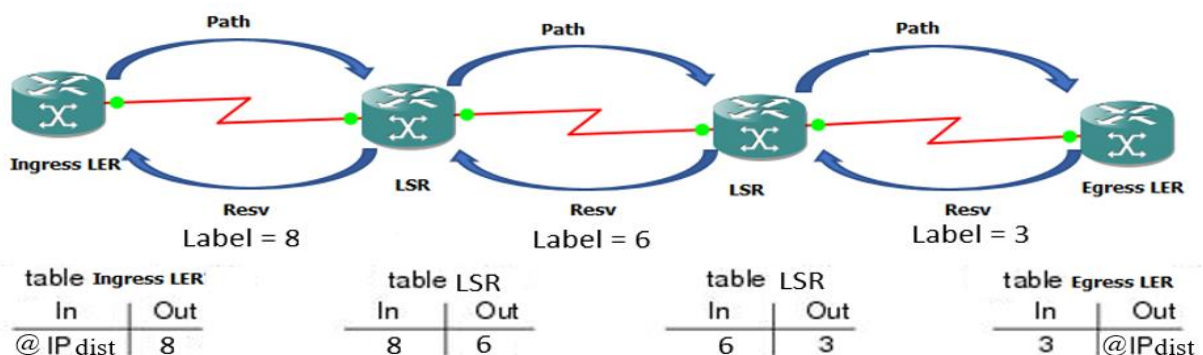


Figure 1.21 : établissement de chemin avec RSVP-TE.

1.5.2 MPLS-QoS (Quality of Service) :

C'est l'un des éléments les plus cruciaux dans un réseau pour un opérateur, c'est ce qui détermine son succès ou non, et cela en garantissant à ses clients le transport de leur flux, tout en garantissant un minimum de débit et un maximum. Ces paramètres sont les suivants :

- Le délai : qui exprime le temps écoulé depuis l'émission d'un paquet par une source, jusqu'à sa réception par la destination.
- La gigue : qui exprime les variations des délais des paquets envoyés à partir d'une source vers une destination.
- Le débit: qui exprime la vitesse de transfert de données entre deux points d'extrémité.
- Le taux de perte de paquets : qui exprime le nombre des paquets perdus par unité de temps.

Le support de la QoS peut être mis en œuvre comme ceci sur MPLS :

- Diffserv (Differentiated Services) : Les trafics sur un même LSP peuvent se voir affecter à différentes files d'attente dans les routeurs LSR, selon la valeur du champ EXP de l'en-tête MPLS.
- L'utilisation du Traffic Engineering (utilisation optimale des ressources d'un réseau).

Ce qui permet de mettre en place des applications de visio-conférence, sur des réseaux VPN/MPLS à fort taux d'utilisation.

1.5.3 Les VPN/MPLS :

Un VPN (Virtual Private Network) est une liaison permanente, distante et sécurisée entre deux sites (ou plus) d'une organisation (entreprise). Aussi, un VPN est une extension d'un réseau privé qui englobe les liaisons sur des réseaux partagés (publics : IP, MPLS) tels qu'internet. La mise en place des VPN est garantie par les opérateurs avec deux technologies largement déployées : la technologie des VPN/IP et celle des VPN/MPLS.

Un réseau privé PN (Privat Network) est dit virtuel (VPN), lorsque on utilise sur un réseau public un mécanisme qui garantit la confidentialité des données (seuls les clients d'un même VPN qui peuvent communiquer entre eux), ce mécanisme utilisé est le chiffrement des données, appelé aussi la cryptographie. Son inconvénient est la complexité de traitement par les équipements du réseau et une certaine lourdeur sous un réseau IP.

Les VPN/MPLS sont plus performants que les VPN/IP, ils offrent une très bonne QoS, grâce à la commutation des paquets et l'ingénierie de trafic (TE). Chaque VPN/MPLS a son propre identifiant (label).

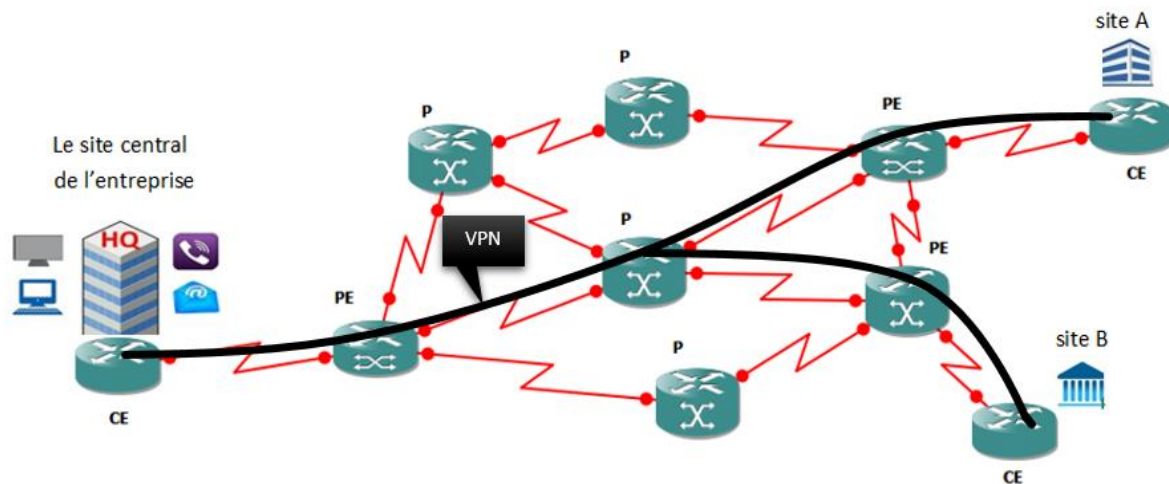


Figure 1.22 : VPN/MPLS.

- P (Provider router) : ce sont les routeurs de cœur du réseau.
- PE (Provider Edge Router) : ce sont les routeurs aux extrémités du réseau de l'opérateur.
- CE (Customer Edge) : ce sont les routeurs présents dans le réseau du client, ils sont interconnectés avec un ou plusieurs PE.

1.6 L'évolution du MPLS :

1.6.1 GMPLS (Generalized MPLS) :

C'est la première extension du MPLS, dont le but est d'étendre la commutation aux réseaux optiques. Le GMPLS reprend le plan de contrôle de l'architecture MPLS, avec une extension pour prendre en compte les contraintes liées aux réseaux optiques. Pour cela, une brique gestion des liens est ajoutée à l'architecture MPLS. La commutation des labels est toujours utilisée.

1.6.2 VPLS (Virtual Private LAN Services) :

VPLS représente un service de VPN de niveau 2, il utilise une infrastructure IP /MPLS. Il permet de relier plusieurs sites distants à travers un réseau MPLS, comme s'ils appartenaient

à un même LAN (Local Area Network). Les routeurs (PE, P) se basent toujours sur le principe de commutation pour transporter les paquets (utilisation des labels).

1.7 Discussion:

Dans ce chapitre, nous avons présenté la technologie MPLS, son principe de fonctionnement basé sur la commutation des labels et ses éléments de base (LSR, LSP, FEC...). Nous avons montré aussi les améliorations apportées par cette dernière sur les réseaux IP, comme la diminution du temps (le délai) de transit des paquets dans les réseaux, la gestion de la bande passante et de trafic. Cela est assuré par les différentes applications du MPLS (l'ingénierie de trafic (TE), la qualité de service (QoS), ...).

Donc, de tous ce que nous avons vu précédemment, nous constatons que MPLS a réussi à remédier aux problèmes des réseaux IP, en exploitant leurs avantages et en ajoutant de nouvelles fonctionnalités.

Dans le chapitre suivant, nous allons développer la technologie VSAT.

Chapitre 2 : Le réseau de transmission satellitaire VSAT.

2.1 Préambule :

Dans le monde actuel, la communication est une nécessité pour n'importe qui, et dans n'importe quel domaine (entreprises, banques, navigation, aviation...), quel que soit sa localisation. Et vu qu'il existe des endroits non couverts par des réseaux terrestres (déserts, océans...), il est absolument nécessaire de trouver un autre mode de communication.

C'est ainsi qu'on a pensé à exploiter les satellites, utilisés jusque-là pour la tv et la radio, dans les télécommunications (diffusion de données IP). La technologie VSAT est née, avec de nouveaux protocoles et équipements pour assurer les communications via satellite. À partir de là, plusieurs systèmes VSAT sont mis en place, comme : le système iDirect Infinity basé sur la norme DVB-S1, et le système iDirect evolution basé sur la norme DVB-S2. On s'intéresse dans ce qui suit au système iDirect evolution.

2.2 Historique :

La conquête de l'espace a toujours fasciné le monde et ce depuis longtemps, mais on s'est intéressé sérieusement au fait de placer un objet en orbite autour de la terre qu'au début du siècle dernier. Il aura fallu attendre 1945 pour que le concept de communication par satellite voie le jour.

Le premier satellite artificiel a été lancé en 1957 par l'union soviétique, "le Spoutnik 1", c'était une simple sphère métallique d'un diamètre de 58 cm équipée d'un simple émetteur radio. En période de guerre froide, les américains ont riposté une année plus tard avec leur premier satellite de télécommunications appelé "PROJECT SCORE". Ce satellite utilisait un magnétophone à cassette pour enregistrer et rediffuser des messages vocaux.

Les premiers satellites de télécommunications fonctionnaient en mode passif, c'est-à-dire qu'ils se contentaient juste de réfléchir les signaux émis par les stations terrestres. Le gros inconvénient est que ces signaux sont diffusés dans toutes les directions, donc pouvaient être reçus dans n'importe quelle partie du monde, aussi il fallait être équipé de grandes antennes au sol pour pouvoir disposer d'une grande puissance d'émission et de réception.

C'est au début des années 1960 avec le satellite américain "Telstar", que les satellites sont devenus de types actifs, c'est-à-dire qu'ils possèdent leurs propres systèmes de réception et d'émission. Ils reçoivent des signaux provenant d'une station terrestre, les amplifient et les

retransmettent vers une station réceptrice en utilisant une autre longueur d'onde. L'exploitation commerciale de ce type de satellite n'a commencé qu'en 1965.

Depuis cette époque, plus de 5000 satellites artificiels ont été mis en orbite autour de la terre, dont plusieurs centaines de satellites de télécommunications actifs.

2.3 Description d'un système de télécommunication par satellite :

Un tel système est composé de deux secteurs : un secteur terrestre et un secteur spatial.

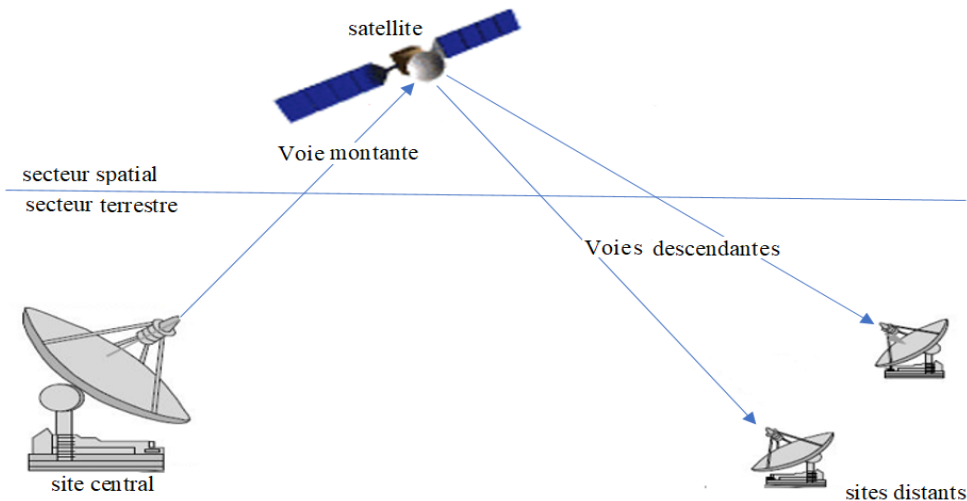


Figure 2.1 : secteur terrestre et secteur spatial.

2.3.1 Le secteur terrestre :

Il représente l'ensemble des stations terrestres, qui sont connectées aux terminaux des utilisateurs par des réseaux terrestres tels que le réseau IP, ou directement dans le cas des petites stations tels que VSAT (Very Small Aperture Terminal) développé par la suite. Il existe trois types de stations : les stations fixes, transportables et mobiles. Certaines d'entre-elles sont à la fois émettrices et réceptrices comme le VSAT, et d'autres sont uniquement réceptrices (RCVO : ReCeIve Only), comme les stations de réception des signaux de radiodiffusion ou de télévision par satellite.

2.3.2 Le secteur spatial :

Il comporte le satellite (qui joue le rôle de relai hertzien entre les différentes stations terrestres du monde), et l'ensemble des moyens et des équipements de contrôle du satellite situés au sol, qui sont : les stations de poursuite, de télémessure et de télécommande (TT&c :

Tracking Telemetry and Command), en plus d'un centre de contrôle du satellite (là où sont prises toutes les décisions concernant le fonctionnement du satellite).

2.4 Définition d'un satellite :

Un satellite est un objet fabriqué et envoyé dans l'espace à l'aide d'un lanceur, qui gravite sur une orbite autour d'une planète, ou d'un satellite naturel comme la lune.



Figure 2.2 : satellite en orbite.

2.4.1 Définition d'un satellite de télécommunication :

C'est un élément crucial dans la transmission de données, il est placé sur une orbite gravitationnelle autour de la terre à une certaine altitude, et joue le rôle de relai hertzien. Il permet d'établir des communications (transmission d'informations) à grandes distances entre les différentes stations terrestres, pour cela, il reçoit des signaux (informations) par ces dernières (liaisons montantes (Up link)), et les retransmet vers d'autres stations dans le monde (liaisons descendantes (Down link)).



Figure 2.3 : satellite de télécommunication.

2.4.2 Les composants d'un satellite :

Un satellite est composé d'une plateforme et de la charge utile.

2.4.2.1 La plateforme :

Elle regroupe tous les sous-systèmes nécessaires pour le fonctionnement de la charge utile, ces systèmes sont : l'alimentation électrique, le système de commande, le système de contrôle de l'altitude d'orbite et les équipements de propulsion, le système de contrôle thermique, les antennes, le réservoir de carburant et les moteurs, les équipements de poursuite, de télémétrie et de télécommande (TT&C).

2.4.2.2 La charge utile d'un satellite :

Elle représente tous les équipements qui permettent au satellite d'accomplir la mission pour laquelle il a été conçu. Si on prend un satellite de télécommunication (notre cas), sa mission est de recevoir et réémettre des signaux (TV, données, téléphonie ...) provenant des stations terrestres, vers d'autres stations distantes après un changement de fréquence.

La charge utile de ce type de satellite, est un ensemble de transpondeurs (répéteurs). Un transpondeur est un émetteur/récepteur qui joue le rôle d'un répéteur : il reçoit des signaux envoyés par une station terrestre avec une fréquence déterminée, il change cette fréquence par une autre adéquate (fréquence plus basse) pour l'émission vers la station (ou les stations) destinatrice(s). Chaque transpondeur travaille dans une sous bande de fréquence, dans la bande totale allouée au satellite.

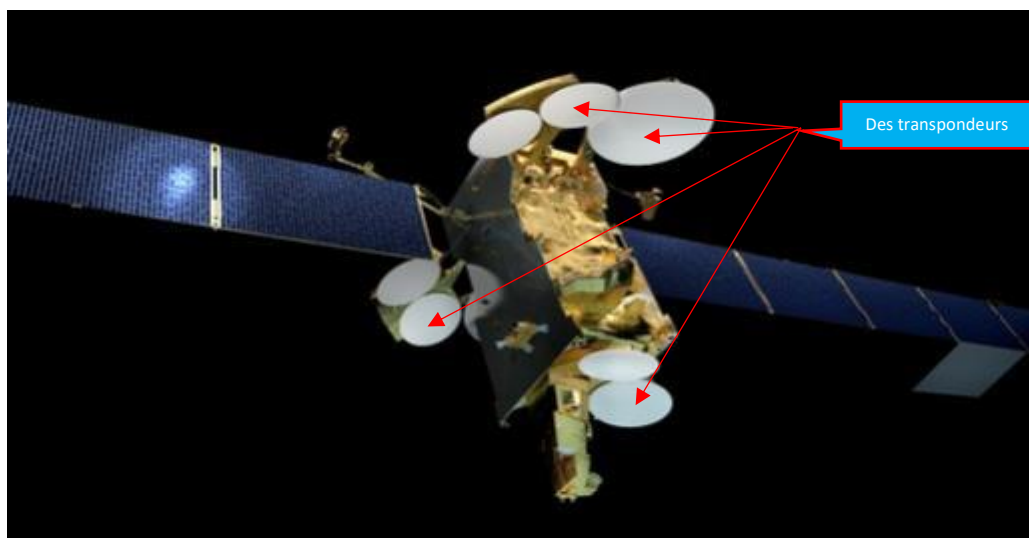


Figure 2.4 : les transpondeurs d'un satellite de télécommunication.

2.4.3 Classement des satellites selon leurs orbites :

Une orbite est la trajectoire périodique, suivie par le satellite durant sa rotation autour de la terre.

Chaque satellite quel que soit son type (télécommunication, météorologique, ...), possède une orbite à une distance déterminée de la terre. Le satellite exploite la force gravitationnelle de la terre pour se mettre en mouvement, et maintenir sa position sur l'orbite.

Les satellites sont classés en 3 types, selon l'altitude des orbites dans lesquelles ils se trouvent :

2.4.3.1 Les satellites LEO (Low Earth Orbit):

Les satellites LEO décrivent des orbites elliptiques ou circulaires, à une altitude allant de 500 à 2000 Km de la surface de la terre. A cette altitude, le temps d'une période orbitale est compris entre 1 heure 30 min et 2 heures, pendant cette période, le satellite reste visible pour un observateur (utilisateur) durant 20 min. Pour cela, il est nécessaire d'utiliser un grand nombre de satellites sur différentes orbites(basses) pour assurer une couverture permanente.

Les satellites LEO sont proches de la terre, ils offrent des temps de propagation très petits (de 6 à 12 ms).

2.4.3.2 Les satellites MEO (Medium Earth Orbit):

Généralement, les orbites circulaires sont des orbites moyennes MEO (Medium Earth Orbit), où les satellites sont à une altitude de 10 000 Km au-dessus de la terre. La période orbitale dans ce cas est d'environ 6 heures, avec une disponibilité de quelques heures.

Le nombre de satellites MEO nécessaires pour assurer une couverture globale est inférieur par rapport à celui de LEO. Le temps de propagation par contre, est plus important que celui assuré par les satellites LEO, il est d'environ 82 ms.

2.4.3.3 Les satellites GEO (Geostationary Earth Orbit):

Les satellites GEO sont placés sur l'équateur de la terre à une altitude d'environ 36 000 Km, ils ont une période orbitale de 23 heures 56 min et 4 s, cette durée est égale à celle mise par la terre pour faire un tour complet sur elle-même. La vitesse d'un satellite géostationnaire est calculée de sorte à ce que ce dernier paraisse immobile (fixe) par rapport à la terre. Ils assurent la couverture de 42 % de la planète.

L'avantage de ces satellites est la possibilité d'utiliser des antennes fixes (stations fixes) sur terre, puisqu'ils sont fixes dans le ciel par rapport à cette dernière. Pour une couverture complète de la terre, il suffit de disposer de 3 satellites à 120° sur l'orbite géostationnaire (seuls les deux pôles qui sont pas couverts).

Parmi leurs inconvénients, le délai de propagation important qui est d'environ 257 ms. D'autre part, les signaux émis par des antennes proches des deux pôles parcourent une grande distance, donc ils subissent des atténuations (en plus du temps de propagation très important).

A noter que les orbites géostationnaires sont les plus répondues, et que les satellites de télécommunications les plus utilisés sont aussi géostationnaires.

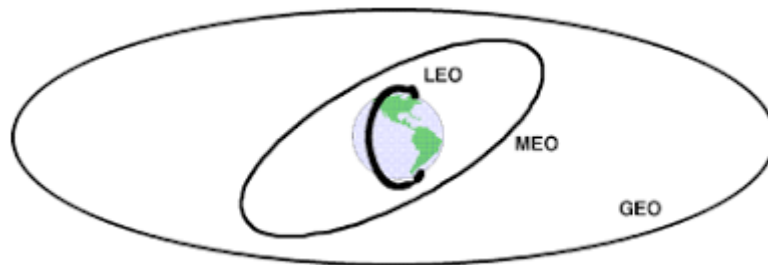


Figure 2.5 : classement des satellites selon leurs orbites.

2.4.4 Les bandes de fréquences et régions de couverture :

2.4.4.1 Les bandes de fréquences utilisées:

	Bande	Fréquences
Fréquence utilisée par les équipements terrestres	L	1 - 2 GHz
	C	3 - 7 GHz
Fréquences utilisées par les antennes VSAT et les satellites	S	2 - 4 GHz
	X	7-10 GHz
	Ku	10 – 14 GHz
	Ka	20 – 40 GHz

Tableau 2.1 : bandes de fréquences utilisées.

2.4.4.2 Les régions de couverture :

Il existe une répartition géographique en 3 régions :

- La région 1 (Europe, Afrique, Moyen-Orient et l'Union Soviétique).
- La région 2 (Asie, Océanie).
- La région 3 (Amérique).

2.4.5 Les contraintes d'un système de satellitaire :

2.4.5.1 La gestion de la bande passante :

Pour que les stations terrestres arrivent à diffuser des données, elles doivent disposer d'un support de transmission satellitaire, qui représente une bande de fréquence louée, cette bande sera partagée entre les différentes stations terrestres du réseau satellitaire pour avoir accès au satellite.

Le problème avec l'utilisation des fréquences comme support de transmission, c'est que plusieurs stations peuvent émettre des signaux avec la même fréquence, ce qui engendre le chevauchement et la perte des signaux. Pour remédier à ce problème, la première réflexion qui vient, c'est d'allouer à chaque station une fréquence (un canal), cependant, ce n'est pas envisageable à cause du nombre énorme de stations, de plus, ce système est beaucoup trop coûteux.

Pour régler ce problème, plusieurs techniques d'accès aux canaux satellite sont mises en œuvre, dont le principe est de permettre à plusieurs stations d'accéder au même canal de transmission (la même fréquence).

Les principales techniques d'accès utilisées par les réseaux satellitaires sont :

- La FDMA (Fréquence Division Multiplexed Access).
- La TDMA (Time Division Multiplexed Access).
- La CDMA Code Division Multiplexed Access).

On s'intéresse à la technique d'accès TDMA :

➤ TDMA (Time Division Multiple Access) :

L'accès multiple à répartition dans le temps est une technique de contrôle d'accès (au support), permettant de transmettre plusieurs flux de trafic sur une seule bande de fréquence. Il utilise une division temporelle de la bande passante, dont le principe est de répartir le temps

disponible entre les différents utilisateurs. Par ce moyen, une fréquence (porteuse) peut être allouée, à tour de rôle (et quasi simultanément), à plusieurs abonnés.

2.4.5.2 La zone de couverture :

La zone de couverture d'un satellite est déterminée par la forme, l'altitude et le rayon de son orbite. Ce qui fait que plus le satellite est éloigné de la terre, plus sa couverture (sa portée) est étendue.

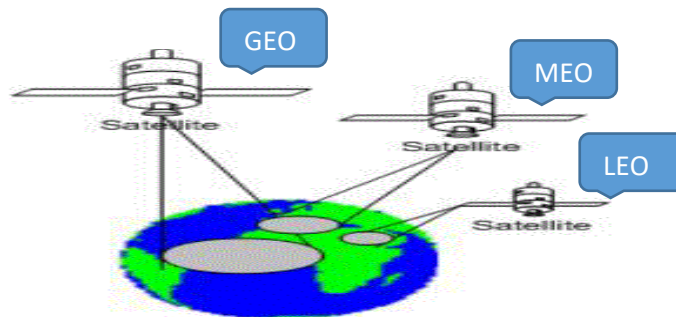


Figure 2.6 : zones de couvertures des satellites selon leur orbite.

2.4.5.3 Le délai de propagation :

C'est le temps que prend un signal pour parcourir la distance entre la terre et le satellite, et de revenir. Ce temps dépend de la distance entre les stations et le satellite, plus le satellite est loin de la terre, plus le délai devient important, plus le temps nécessaire pour le traitement du signal par les équipements de la station et du satellite est long.

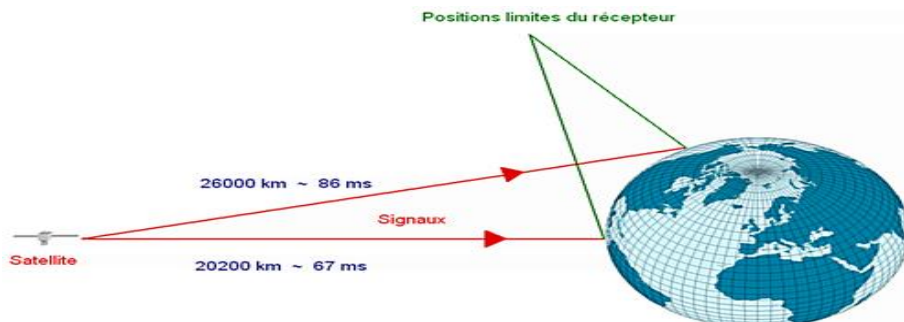


Figure 2.7 : délai de propagation.

2.4.6 Les paramètres influant les transmissions satellitaires :

Les transmissions satellitaires sont exposées à divers affaiblissements et bruits, qui sont des paramètres qui peuvent affecter considérablement les liaisons, en causant une dégradation du rapport signal/bruit [S/ N].

2.4.6.1 Le rapport signal sur bruit [S/N] :

S/N : est le paramètre déterminant du critère de faisabilité, et de qualité de la transmission.

2.4.6.2 Affaiblissement en Espace Libre(AEL) :

Dans le vide, une onde électromagnétique se propage en ligne droite, et subit seulement l’Affaiblissement de l’Espace Libre.

2.4.6.3 Effet des éléments dans l’atmosphère :

L’atmosphère n’est pas parfaitement transparente, il existe donc une certaine atténuation due principalement aux composants gazeux de la Troposphère, à l’eau sous forme liquide (pluie, nuages, brouillard) ou solide (glace, neige) et de l’Ionosphère.

2.5 La technologie VSAT :

En premier lieu, il faut noter que cette technologie n’est qu’un concept (elle n’est pas normalisée), chaque constructeur a sa propre façon de l’implémenter, mais le principe de fonctionnement est toujours le même.

Le VSAT (Very Small Aperture Terminal) est une technologie de télécommunication par satellite (satellites géostationnaires). Elle est composée de deux parties : un site principal appelé Hub doté d’une grande antenne, et un ensemble de petites stations terrestres appelées les stations VSAT.

Cette technologie assure l’interconnexion entre plusieurs stations VSAT distantes, pour offrir un ensemble de services (la téléphonie IP, internet, data, visioconférence ...). Elle est compatible avec tous les réseaux terrestres.

Généralement, les réseaux VSAT sont utilisés pour assurer l'accès à internet, ou à d'autres services tels que la transmission de données pour des clients (exemple d'entreprises pétrolières), situés dans des zones isolées (déserts), là où il n'y a pas de réseau terrestre (la fibre), ils sont aussi utilisés pour garantir une liaison de sécurité (en cas de panne), pour une entreprise qui possède une liaison terrestre.

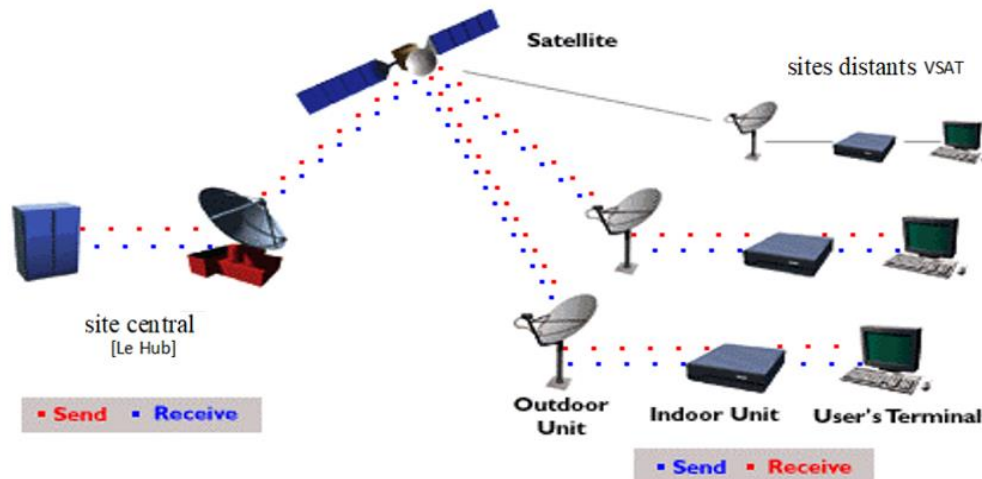


Figure 2.8 : la technologie VSAT.

2.5.1 Les composants d'un réseau VSAT :

2.5.1.1 Le Hub :

C'est l'élément le plus important dans un réseau VSAT, son rôle consiste à gérer tous le réseau, il assure :

- La gestion et l'optimisation de la bande passante via le satellite.
- Le contrôle et la surveillance de réseau.
- La réponse à toutes les requêtes provenant des stations VSAT.

Souvent, il possède une connexion à des réseaux terrestres tels que internet. Il est composé d'un ensemble d'équipements, en plus d'une grande antenne avec un diamètre allant de 5 à 30m.

2.5.1.2 Une station VSAT (site distant):

Son rôle est de connecter un ensemble de ressources matérielles à un réseau. Elle est constituée de deux unités différentes : une unité extérieure appelée « Outdoor Unit » (ODU), et une unité intérieure appelée « Indoor Unit » (IDU). Un câble coaxiale simple les relie entre elles.



Figure 2.9 : composants d'un site VSAT distant.

➤ L'ODU (OutDoor Unit) :

L'ODU représente l'ensemble des équipements situés à l'extérieur. Comprend l'antenne parabolique, un LNB (Low Noise Block), et un BUC (Block Up Converter).

➤ L>IDU (InDoor Unit) :

L>IDU représente l'ensemble des équipements situés à l'intérieur. Dans le cas d'un Hub, c'est les équipements qui le constitue lui-même (développé par la suite), dans le cas d'une station VSAT, c'est le routeur satellitaire (X1, X3, X5, X7).

2.5.2 L'antenne VSAT :

C'est une antenne parabolique qui permet de convertir les ondes guidées le long d'un câble, vers des ondes rayonnées dans l'espace, et inversement. Elle est composée d'un BUC et d'un LNB qui partagent la même tête « Horn », et un paraboloïde, ce dernier permet de réfléchir le signal provenant du satellite, et de le concentrer sur la tête, et passer par le LNB. Aussi, il permet de réfléchir le signal provenant du BUC vers le satellite. Une antenne VSAT peut émettre et recevoir des signaux selon deux polarités : horizontale et verticale.



Figure 2.10 : antenne VSAT.

Le choix de l'antenne à utiliser dépend de deux caractéristiques importantes :

- La PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) : la puissance de son rayonnement.
- Le gain : il dépend du diamètre, et de la fréquence utilisée.

2.5.2.1 Le BUC (Block Up Converter) :

Le BUC est un dispositif d'émission (vers le satellite), son rôle est de convertir une fréquence (signal modulé) en bande L (950 – 2200 MHz), à une fréquence plus élevée en bande ku (10.7-14.5 GHz), ensuite, projeter ce signal sur l'antenne qui va le réfléchir vers le satellite.



Figure 2.11 : BUC iDirect.

2.5.2.2 Le LNB (Low Noise Block) :

Le LNB est un dispositif de réception, son rôle est de convertir les signaux en bande ku (reçus par l'antenne) provenant du satellite, vers des signaux en bande L. Ces signaux sont faibles, c'est pour cela que le LNB est doté d'un préamplificateur qui permet d'amplifier le signal et le rendre exploitable, ensuite ce signal est envoyé vers le modem.



Figure 2.12 : LNB iDirect.

Il est à noter qu'il existe d'autres fabricants autres que iDirect.

2.6 Le système VSAT iDirect :

Le VSAT iDirect Network système, est une plateforme de communication basée sur le protocole TCP/IP centralisé, qui permet la communication à haut débit, il optimise grandement la bande passante et accélère le trafic TCP.

Contrairement aux autres plateformes, iDirect est très flexible lorsqu'il s'agit de configurer un système VSAT iDirect. La configuration est faite selon les besoins du client, en terme de bande passante et de son emplacement géographique.

Le iDirect est une solution offerte par ATS (Algérie Télécom Satellite), afin de permettre l'accès haut débit pour ses clients de tout type et taille d'entreprise et industrie, qui œuvrent dans des régions éloignées, et quel que soit leur emplacement, sans considération de l'infrastructure terrestre. Il offre souplesse, capacité et fiabilité.

2.6.1 Le standard DVB-S2 (Digital Video Broadcasting - Satellite 2) :

DVB-S est un standard défini pour la transmission satellite, il utilise la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), de larges canaux pour la transmission et un code correcteur pour corriger les effets négatifs de la réception satellite.

Nommé aussi DVB-S1, il n'offre pas la flexibilité et les performances requises, d'où l'arrivée de DVB-S2 (Digital Video Broadcasting - Satellite 2), qui est un standard de transmission de contenu multimédia par satellite le plus utilisé par les réseaux VSAT. DVB-S2 comporte un élément très important appelé ACM (Adaptative Coding and Modulation), qui adopte des modifications introduites notamment au niveau des techniques de modulation, du codage FEC (Forward Error Corrector) et de la technique de multiplexage, soit DVB-S2/ACM.

La qualité des canaux de transmission par satellite dépend de la météo, pour cela, les systèmes VSAT utilisent DVB-S2/ACM, qui permet de modifier le codage et la modulation entre les trames lors de la transmission, pour assurer et optimiser la qualité de service.

Le DVB-S2 permet d'économiser jusqu'à 30% de la bande passante par rapport au DVB-S1, c'est-à-dire, il permet de transporter 30% de services en plus que DVB-S1.

2.6.1.1 Techniques de modulation :

Le système iDirect utilise essentiellement une modulation de base BPSK (Base Phase-shift keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) et APSK (Amplitude and phase-Shift Keying).

Le standard DVB-S2 utilise plusieurs techniques : QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK.

2.6.1.2 Codage FEC (Forward Error Corrector):

C'est un codage détecteur correcteur d'erreur basé sur la redondance (l'émetteur ajoute des bits de redondance pour que le récepteur les détecte et les corrige), c'est-à-dire qu'il détecte et corrige les erreurs, sans demander la retransmission des données à la source.

Parmi les codages FEC utilisés : $1/2$, $2/3$, $3/4$, $4/5$, $5/6$, ..., si on prend le codage $1/2$, pour 2 bits transmis, 1 est erroné.

La modulation et le codage sont choisis parallèlement, par exemple : 16APSK- $2/3$, 16PASK- $8/9$...

2.6.1.3 Technique de multiplexage :

iDirect se base sur la technique de multiplexage TDM (Time Division Multiplexed), qui est le fait de multiplexer le trafic venant des sources multiples, en une seule porteuse de sortie commune, qui sera diffusée ensuite à toutes les autres stations, en utilisant le temps comme facteur déterminant. Cette technique est utilisée pour les transmissions entre le Hub et les satellites.

2.7 Le Hub iDirect evolution :

Nous allons présenter le Hub iDirect evolution version 21.0 .0 .5, celui utilisé par ATS à la station de « LAKHDARIA » :

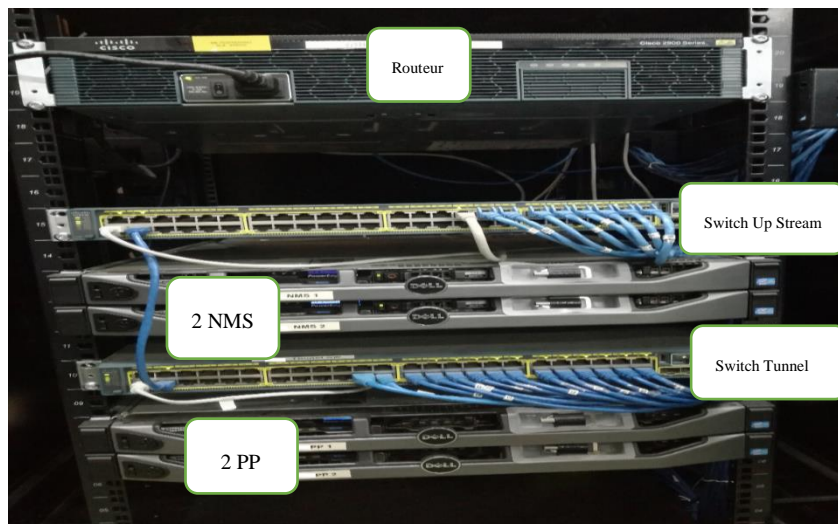


Figure 2.13 : Hub iDirect de Lakhdaria.

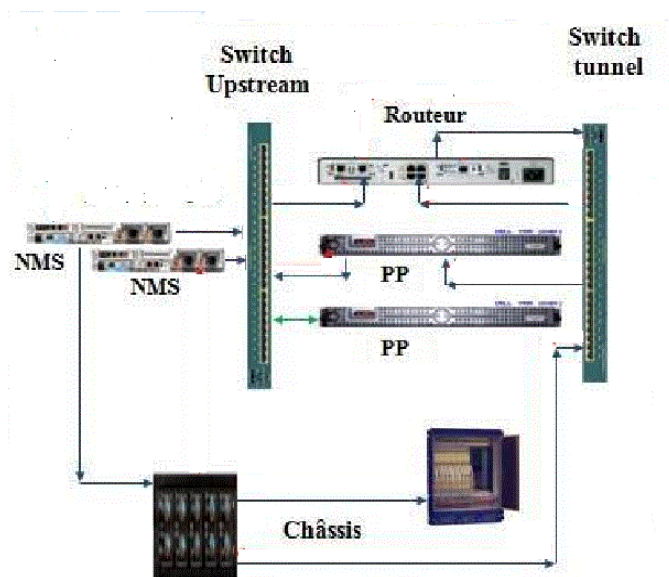


Figure 2.14 : architecture d'un Hub iDirect.

Le Hub iDirect se compose de plusieurs équipements, à savoir :

- Deux Switch : un Switch tunnel et un autre Switch Upstream.
- Deux serveurs NMS (Network Management System) reliés à un Switch Upstream.
- Deux PP (Protocol Processeur) reliés à la fois au Switch Upstream et au Switch tunnel.
- Un routeur iDirect connecté aussi au Switch Upstream et au Switch tunnel.
- UN châssis 5IF contenant des cartes HLC (Hub Line Carde).

2.7.1.1 Le serveur NMS (Network Management System) :

Il est considéré comme le cerveau du système iDirect, il contient la base de donnée de tout le réseau.



Figure 2.15 : serveur NMS.

2.7.1.2 Le PP (Protocol Processor) :

Le PP est considéré comme le cœur du réseau iDirect. Il agit comme le processeur central (contrôleur du réseau), puisqu'il surveille tout le trafic et accélère les connexions IP dans un réseau, aussi, il gère l'allocation des bandes passantes et différentes piles de protocoles.



Figure 2.16 : le protocol Processor.

Le PP se compose d'un certain nombre de processus :

- Le SADA : qui est responsable de l'allocation dynamique de bande passante pour les canaux en Upstream.

- Le SANA : qui est responsable de l'allocation dynamique de bande passante pour les canaux Downstream.
- Le SARMT : qui est un gestionnaire de protocole d'accélération TCP tel que le SAR (Segmentation and Réassemblage), le PAD....
- SAROUTER : qui est un processus qui assure le protocole de routage en Upstream et Downstream.

2.7.1.3 Le châssis iDirect 5IF :

Le châssis 5IF est un châssis de 20 cartes HLC (Hub Line Carte) qui fonctionnent en bande L. il est divisé en 5 groupes séparés par un cavalier, et chaque groupe accepte 4 cartes HLC (4 slots). Cependant, un groupe peut avoir plus de 4 HLC, car le cavalier est configurable en soft.



Figure 2.17 : châssis du Hub iDirect.

La modulation s'effectue au niveau des cartes HLC :

- XLC-11 : 1 modulateur et 1 démodulateur : veut dire que la HLC est capable de Tx (émission) et Rx (réception).
- XLC-M : pas de modulateur et 1 démodulateur : veut dire que HLC est capable seulement du matériel Rx (une ou plusieurs porteuses).



Figure 2.18 : carte HLC.

2.7.1.4 Le routeur du Hub :

Le Hub iDirect possède un routeur qui a pour rôle de router les paquets.



Figure 2.19 : routeur du Hub.

2.7.2 Les routeurs satellites iDirect evolution :

Ce sont des équipements qui intègrent un routeur et un modem satellite, ils sont installés du côté utilisateur, ils regroupent plusieurs fonctionnalités, dont : le routage, la modulation/démodulation, le cryptage...

Il existe plusieurs routeurs évolution : X1, X3, X5, X7, E8000... Nous allons définir le routeur X7, vue que c'est ce dernier que nous allons utiliser dans la partie pratique.

➤ Le routeur satellite iDirect evolution X7 :

C'est un routeur avec un nouveau système, il permet de fournir les débits nécessaires pour les applications professionnelles, et les services de multidiffusion tels que : IP Télévision, diffusion HD, VoIP ...etc.



Figure 2.20 : routeur iDirect evolution X7.

Parmi ses caractéristiques :

- Supporte la norme DVB-S2.
- Dispose d'un commutateur de 8 ports pour la gestion de plusieurs groupes d'utilisateurs.
- Dispose de deux démodulateurs.
- Deux modules d'alimentations continus et alternatifs configurables.
- Reçoit simultanément des canaux multicast sur le même, ou un deuxième transpondeur.
- Il apporte un soutien aux communications en mouvement.
- Cryptage AES.

2.7.3 Les topologies VSAT :

2.7.3.1 La topologie Star (étoile):

Cette topologie utilise un point central (Hub) pour relier les stations VSAT entre eux à travers le satellite. Elle comporte deux éléments : le Hub et les stations distantes. Ces dernières n'étant pas en mesure de communiquer entre elles, il importe donc de doter le Hub d'une antenne à fort gain pour amplifier et relier le trafic d'un VSAT à un autre. Cette opération augmente le délai de transmission qui avoisine 500 ms, son avantage est la réduction du coût des équipements.

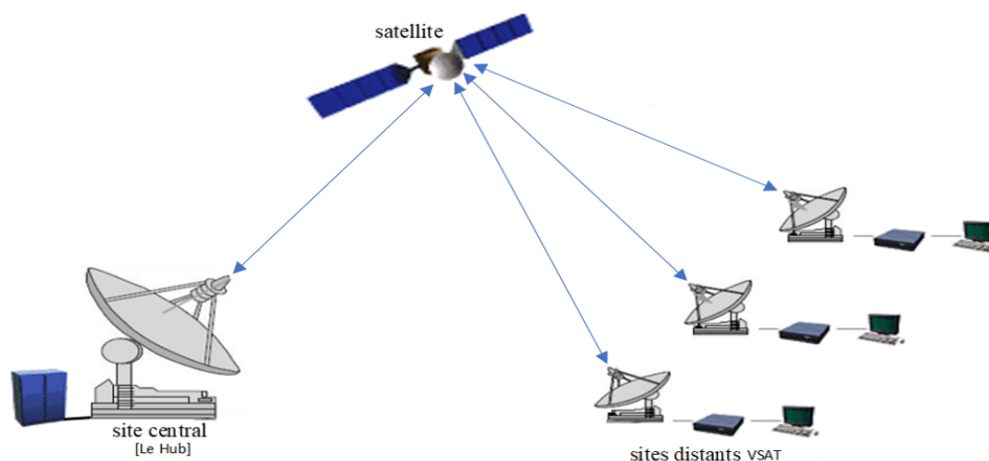


Figure 2.21 : La topologie Star.

2.7.3.2 La topologie Mesh (maillé) :

Cette topologie permet d'interconnecter plusieurs sites distants VSAT, en passant par le satellite (sont interactifs entre eux), et sans passer par le Hub. Cela nécessite la mise en place de grandes antennes et de plus de puissance pour la transmission, ce qui rend les coûts plus élevés de 25 % par rapport à la topologie Star.

Ce type de connexion minimise les retards (délai de transmission de 260 ms), et est souvent utilisé pour des applications de grande qualité, notamment dans la VoIP et la visioconférence.

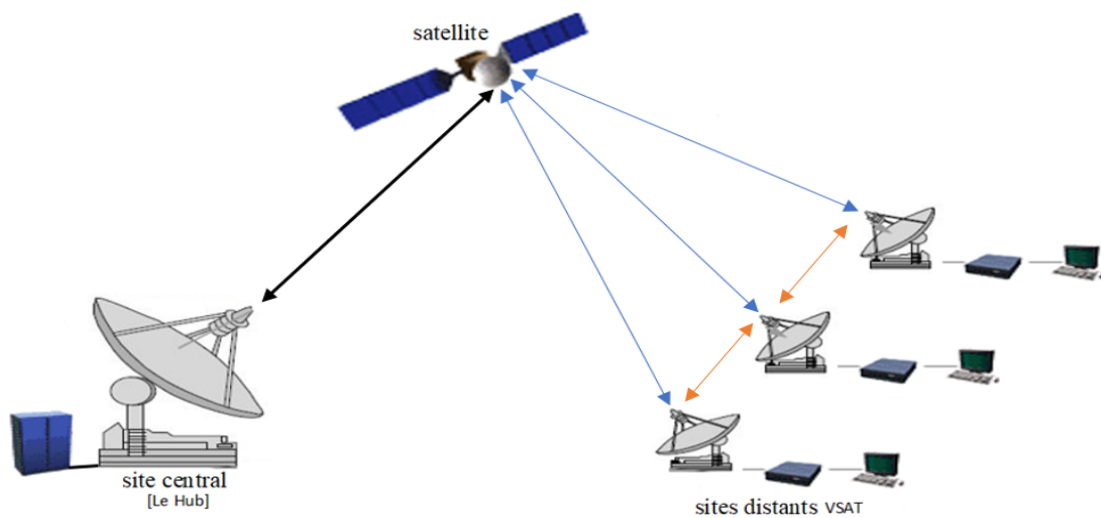


Figure 2.22 : La topologie Mesh.

2.7.3.3 La topologie I /SCPC :

Dans cette topologie, la communication entre les sites distants se fait directement par satellite, sans l'intervention du Hub avec des fréquences dédiées.

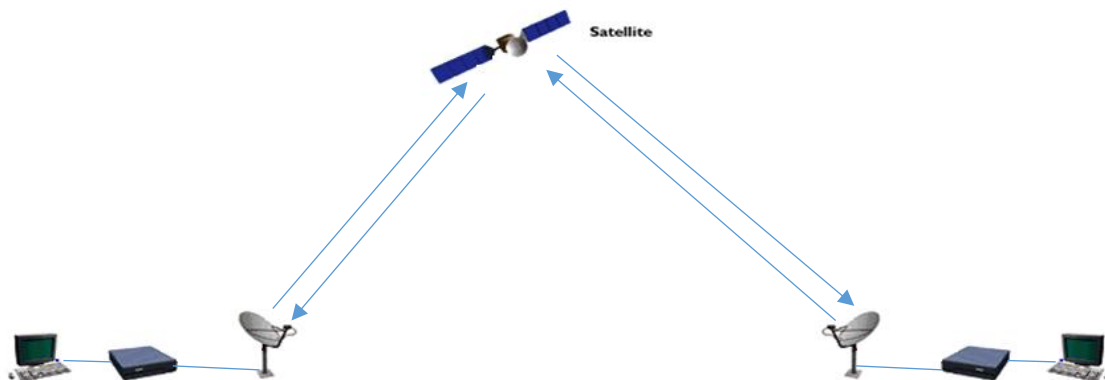


Figure 2.23 : la topologie I/SCPC.

2.8 Avantages et inconvénients de la technologie iDirect :

2.8.1 Les avantages :

- Flexibilité et souplesse.
- Disponibilité : un accès continu (à tout moment) au réseau est assuré aux utilisateurs.
- Performance de toutes les applications : iDirect supporte toutes les applications IP, même celles en temps réel (VoIP, visio-conférence...).
- Fiabilité : qualité de service supérieure.
- Extensibilité : élargissement du nombre de sites distants d'un client.
- Centralisation : tout le réseau est géré et contrôlé par le point centrale (le Hub).
- L'évolutivité : connecter un nouveau site ne demande pas de gros moyens techniques et financiers.
- La sécurité : les réseaux iDirect sont des systèmes très protégés, pour accéder à un tel système, il faut connaître son fonctionnement, les techniques et les protocoles utilisés, ce qui n'est pas facile.
- Assure une large zone de couverture.
- La compatibilité : il peut s'intégrer facilement avec tous les réseaux terrestres.

2.8.2 Les inconvénients :

- L'achat et l'installation des équipements d'un tel réseau nécessite un grand investissement (un Hub coûte environ 1 million d'euros).
- Un réseau VSAT est un réseau centralisé par le Hub, donc, si ce dernier tombe en panne, aucune communication ne peut se faire (tous le réseau tombe en panne). Ce problème est réglé en mettant un autre Hub en parallèle, prêt à prendre le relai dans ce cas.

2.9 Les services offerts par un système VSAT :

- La VoIP.
- L'accès internet haut débit.
- Transmission de fichiers.
- La visio-conférence.
- La géolocalisation.
- Les VPN (Virtual Private Network).
- Le Streaming.

2.10 Discussion :

Dans ce chapitre, nous avons donné quelques généralités sur les satellites, puis, nous avons présenté le système VSAT iDirect evolution, qui est une amélioration du système VSAT iDirect Infinity. Cette évolution est due à la forte demande pour les communications satellitaires, notamment dans les zones non couvertes.

Ce système offre un haut débit, des communications sécurisées et fiables, et assure une disponibilité continue quel que soit la taille, le type du réseau ou son emplacement.

Dans le dernier chapitre, nous allons voir comment mettre en place un réseau MPLS et le transmettre via la technologie VSAT iDirect.

Chapitre 3 : La liaison MPLS-TE VSAT.

3.1 Préambule :

Après l'étude théorique des deux technologies MPLS et VSAT, nous passons à leur mise en place.

Nous allons diviser ce chapitre consacré pour la pratique en trois parties, juste après avoir défini les applications de travail : dans la première partie, nous allons créer un réseau MPLS où nous lui activons l'ingénierie de trafic (MPLS-TE), pour cela, nous utilisons l'émulateur GNS3. La deuxième partie est consacrée à montrer comment installer et configurer un réseau VSAT, en utilisant l'application iVantage, ainsi que les équipements nécessaires.

Dans la troisième partie, qui est le but de notre projet de fin d'étude, nous allons montrer comment établir la liaison entre les deux réseaux MPLS-TE et VSAT.

3.2 Applications :

Pour la mise en place de la partie pratique, nous avons besoin d'utiliser quelques applications, qui sont les suivantes :

3.2.1 L'émulateur GNS3 :

C'est un émulateur graphique de réseaux qui permet de créer des topologies de réseaux complexes, et d'en établir des simulations. Installable sur un simple ordinateur, il permet de simuler des équipements CISCO virtuels. C'est un excellent outil complémentaire à de véritables laboratoires pour les ingénieurs et les administrateurs réseaux.

De plus, c'est un logiciel libre qui fonctionne sur de multiples plateformes : Windows, Linux, MacOS X. Il peut être utilisé pour des fonctionnalités expérimentales de CISCO IOS, pour vérifier les configurations qui doivent être déployées plus tard sur de vrais routeurs.

Il nous faut utiliser le GNS3 pour simuler un réseau MPLS.

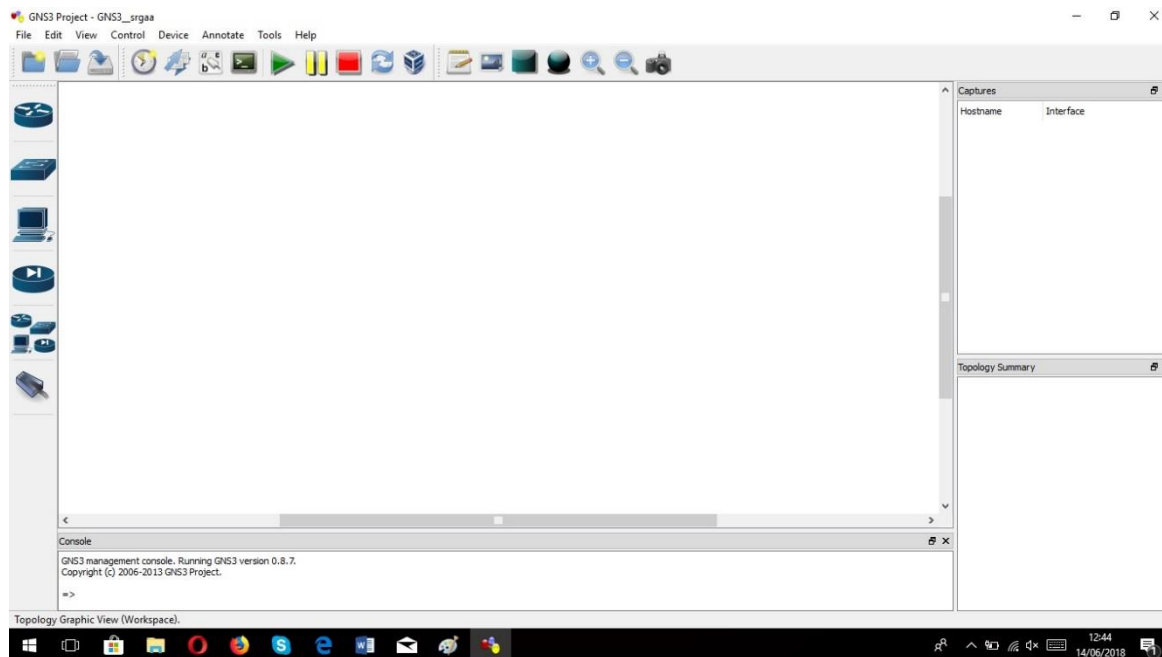


Figure 3.1 : interface du GNS3.

3.2.2 L'application iVantage :

Pour l'installation et la configuration de n'importe quel réseau VSAT iDirect, nous avons besoin d'utiliser l'application iVantage, qui est composée de trois logiciels :

3.2.2.1 iBuilder :

iBuilder est une interface graphique, qui nous permet de construire une configuration rapide de n'importe quel réseau iDirect. Il permet d'ajouter facilement des composants virtuels (routeurs satellitaire, des cartes HLC) à notre réseau créé dans le Hub, de configurer ou de changer notre configuration actuelle, et télécharger la configuration sous forme d'un fichier appelé OPT (Option File) vers les éléments réels du réseau.

iBuilder contient un ensemble d'éléments et composants prédéfinis, qui sont utilisés pour la création des réseaux iDirect. Il permet de configurer tous les composants et les éléments du réseau iDirect y compris : les cartes HLC, les routeurs satellitaires (les modems des sites distants), les composants de l'antenne distante (BUC et LNB), ainsi que les adresses IP du switch Upstream et ceux des interfaces du réseau LAN du client, la QoS, la bande passante allouée, les fréquences, choix du satellite ...etc.

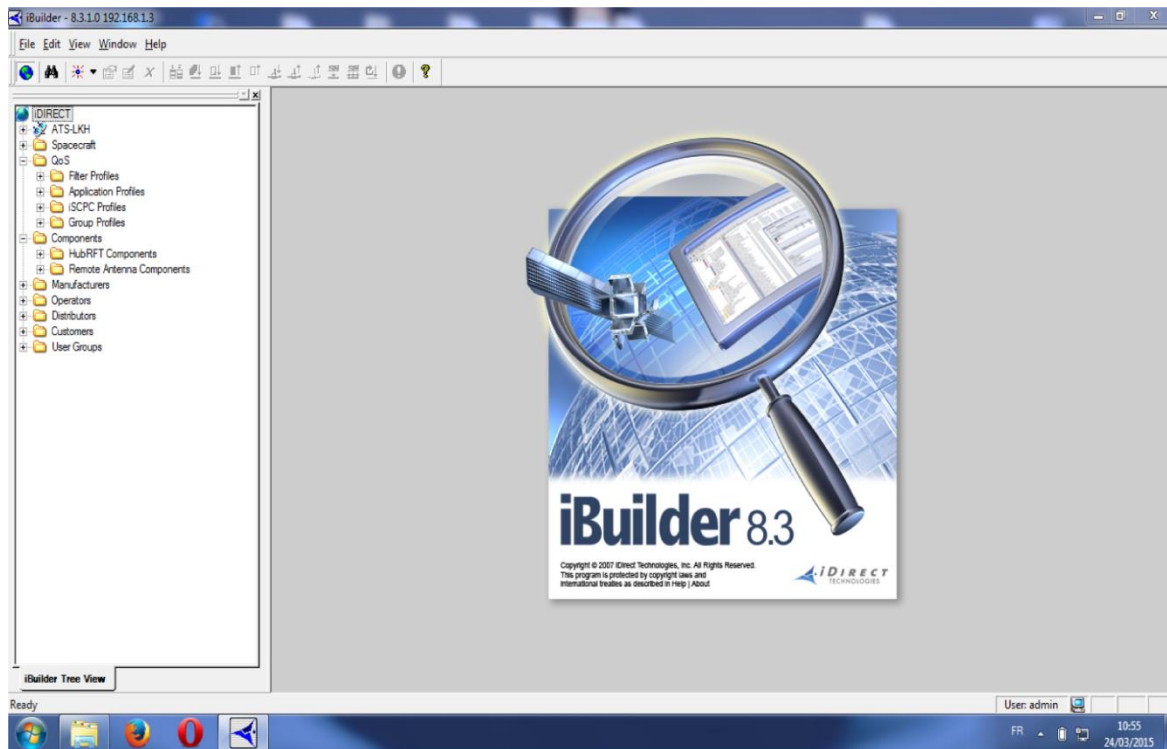


Figure 3.2 : interface graphique de iBuilder.

3.2.2.2 iMonitor :

iMonitor est une interface graphique qui nous permet de gérer et superviser tous les composants du réseau.

Il fournit aux opérateurs réseau des informations détaillées en temps réel sur l'état des équipements du réseau et ses performances. Il permet aussi :

- D'analyser l'utilisation de la bande passante.
- Surveiller le réseau et le fonctionnement du matériel.
- Gérer les alertes et avertissements dans le réseau.
- Donner des statistiques de performance du réseau qui sont archivées automatiquement.
- La qualité des liens.

Nous pouvons dire qu'iMonitor est un outil qui nous permet de surveiller et de gérer un réseau VSAT.

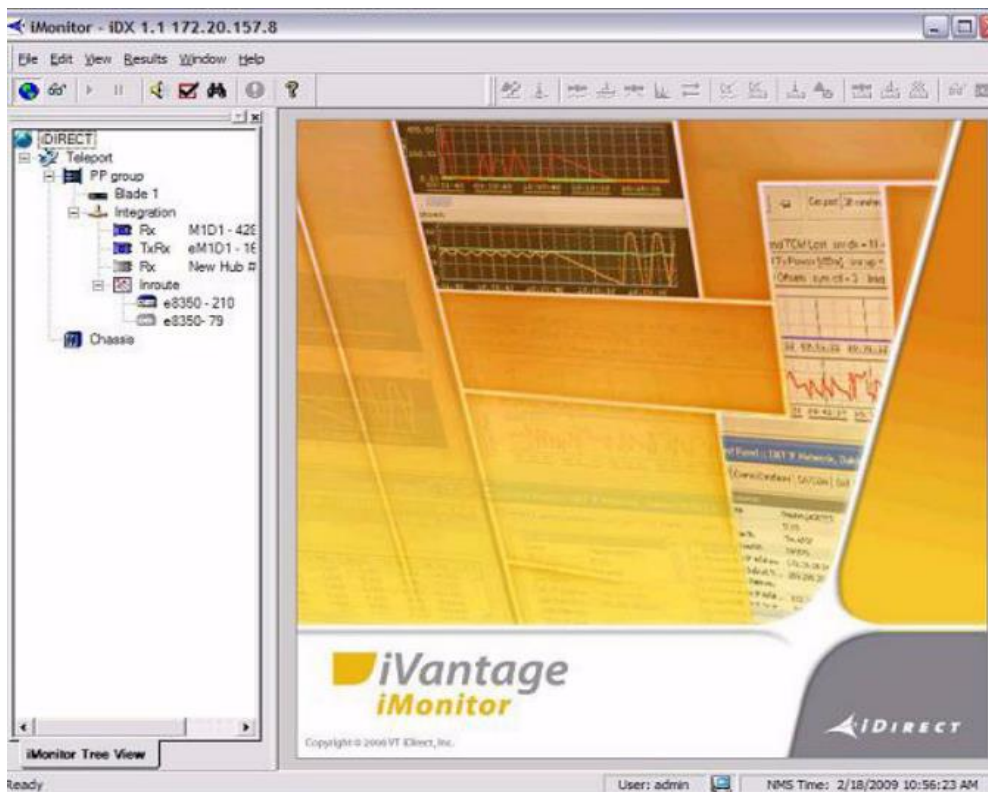


Figure 3.3 : interface graphique de iMonitor.

3.2.2.3 iSite :

iSite est une interface graphique, utilisé souvent par les installateurs des réseaux VSAT iDirect lors de l'installation d'une station VSAT, ou lors des interventions pour résoudre un problème survenu dans une station. C'est une application en lecture seule.

Il facilite aux installateurs la configuration des éléments d'un site distant. Il comprend des fonctionnalités qui aident à la mise en place d'un site distant : il permet d'avoir l'adresse IP d'un routeur satellitaire, il permet aussi lors du pointage d'une antenne de visualiser le signal reçu du satellite, pour déterminer l'angle de pointage.

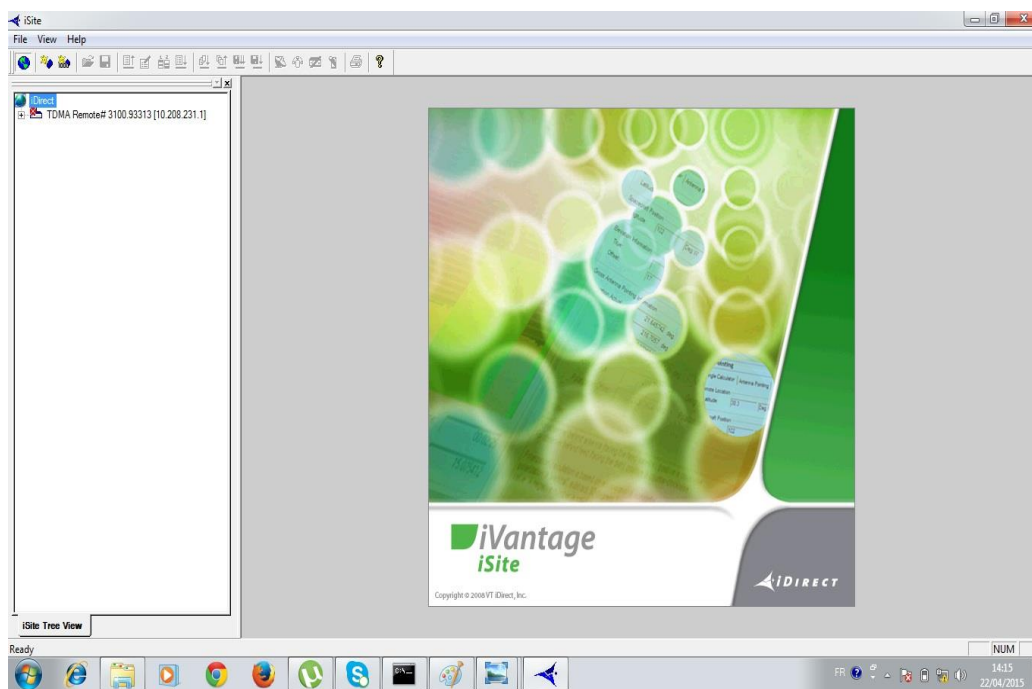


Figure 3.4 : interface graphique de iSite.

3.3 Partie 1 : Simulation et configuration d'un réseau MPLS-TE à l'aide de GNS3 :

Pour pouvoir simuler un réseau MPLS, nous devons disposer d'un logiciel : le GNS3, qui est une plate-forme de travail simple à utiliser, pratique et complète.

Dans le réseau que nous avons mis en place, nous avons utilisé le routeur CISCO 7200, il a la spécificité de supporter la technologie MPLS.

Pour simuler notre réseau, on a suivi les étapes suivantes :

3.3.1 Etape 1 : simulation du réseau :

-Lancer GNS3, une fenêtre apparaît où nous donnons un nom à notre projet, comme dans la figure :

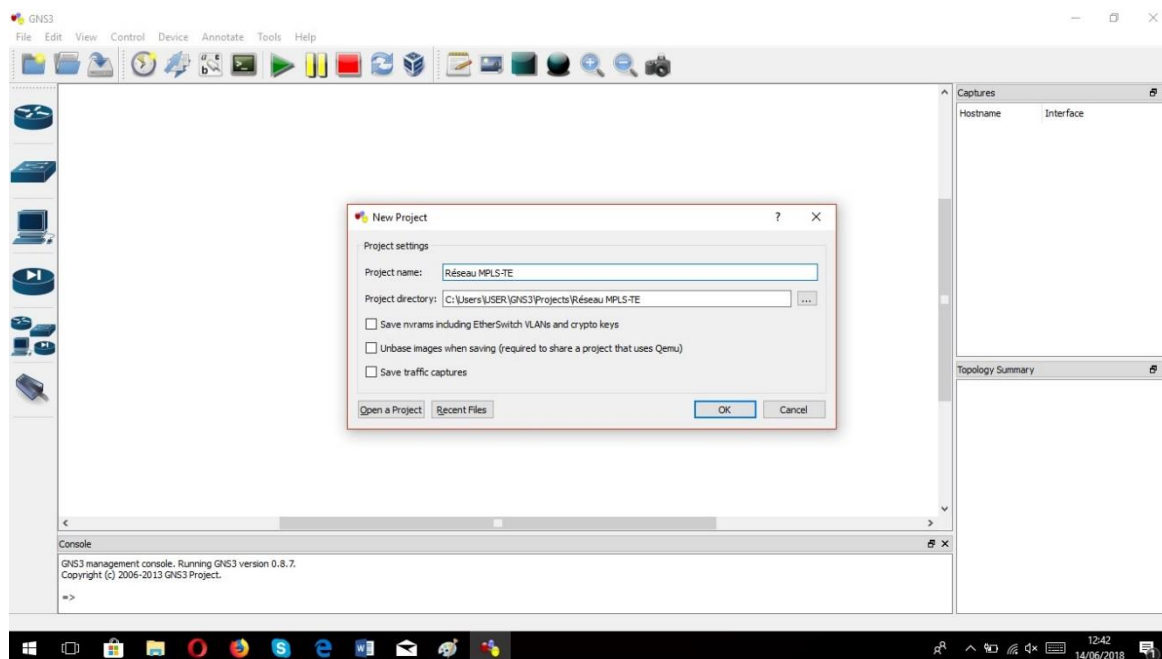


Figure 3.5 : nommer le projet.

- Sur la colonne de gauche qui contient tous les équipements dont dispose GNS3, nous cliquons sur la case montrant un routeur.

- Une liste apparaît, où nous sélectionnons le routeur CISCO 7200, et nous le mettons dans la zone de travail.

- Nous utilisons 9 routeurs CISCO 7200, nous faisons la liaison entre eux en cliquant sur la case montrant un câble, puis, sur chaque routeur nous choisissons une interface serial, nous faisons la liaison jusqu'au prochain routeur, où nous choisissons une interface serial, la même de préférence pour ne pas se tromper pendant la configuration.

Nous faisons la même chose pour les autres routeurs.

La topologie complète de notre réseau avec les sous-réseaux choisis, est montrée dans la figure suivante :

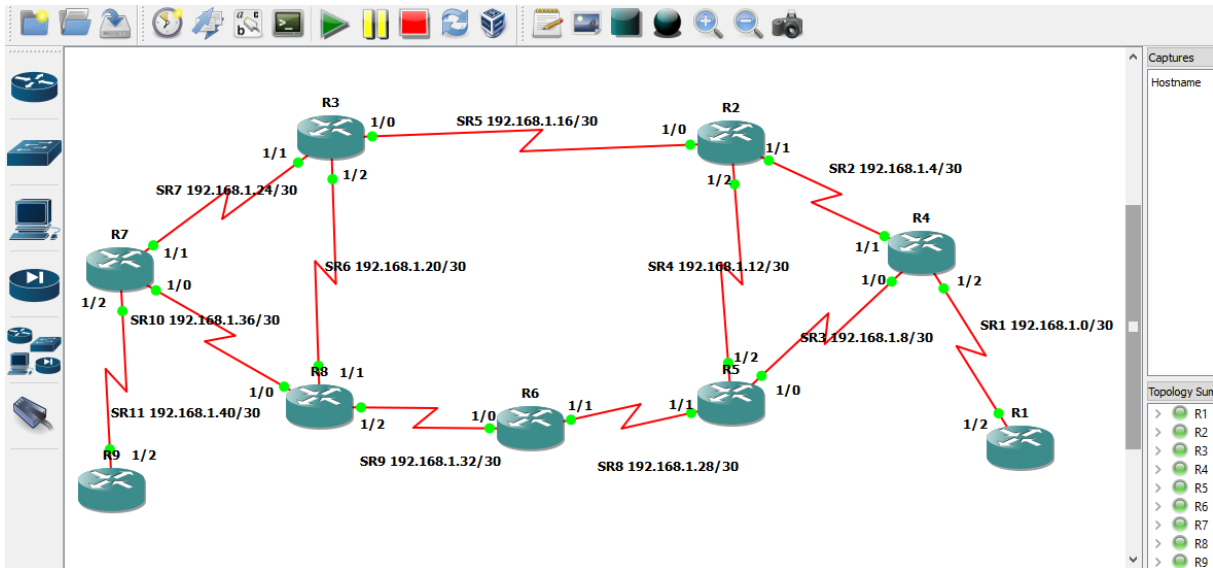


Figure 3.6 : topologie complète du réseau.

3.3.2 Etape 2 : configuration de notre réseau :

3.3.2.1 Configuration des interfaces :

- D'un clic droit de la souris sur un routeur, une liste se déploie, elle contient l'ensemble des opérations que nous pouvons effectuer sur un routeur.
- Nous cliquons sur Start pour lancer le routeur, ensuite, sur console pour avoir l'interface de configuration. Illustration dans la figure qui suit :

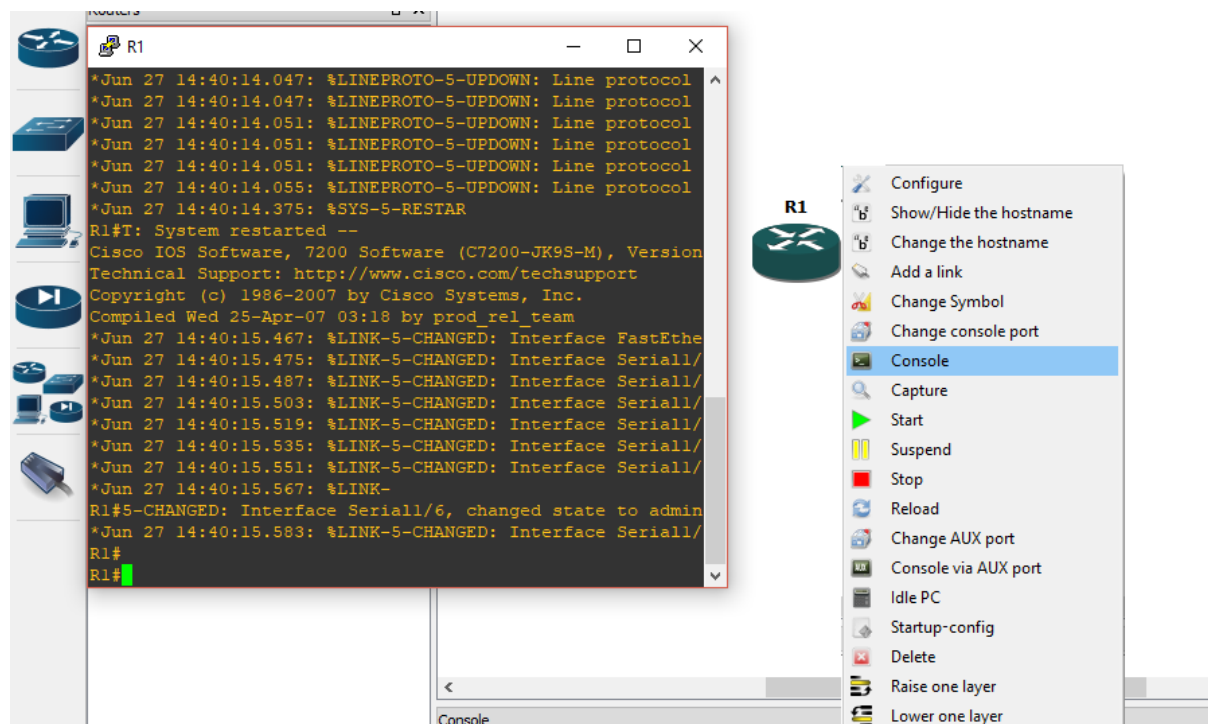


Figure 3.7 : interface de configuration.

- Nous introduisons la commande « **conf terminal** » pour passer en mode configuration.
- Nous attribuons à chaque interface serial une adresse IP, en utilisant la commande « **ip address** », ensuite, nous l'activons avec la commande « **no shutdown** ».

```

R1#conf terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#interface serial 1/2
R1(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.252
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
*Jun  6 04:45:22.427: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial1/2, changed state to up

```

Figure 3.8 : attribution d'adresse IP à une interface.

- Configuration des interfaces des différents routeurs :

Routeur	Interface loopback 0	Interface serial	Adresse IP	Masque
R1	192.168.2.1	S 1/2 S 1/2	192.168.1.1 192.168.1.2	255.255.255.252
R2	192.168.2.2	S 1/0 S 1/1 S 1/2	192.168.1.17 192.168.1.6 192.168.1.13	255.255.255.252
R3	192.168.2.3	S 1/0 S 1/1 S 1/2	192.168.1.18 192.168.1.25 192.168.1.21	255.255.255.252
R4	192.168.2.4	S 1/0 S 1/1 S 1/2	192.168.1.9 192.168.1.5 192.168.1.2	255.255.255.252
R5	192.168.2.5	S 1/1 S 1/2	192.168.1.29 192.168.1.14	255.255.255.252
R6	192.168.2.6	S 1/0 S 1/1	192.168.1.33 192.168.1.30	255.255.255.252
R7	192.168.2.7	S 1/0 S 1/1 S 1/2	192.168.1.38 192.168.1.26 192.168.1.41	255.255.255.252
R8	192.168.2.8	S 1/0 S 1/1 S 1/2	192.168.1.37 192.168.1.22 192.168.1.34	255.255.255.252
R9	192.168.2.9	S 1/2	192.168.1.42	255.255.255.252

Tableau 3.1 : configuration des interfaces de tous les routeurs.

3.3.2.2 Activer le protocole OSPF :

Juste après la partie 1, et dans la même fenêtre de configuration de chaque routeur, nous activons le protocole OSPF, qui permet de créer une table de routage dans chaque routeur, avec les commandes suivantes :

- « **conf terminal** »: pour passer en mode configuration.
- « **router ospf 1** » : le 1 représente l'identifiant du routeur.
- « **network** » : pour spécifier le réseau où on active l'ospf.
- « **end** » : pour sortir du mode configuration.

```
R4#conf terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R4(config)#router ospf 1
R4(config-router)#network 192.168.1.4 255.255.255.252 area 0
R4(config-router)#network 192.168.1.8 255.255.255.252 area 0
R4(config-router)#network 192.168.1.0 255.255.255.252 area 0
R4(config-router)#end
R4#
```

Figure 3.9 : activation du protocole ospf.

Nous faisons la même chose dans chaque routeur.

3.3.2.3 Activer le MPLS :

Pour activer le MPLS, nous suivons les étapes suivantes :

- Activer le protocole CEF (CISCO Express Forwarding), il nous permet d'accélérer la commutation des paquets, en utilisant la commande « **ip cef** ».
- Activer le MPLS dans chaque routeur avec la commande « **mpls ip** ».

```
R4#conf terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R4(config)#ip cef
R4(config)#interface serial 1/2
R4(config-if)#mpls ip
R4(config-if)#interface serial 1/1
R4(config-if)#mpls ip
R4(config-if)#interface serial 1/0
R4(config-if)#mpls ip
R4(config-if)#end
R4#
```

Figure 3.10 : activation du MPLS.

3.3.2.4 Activer le Traffic Engineering (MPLS-TE) :

- Il faut créer une interface virtuelle dans chaque routeur, pour cela, nous utilisons la commande « **interface loopback** ». Elle permet de remplacer la connexion internet dans un simulateur.
- Activer MPLS-TE en mode global dans chaque routeur avec la commande « **mpls traffic-eng tunnels** ».
- Déclarer chaque interface avec la commande « **interface serial x/y** ».
- Activer le MPLS-TE dans chaque interface avec la commande « **mpls traffic-eng tunnels** ».

- Réserver une bande passante de 450 Kb/s pour chaque interface avec le protocole RSVP, en utilisant la commande « **ip rsvp bandwidth** ». Tout cela est montré dans la figure suivante :

```
R4#conf terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R4(config)#interface loopback 0
R4(config-if)#ip address 192.168.2.4 255.255.255.252
R4(config-if)#
R4#conf terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R4(config)#mpls traffic-eng tunnels
R4(config)#interface serial 1/2
R4(config-if)#mpls traffic-eng tunnels
R4(config-if)#ip rsvp bandwidth 450
R4(config-if)#interface serial 1/1
R4(config-if)#mpls traffic-eng tunnels
R4(config-if)#ip rsvp bandwidth 450
R4(config-if)#interface serial 1/0
R4(config-if)#mpls traffic-eng tunnels
R4(config-if)#ip rsvp bandwidth 450
R4(config-if)#end
R4#
```

Figure 3.11 : activation de la TE.

-Activer l'ingénierie de trafic (MPLS-TE) dans la zone area 0 et l'associer à OSPF. Nous accédons à chaque routeur avec la commande « **router ospf 1** », nous activons MPLS-TE avec la commande « **mpls traffic-eng area 0** », et nous faisons l'association avec la commande « **mpls traffic-eng router-id loopback 0** ».

```
R1#conf terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#mpls traffic-eng area 0
R1(config-router)#mpls traffic-eng router-id loopback 0
R1(config-router)#end
R1#
```

Figure 3.12 : association de la TE à OSPF.

3.3.2.5 Création de tunnel :

Nous avons créé deux tunnels :

-Tunnel 1 : il passe par les routeurs R1, R4, R2, R3, R7 et R9.

-Tunnel 2 : il passe par les routeurs R1, R4, R5, R6, R8, R7 et R9.

Pour créer un tunnel, nous suivons les étapes suivantes :

-Déclarer une interface tunnel sans adresse avec la commande « **interface tunnel 1** » et « **ip unnumbered loopback 0** ».

-Choisir le mode du tunnel avec la commande « **tunnel mode mpls traffic-eng** ».

-Donner l'adresse de destination (bout du tunnel) avec la commande « **tunnel destination 192.168.2.9** ».

-Annoncer le tunnel avec la commande « **tunnel mpls traffic-eng autoroute announce** ».

-Lui donner une priorité en entrant la commande « **tunnel mpls traffic-eng priority 1 1** ».

-Attribuer la bande passante avec la commande « **tunnel mpls traffic-eng bandwidth** ».

-Donner un nom au tunnel créé (LSP) avec la commande « **tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name LSP** »

```
R1#conf terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#mpls traffic-eng tunnels
R1(config)#interface tunnel1
R1(config-if)#ip unnumbered loopback 0
R1(config-if)#tunnel mode mpls traffic-eng
R1(config-if)#tunnel destination 192.168.2.9
R1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
R1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng priority 1 1
R1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng bandwidth 100
R1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit name LSP
R1(config-if)#
```

Figure 3.13 : création de tunnel.

Ensuite, il faut spécifier le chemin emprunté, c'est-à-dire, donner les adresses des interfaces des routeurs par lesquelles le tunnel doit passer, comme indiqué dans la figure :

```
R1(config)#ip explicit-path name LSP enable
R1(cfg-ip-expl-path)#next-address 192.168.1.2
Explicit Path name LSP:
  1: next-address 192.168.1.2
R1(cfg-ip-expl-path)#next-address 192.168.1.6
Explicit Path name LSP:
  1: next-address 192.168.1.2
  2: next-address 192.168.1.6
R1(cfg-ip-expl-path)#next-address 192.168.1.18
Explicit Path name LSP:
  1: next-address 192.168.1.2
  2: next-address 192.168.1.6
  3: next-address 192.168.1.18
R1(cfg-ip-expl-path)#next-address 192.168.1.26
Explicit Path name LSP:
  1: next-address 192.168.1.2
  2: next-address 192.168.1.6
  3: next-address 192.168.1.18
  4: next-address 192.168.1.26
R1(cfg-ip-expl-path)#next-address 192.168.1.42
Explicit Path name LSP:
  1: next-address 192.168.1.2
  2: next-address 192.168.1.6
  3: next-address 192.168.1.18
  4: next-address 192.168.1.26
  5: next-address 192.168.1.42
R1(cfg-ip-expl-path)#
```

Figure 3.14 : spécification du chemin du tunnel.

Remarque : pour le deuxième tunnel, nous suivons les mêmes étapes, il suffit juste de changer la priorité et le nom.

3.3.2.6 Partage de charge entre les deux tunnels :

Le partage de charge est configuré dans le routeur source R1, entre les deux tunnels 1 et 2 comme suit :

-Activer le partage de charge dans l'interface de chaque tunnel avec les deux commandes « **interface tunnel 1** » et « **ip load-sharing per-packet** ». De même pour le tunnel 2, comme illustré dans la figure qui suit :

```
R1#conf terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#interface tunnel1
R1(config-if)#ip load-sharing per-packet
R1(config-if)#exit
R1(config)#interface tunnel2
R1(config-if)#ip load-sharing per-packet
R1(config-if)#
```

Figure 3.15 : partage de charge entre deux tunnels.

Nous enregistrons la configuration avec la commande « **copy running config-startup config** », et par sécurité nous ajoutons une autre commande « **write memory** ».

```
R4#write memory
Building configuration...
[OK]
R4#copy running startup-config
Destination filename [startup-config]?
Building configuration...
[OK]
R4#
```

Figure 3.16 : enregistrer la configuration.

Nous utilisons la commande « **show mpls traffic-eng tunnels** » pour voir la configuration du tunnel

```
R1#show mpls traffic-eng tunnels
Name: R1_t1                               (Tunnel1) Destination: 192.168.2.9
Status:
  Admin: up           Oper: up           Path: valid           Signalling: connected
  path option 1, type explicit LSP (Basis for Setup, path weight 320)

Config Parameters:
  Bandwidth: 100      kbps (Global) Priority: 1 1  Affinity: 0x0/0xFFFF
  Metric Type: TE (default)
  AutoRoute: enabled  LockDown: disabled Loadshare: 100      bw-based
  auto-bw: disabled

InLabel : -
OutLabel : Serial1/2, 21
RSVP Signalling Info:
  Src 192.168.2.1, Dst 192.168.2.9, Tun_Id 1, Tun_Instance 17
RSVP Path Info:
  My Address: 192.168.2.1
  Explicit Route: 192.168.1.2 192.168.1.6 192.168.1.18 192.168.1.26
                  192.168.1.42 192.168.2.9
  Record Route: NONE
  Tspec: ave rate=100 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=100 kbits
RSVP Resv Info:
  Record Route: NONE
  Fspec: ave rate=100 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=100 kbits
History:
  Tunnel:
    Time since created: 8 minutes, 31 seconds
    Time since path change: 8 minutes, 12 seconds
  Current LSP:
    Uptime: 8 minutes, 12 seconds
```

Figure 3.17 : vérification de la création du tunnel 1.

Nous faisons un test d'établissement de la connexion avec la commande « **ping** ».

```
R1#
R1#ping 192.168.1.42

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.1.42, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 156/181/220 ms
R1#
```

Figure 3.18 : test d'établissement de la connexion.

Nous Visualisons le trafic dans le réseau avec l'application Wireshark.

- **Wireshark** : est une application qui permet de visualiser la circulation du trafic dans un réseau, et d'intercepter les messages échangés entre les routeurs grâce aux différents protocoles.

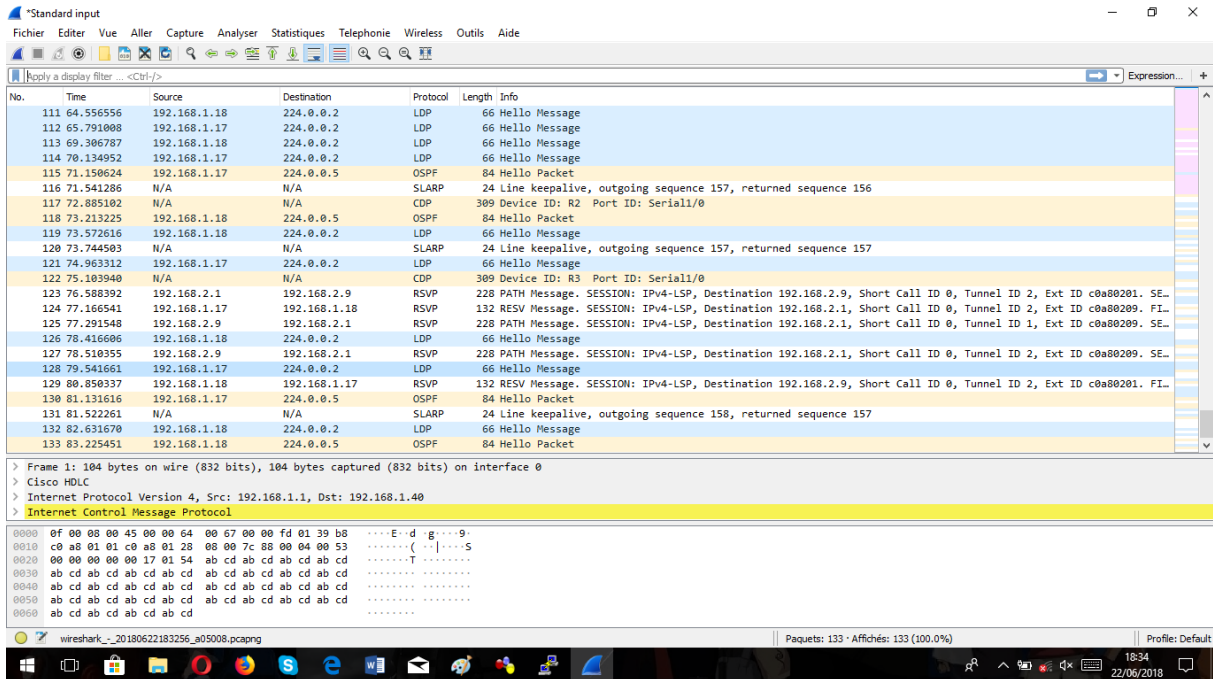


Figure 3.19 : visualisation du trafic avec Wireshark.

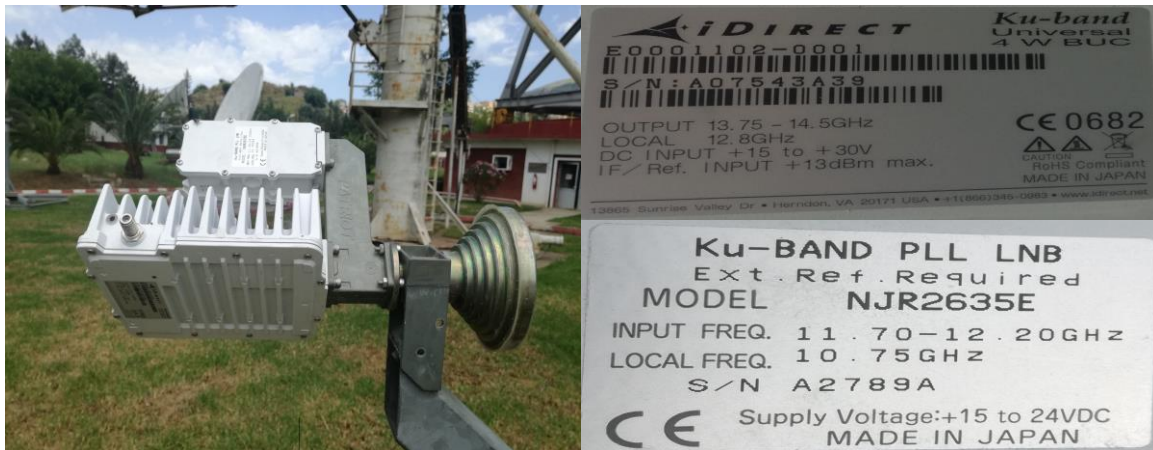
3.4 Partie 2 : Configuration d'un réseau VSAT :

- Les équipements utilisés :

Une antenne qui opère dans la bande Ku.



Un BUC et un LNB qui opèrent dans la bande Ku, plus une tête.



Un routeur satelliteaire iDirect X7 et un PC doté de l'application iVantage, plus un câble RG 45.



Des câbles RG 6 pour relier le BUC et le LNB au routeur X7.



Un Hub iDirect evolution version 21.0.0.5.

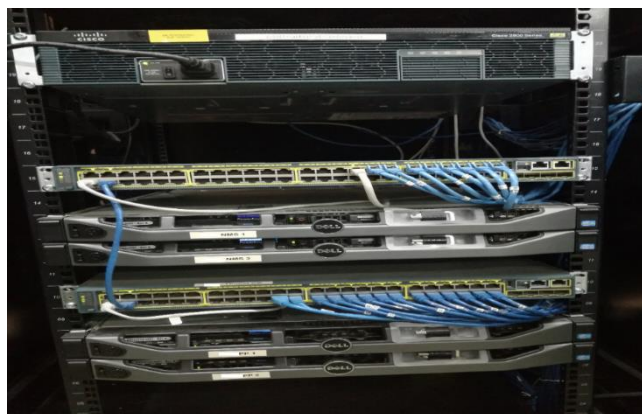


Tableau 3.2 : les équipements utilisés.

Dans cette partie, nous allons établir une liaison entre le Hub iDirect evolution version 21.0.0.5 (dernière version) de « LAKHDARIA », avec un site distant VSAT comprenant un routeur X7 iDirect et une antenne, via le satellite Algérien Alcomsat-1, comme illustré dans les deux étapes suivantes :

3.4.1 Etape 1 : Configuration au niveau du Hub :

Dans cette étape, nous allons voir la partie concernant l'ajout et la configuration d'un routeur iDirect X7 au niveau du Hub, en utilisant le logiciel iBuilder et iSite.

Premièrement, nous connectons notre PC au switch Upstream du Hub avec un câble RJ 45, puis, nous attribuons à notre PC une adresse IP qui appartient à l'adresse réseau Upstream du Hub, pour établir la connexion et passer à la configuration.

3.4.1.1 Configuration de la carte HLC :

Nous avons choisi une carte HLC qui a la spécificité d'émettre (Tx) et de recevoir (Rx) en même temps.

Tout d'abord, il faut ouvrir l'application iBuilder. Ensuite, cliquer sur le nom de la carte « TxRx », puis sur le champ « Information » pour commencer la configuration des adresses IP.

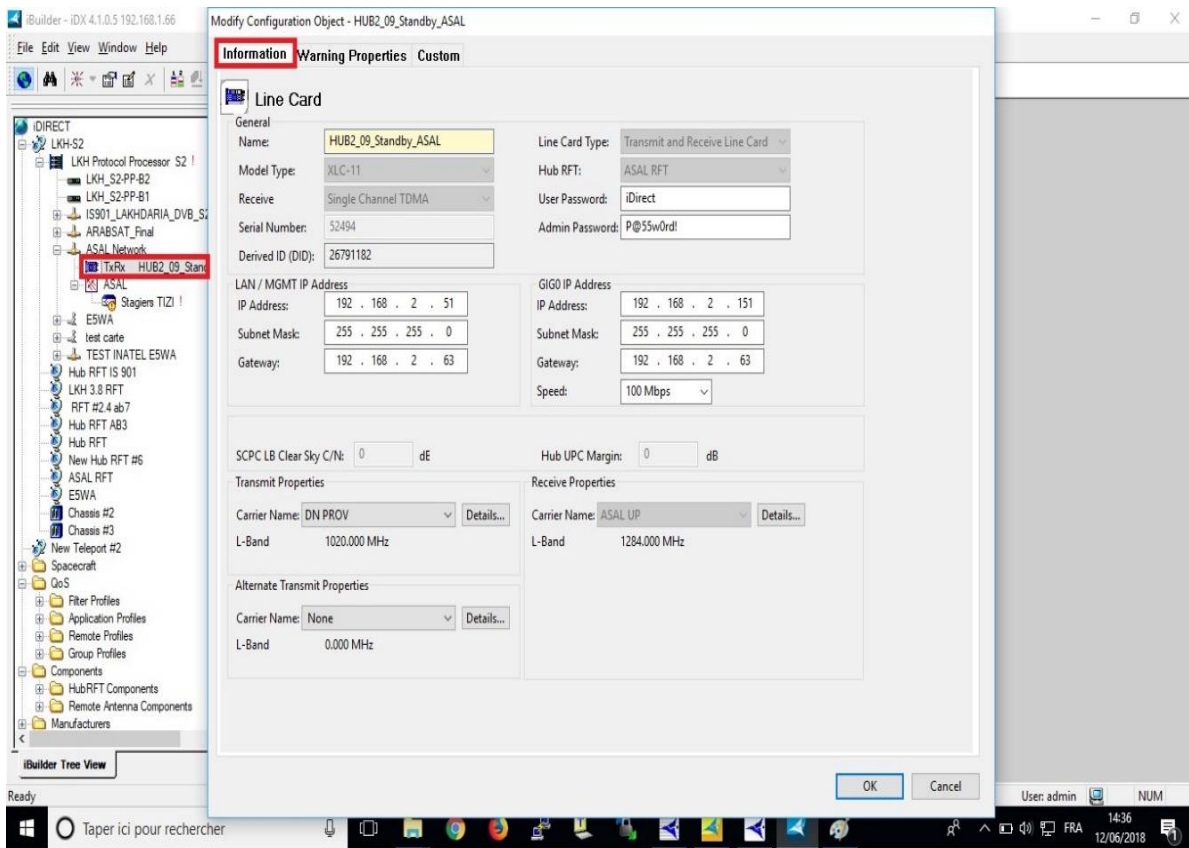


Figure 3.20 : configuration d’adresses IP sur la carte HLC.

Nous attribuons les fréquences d’émission du Hub et de réception du site distant (client), ainsi que le mode de modulation et le codage à utiliser :

- En Downstream (réception du routeur = émission du Hub).
- En Upstream (émission du routeur = réception du Hub).

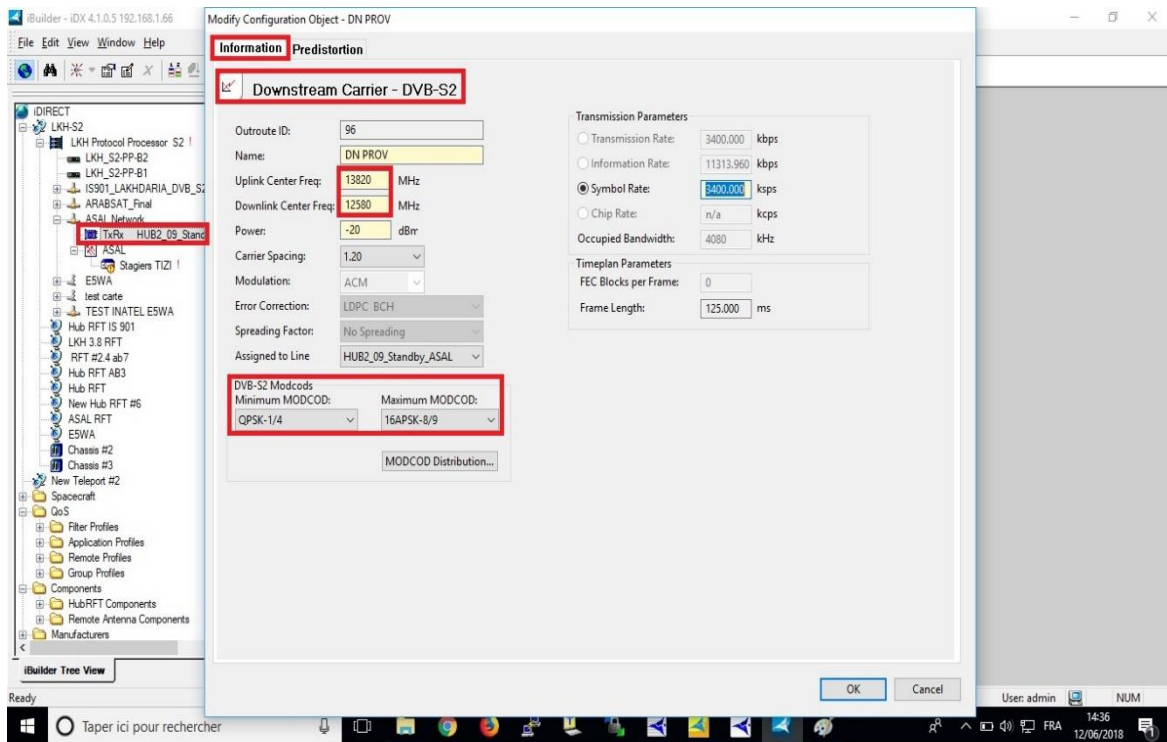


Figure 3.21 : configuration du Downstream de la carte HLC.

Nous attribuons les fréquences d’émission du site distant (client) et de réception du Hub.

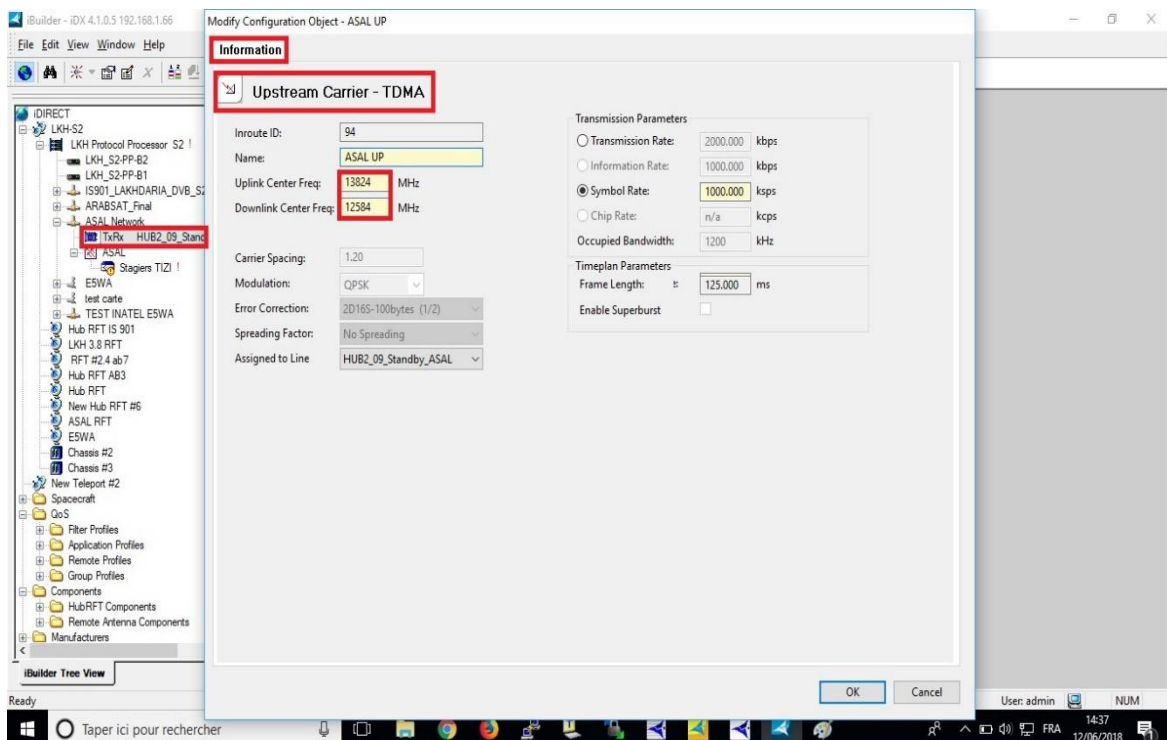


Figure 3.22 : configuration du Upstream de la carte HLC.

Nous avons terminé la configuration de la carte HLC, nous passons maintenant à la configuration du routeur satellitaire X7 au niveau du Hub.

3.4.1.2 Configuration du routeur :

La configuration du routeur est illustrée dans les étapes suivantes :

1- Ajouter un routeur dans le réseau déjà créé, avec un clic droit de la souris sur le réseau Upstream, une petite extension apparait, nous cliquons sur « Add Remote », comme dans la figure suivante :

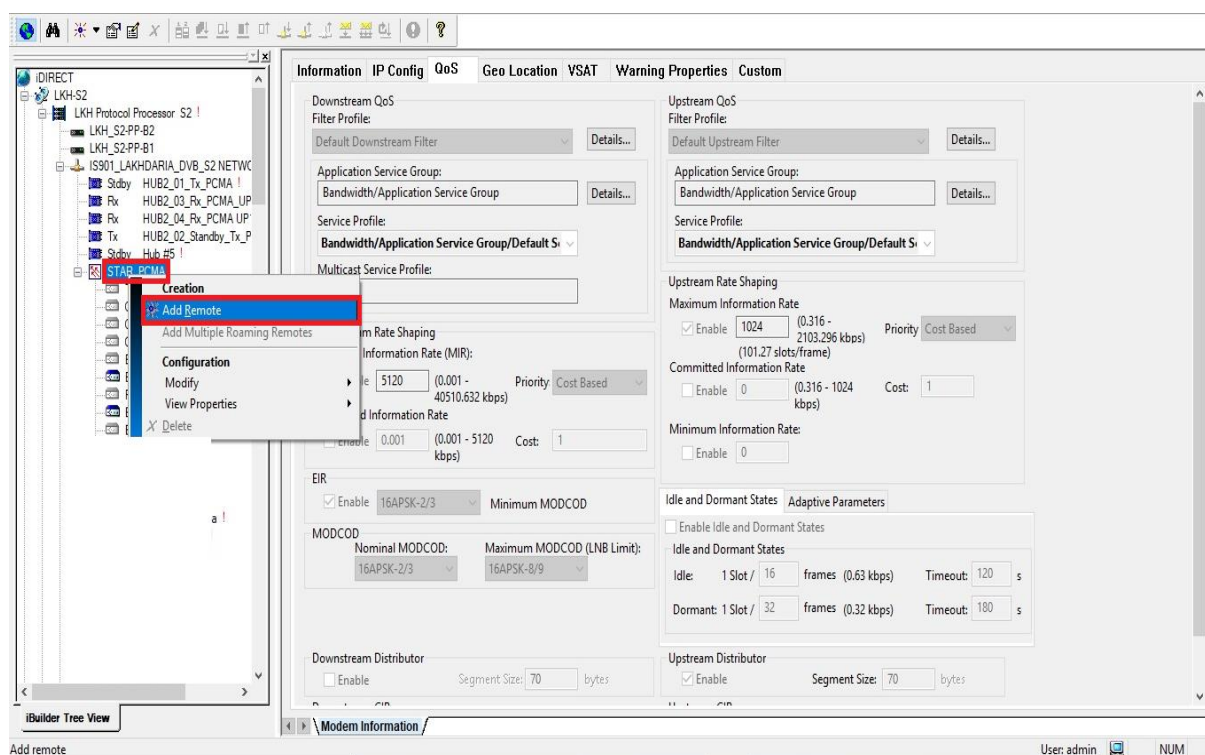


Figure 3.23 : ajouter un routeur (terminal).

2- Une nouvelle fenêtre apparait après avoir cliqué sur « Add Remote », où il faut entrer toutes les informations concernant le routeur (Name, User Password, Model Type...) comme montré dans la figure ci-dessous :

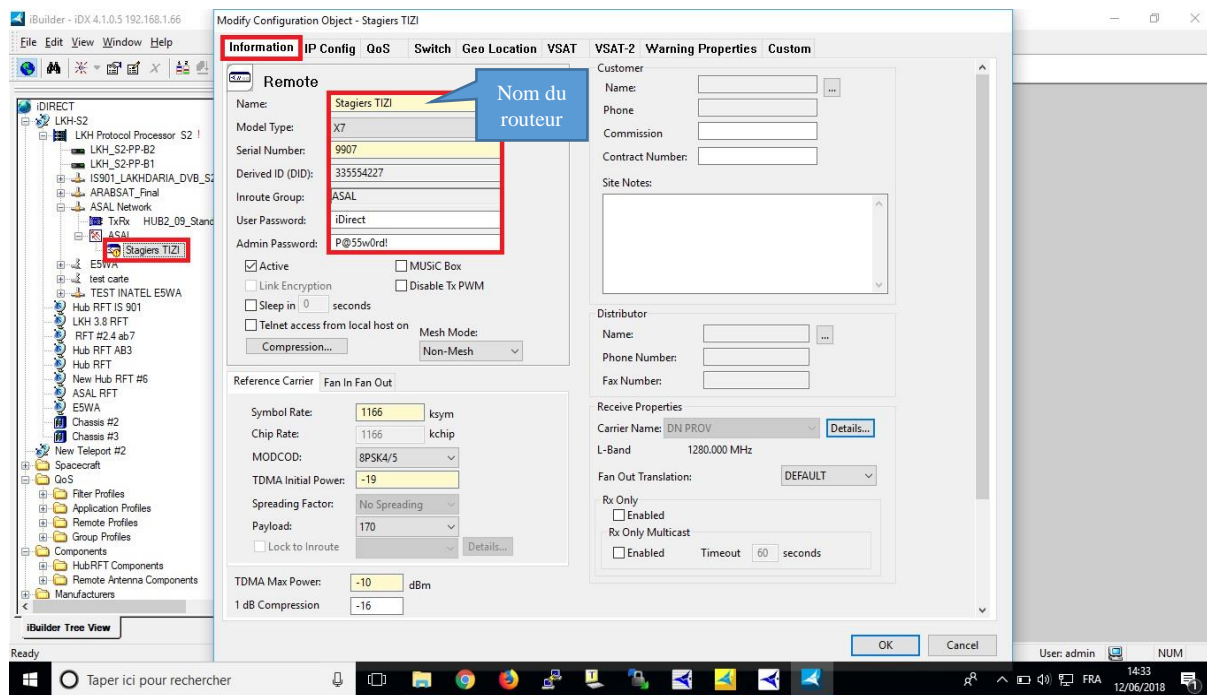


Figure 3.24 : donner les informations concernant le routeur.

3- Dans la barre des tâches, nous cliquons sur « IP Config », puis nous remplissons les champs indiqués dans la figure suivante :

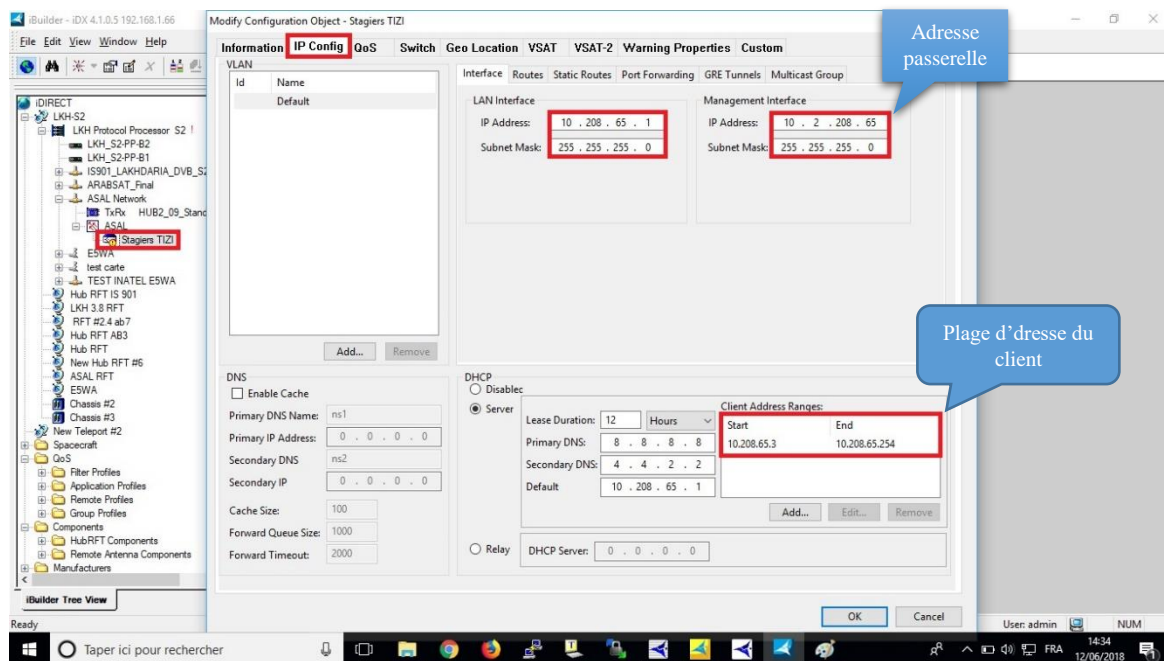


Figure 3.25 : configuration IP.

4- Nous cliquons sur le champs « QoS », et déterminons la bande passante attribuée dans le mode :

- Downstream (réception du routeur), limité dans cet exemple à 1 Mbps.
- Upstream (émission du routeur), limité à 512 Kbps.

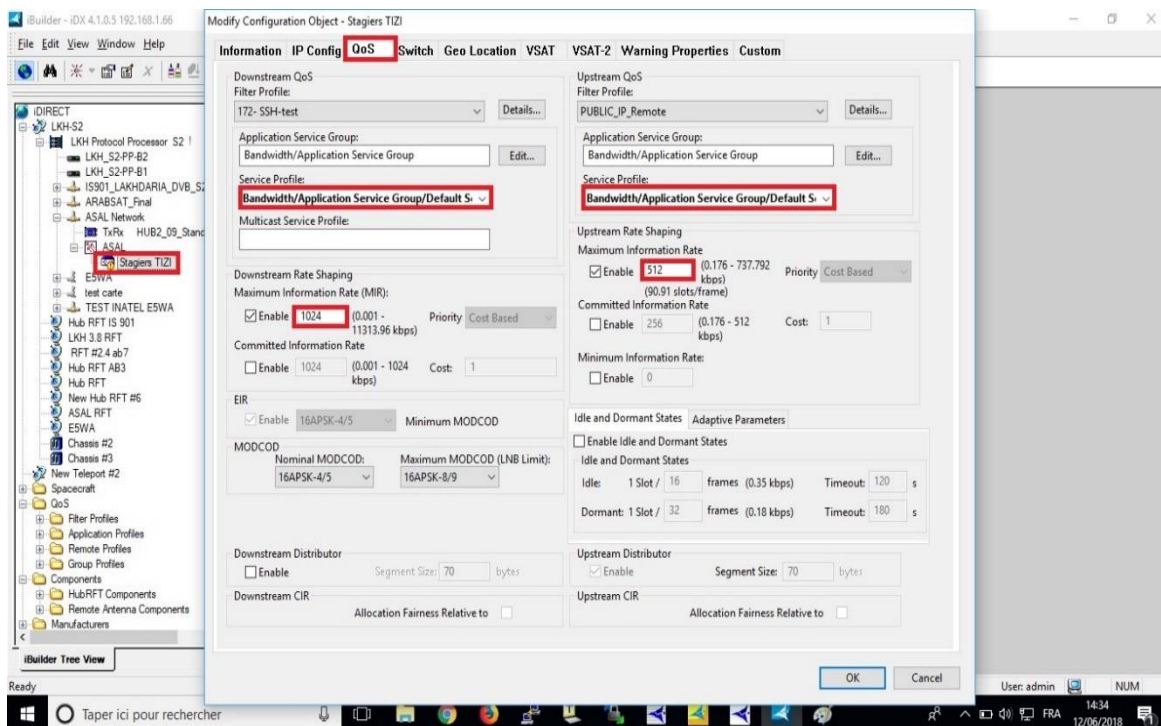


Figure 3.26 : choix de la bande passante dans la QoS.

5- Nous cliquons sur le champ « Geo Location » pour introduire les coordonnées de géolocalisation de la station distante (aussi à Lakhdaria).



Figure 3.27 : attribution des coordonnées de géolocalisation.

6- Nous cliquons sur le champs « VSAT », et choisissons le BUC et le LNB de l’antenne, ainsi que le type et la longueur du câble qui relie cette dernière avec le routeur satellitaire (routeur modem).

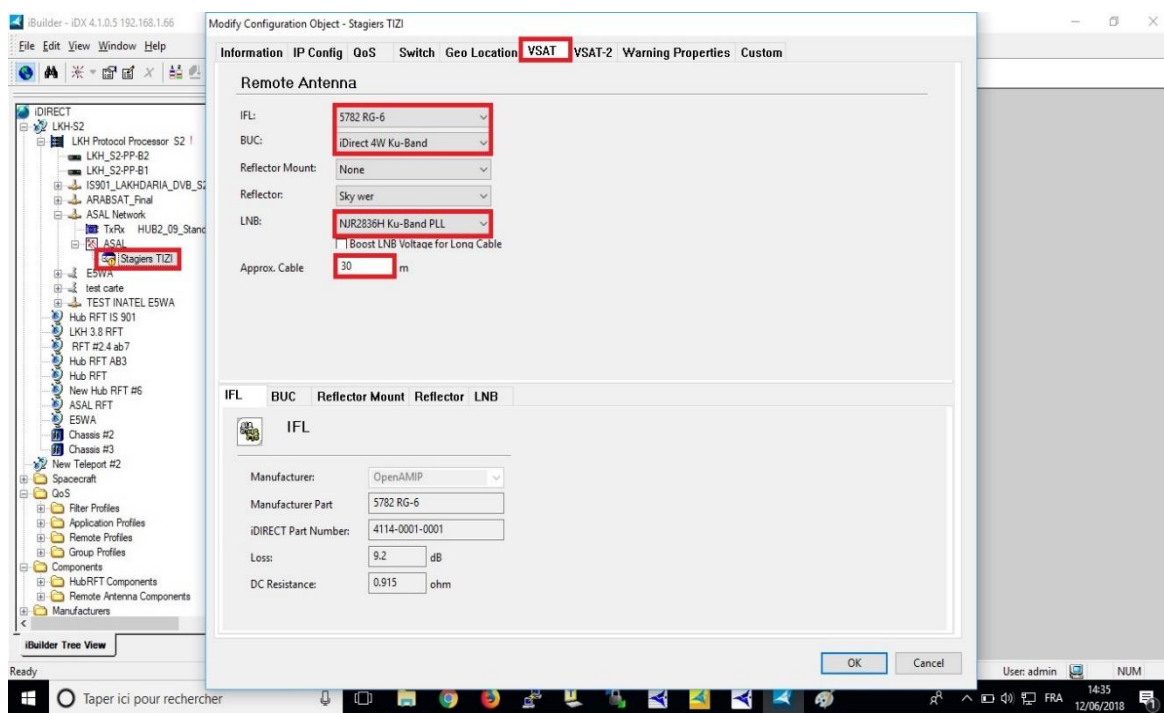


Figure 3.28 : configuration des constituants de l’antenne.

7- Une fois la configuration finie, nous l’appliquons sur le routeur et nous l’activons.

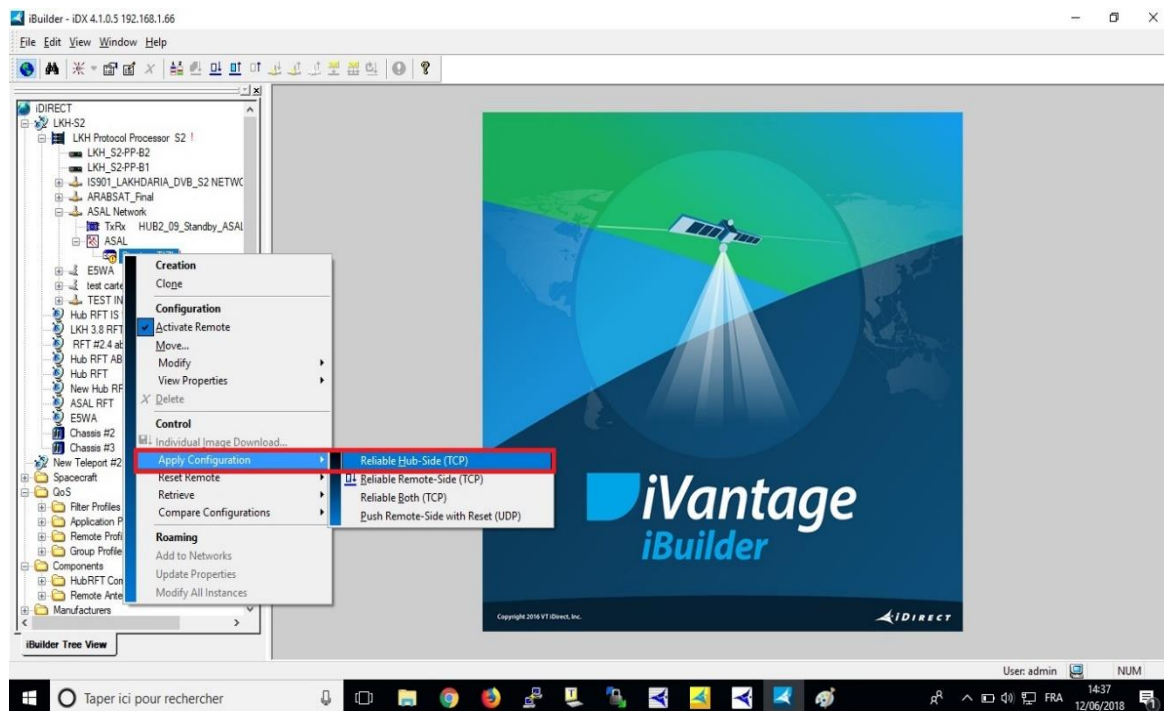


Figure 3.29 : application de la configuration sur le routeur.

Ensuite nous extrayons cette configuration sous forme d'un fichier appelé OPT (OPTION FILE).

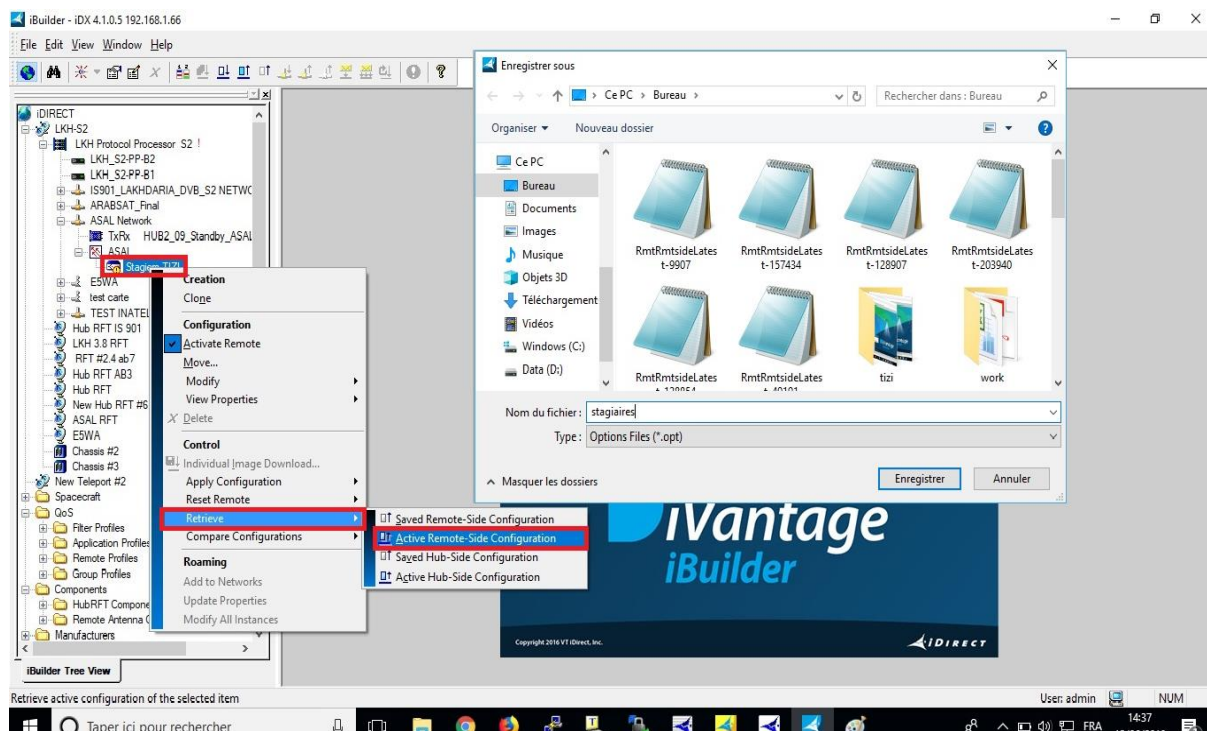


Figure 3.30 : enregistrement et sauvegarde du fichier OPT.

Ainsi la configuration du réseau VSAT au niveau du Hub est terminée. Nous passons à la configuration au niveau de la station VSAT.

3.4.2 Etape 2 : Configuration au niveau de la station VSAT (site distant):

Dans cette partie, nous allons voir comment configurer le routeur X7, et comment pointer l'antenne au niveau du client.

1- Nous relierons notre PC au routeur avec un câble RJ45.

Nous pouvons avoir à faire à deux cas :

-Cas d'un routeur vierge (non configuré) : une adresse IP par défaut est fournie (192.168.0.1), nous écrivons cette adresse dans l'interface URL d'un navigateur, appelé web iSite (le cas des modems X7 et X1), par contre nous devons utiliser le iSite pour le reste des modems que ce soit Infinity ou evolution, puis nous saisissons le User et le Password pour y accéder (par défaut User = admin et Password = P@55w0rd!).

-Cas d'un routeur déjà configuré : comme nous ne pouvons pas savoir l'adresse IP du routeur, nous utilisons l'application iSite pour la récupérer, puis, il suffit de suivre les mêmes étapes comme dans le premier cas (notre cas), comme dans la figure :

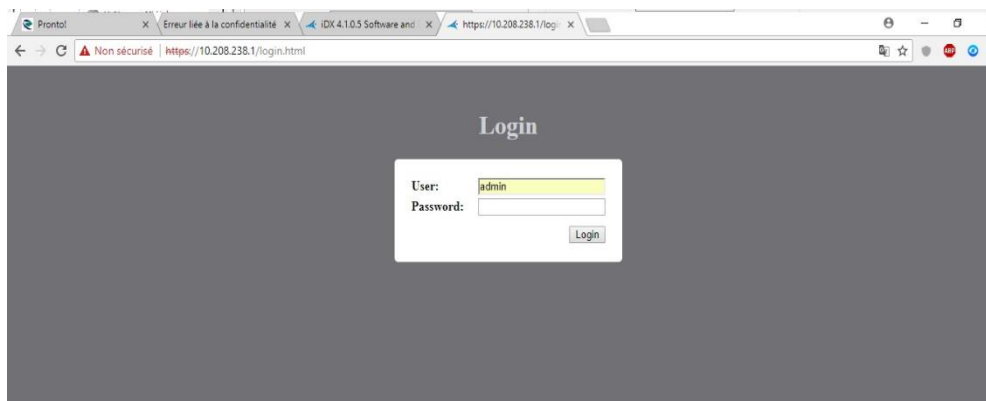


Figure 3.31 : l'accès au routeur iDirect X7 du client.

2- Après avoir accédé au routeur iDirect X7 du client, nous passons à sa configuration réelle (en utilisant le web iSite), pour cela, il suffit juste de télécharger deux fichiers « Package » et « OPT ».

-Le Package : c'est le fichier qui contient la version du Hub et la version linux avec lequel le routeur va être connecté, il est téléchargeable sur le site du constructeur iDirect.

-L'OPT : c'est le fichier qui contient la configuration qu'on a effectué sur le routeur virtuel dans le Hub, il est extrait à la fin pour le mettre dans le routeur réel, comme montré dans la figure :

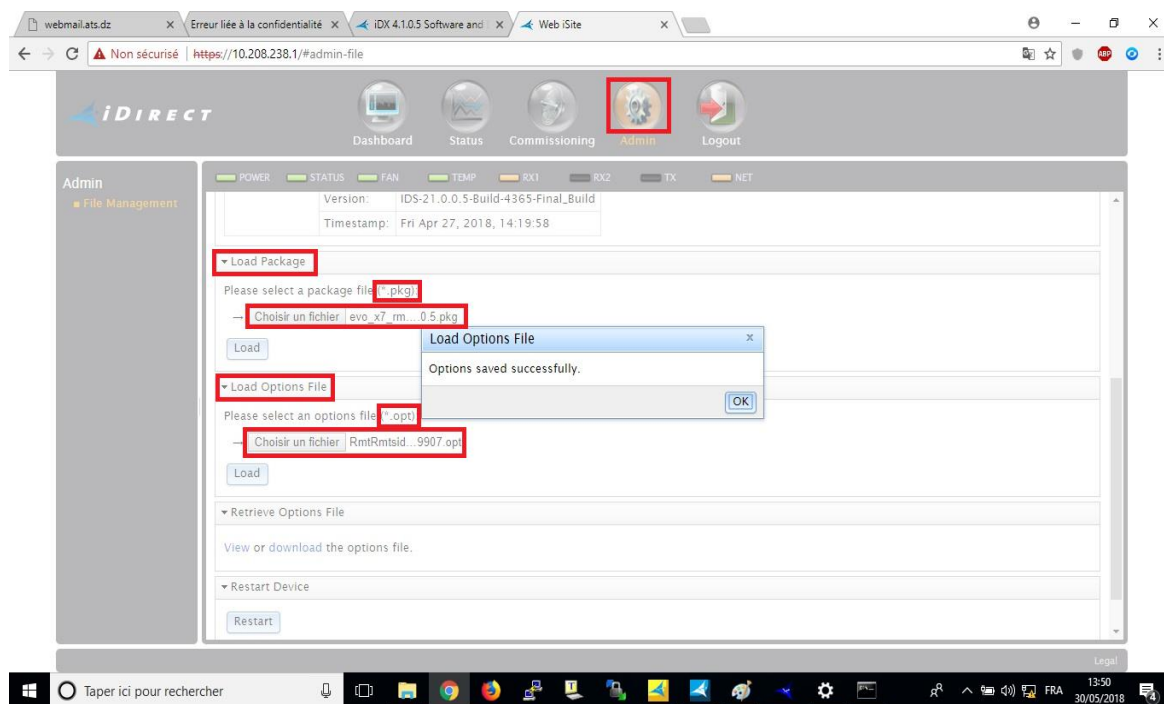


Figure 3.32 : configuration du routeur X7.

-Lorsque nous terminons la configuration du routeur X7, il nous faut le redémarrer.

3- Une fois la configuration du routeur terminée, nous passons au pointage de l’antenne vers le satellite Alcomsat-1. Pour cela, il faut relier le LNB au port Rx du routeur par un câble IFL, pour visualiser l’intensité du signal capté.



Figure 3.33 : connecter le LNB au routeur X7.

Ayant déjà connaissance de la position du satellite, nous pointons notre antenne de façon à capter le maximum du signal reçu, le maximum du signal est représenté par la couleur verte de la bande apparue sur notre écran.

A noter que l'antenne doit être placée dans une zone dégagée, où il n'y a pas d'obstacles qui peuvent bloquer la bonne réception du signal. Pendant cette étape, il ne faut jamais relier le BUC au routeur au risque de le détruire.

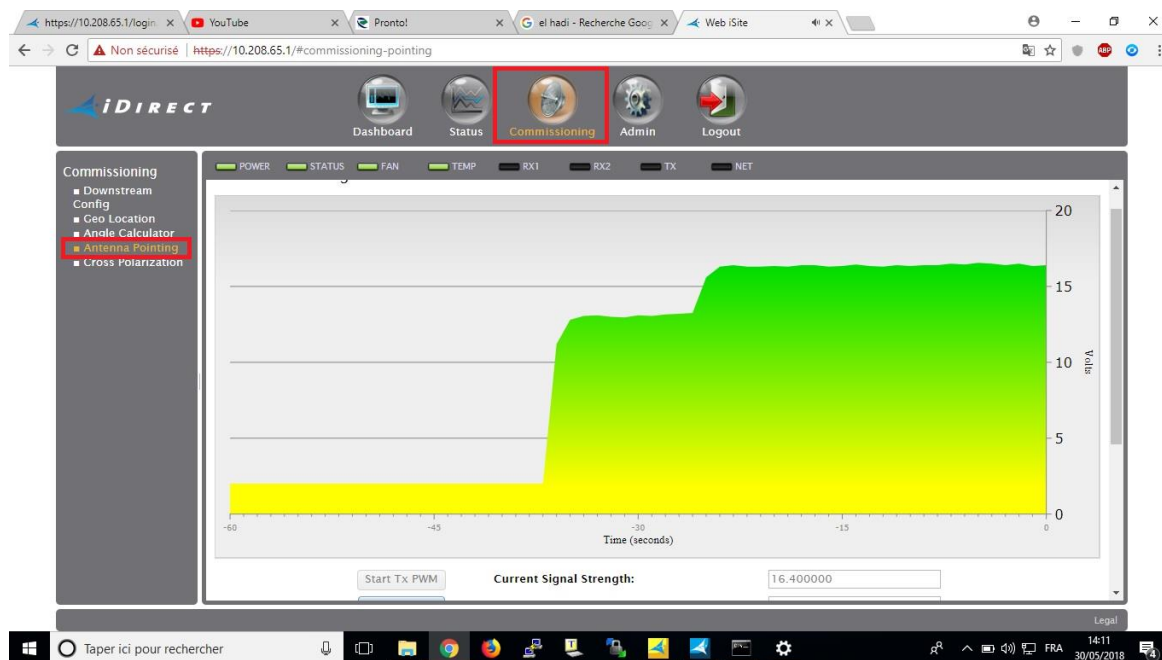


Figure 3.34 : visualisation du signal lors du pointage de l'antenne.

Ainsi, la configuration au niveau de la station est complétée. Nous pouvons passer au test de connectivité de notre réseau (entre le Hub et la station). Pour cela, il suffit d'ouvrir un navigateur sur le PC relié au routeur, et d'accéder à internet.

3.5 Partie 3 : établir la liaison entre les deux réseaux MPLS-TE et VSAT :

L'évolution de l'internet ne cesse de croître, ce qui a poussé les fournisseurs de services à adapter leurs réseaux, pour répondre aux besoins des clients, notamment les entreprises.

Il est prévu dans cette partie d'expliquer et de montrer pratiquement, comment réaliser la liaison entre les deux réseaux MPLS-TE et VSAT (installation et configuration). Mais malheureusement à cause de l'absence du matériel nécessaire, plus exactement, le routeur LER qui permet de faire cette liaison, nous n'avons pas pu réaliser cette partie. De ce fait, nous allons simplement expliquer comment établir la liaison entre ces deux réseaux d'une façon théorique.

MPLS-TE et VSAT sont des technologies de télécommunication très évoluées, chacune d'elles offre des avantages et des services avec une QoS optimale. En partant de là, les opérateurs ont pensé à jumeler ces deux technologies, pour avoir un réseau très optimisé (surtout en bande passante avec une très bonne QoS), dans le but d'offrir et de fournir un accès haut-débit à internet, même pour les sites distants, et de les interconnecter via des VPN, ainsi offrir des services tels que la VoIP, transmission de données...

L'établissement de la liaison entre MPLS-TE et VSAT est facile, il suffit de connecter un routeur LER du réseau MPLS-TE au switch tunnel du Hub iDirect. Le LER est configuré de sorte à supporter et gérer le trafic des deux réseaux, et pouvoir classer et attribuer des labels (étiquettes) aux paquets IP provenant du switch du Hub (réseau VSAT), et créer des LSP pour commuter ces paquets dans le réseau MPLS vers la destination. Le classement des paquets se fait par la création des classes équivalentes FEC, en fonction des adresses IP de destination et des adresses source. Tous les sites distants d'une entreprise peuvent être classés dans une même FCE, et avoir le même label pour s'adresser au site central de cette dernière.

En général, tous les paquets avec une même adresse destination sont classés dans une même FCE, et possèdent le même label.

La figure suivante illustre comment deux clients interconnectent leurs site terrestres (réseau MPLS-TE), avec les sites distants (réseau VSAT) en utilisant un satellite.

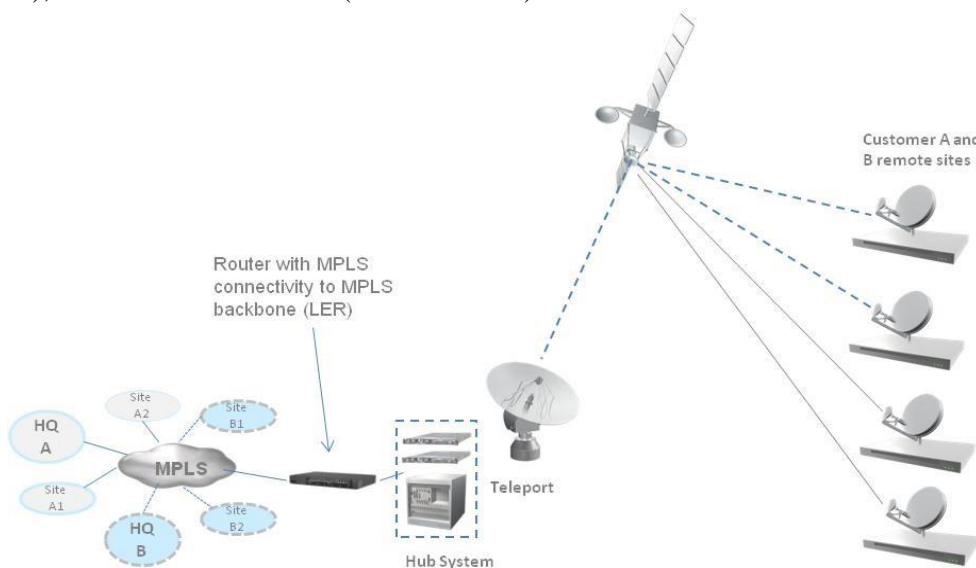


Figure 3.35 : intégrer les sites clients au backbone MPLS.

Les sites VSAT du client A partagent le même LSP avec le reste des sites terrestres. De même pour le client B, où tous ses sites que ce soit VSAT ou MPLS-TE (terrestre) partagent leur propre LSP, dans ce cas, les LSP sont des VPN/MPLS, ils sécurisent les transmissions entre les différents sites d'un même client. Dans le cas où les VSAT sites ont seulement besoin d'un accès à internet, ils utilisent seulement des LSP.

L'équipement le plus important dans cette topologie est le routeur LER, qui adapte le trafic iDirect au réseau MPLS-TE et inversement. En plus de sa fonctionnalité de distribuer des labels, il permet la suppression des labels des paquets provenant du réseau MPLS-TE, pour permettre le routage de ces derniers dans le réseau VSAT.

Associer les deux réseaux permet aux opérateurs d'apporter des améliorations et des avantages concurrentiels :

- L'intégration des sites VSAT distants d'un client avec le reste de ses sites dans un réseau MPLS-TE, et fournir un réseau de bout en bout à tous les sites distants d'un même client. La configuration d'un tel réseau permet d'utiliser des applications temps réel telles que la visioconférence, la VoIP...

- la correspondance de QoS iDirect aux LSP MPLS : la solution iDirect evolution fournit une très bonne QoS au niveau mondiale sur les systèmes satellitaires. La QoS est configurable dans le site central (Hub) pour chaque site distant, en prenant en considération des paramètres tels que : l'adresse IP destination, l'adresse IP source...La QoS peut être facilement intégrée aux LSP MPLS, pour cela, il suffit de configurer le LER (qui fait office de lien entre MPLS-TE et VSAT), pour classifier et insérer les bons labels sur les paquets, aussi pour fournir une QoS de bout en bout du réseau.

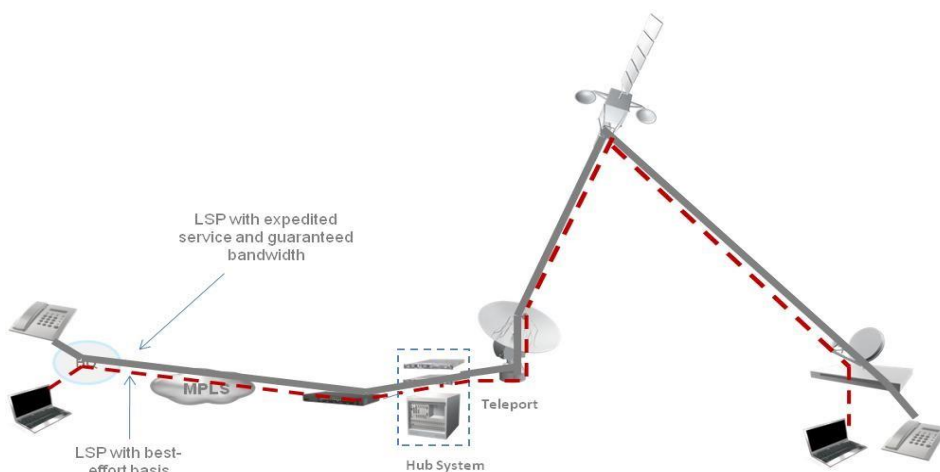


Figure 3.36 : correspondre la QoS iDirect au LSP MPLS-TE.

-Etendre la portée du réseau MPLS-TE à travers le monde grâce à la solution iDirect (réseau VSAT) : les fournisseurs de services permettent l'interconnexion des sites distants des clients grâce à la solution iDirect qui fournit une connectivité IP de classe affaire pour des entreprises dispersées à travers le monde, de plus elle fournit un réseau à un saut (l'information passe d'un site au satellite, et de ce dernier vers le Hub ou un autre site).

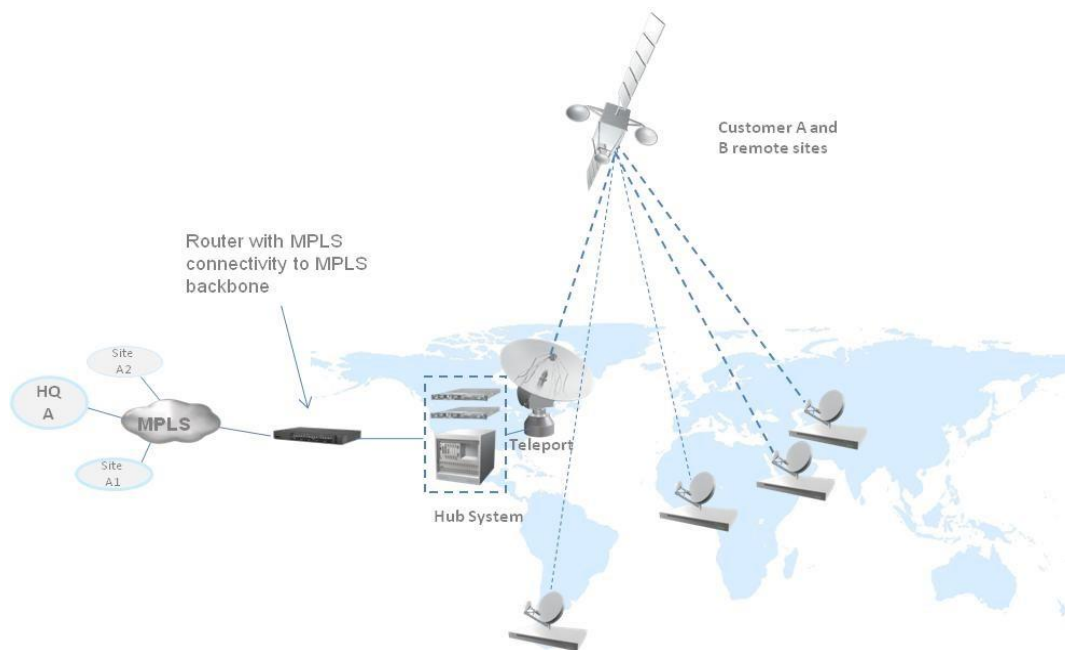


Figure 3.37 : étendre le cloud MPLS à l'échelle mondiale.

3.6 Discussion :

Dans ce chapitre, lors de la simulation et la configuration du réseau MPLS-TE, nous avons constaté que cette technologie est facile à mettre en place, et très efficace, elle permet d'optimiser au mieux les ressources d'un réseau.

En deuxième lieu, nous avons vu comment installer et configurer un réseau VSAT. Cette technologie représente la meilleure solution pour offrir et assurer une connectivité fiable, surtout dans des zones reculées non reliées au réseau terrestre, avec une bonne QoS et une meilleure gestion de la bande passante.

En dernier, nous avons voulu établir la liaison entre ces deux réseaux, dans le but d'étendre le réseau MPLS-TE grâce au réseau VSAT, pour pouvoir y accéder ou que l'on soit, et bénéficier des avantages et perspectives qu'offrent ces deux derniers.

Nous avons traité cette partie d'une manière théorique, vue que nous n'avons pas pu la réaliser pratiquement, puisque nous n'avons pas eu à notre disposition le LER qui permet d'établir la liaison, de plus, il aurait fallu arrêter momentanément le Hub pour établir une telle liaison, ce qui est impossible.

Conclusion

Conclusion :

L'évolution de la technologie, surtout dans le domaine des télécommunications, a fait que de nouveaux services multimédias apparaissent (VoIP, visio-conférence), ajouté à cela le nombre d'utilisateurs qui a considérablement augmenté, ce qui a surchargé les réseaux IP, et diminuer la QoS. Un paramètre très important dans l'offre de services modernes, notamment pour assurer des applications en temps réel.

Dans notre mémoire, notre travail est porté sur l'étude des réseaux MPLS et VSAT, qui représentent des solutions simples et efficaces, pour les opérateurs et les utilisateurs. Cette étude a été faite dans la perspective d'ATS (Algérie Télécom Satellite), celle de mettre à disposition de ses clients une nouvelle offre, qui répond à leurs exigences.

Premièrement, Nous avons réussi à simuler un réseau MPLS-TE sous l'émulateur GNS3, et nous avons créé et configuré deux tunnels, où nous avons pu activer le partage de charge entre ces deux derniers, puis, nous avons procédé au test de la liaison, en faisant un ping entre la source et la destination, et nous avons visualisé tout cela à l'aide de l'application Wireshark, cela nous a permis de visualiser tous les messages échangés pendant le ping, ce qui confirme le bon fonctionnement de notre réseau.

Deuxièmement, nous avons procédé à la création d'un réseau VSAT, en utilisant l'application iVantage, où nous avons configuré en premier lieu le routeur satellitaire virtuel, au niveau du Hub, puis, en deuxième lieu, nous sommes passé au pointage de l'antenne de la station VSAT, vers le satellite Algérien Alcomsat-1 qui est en phase de test, et nous avons pu établir une connexion internet.

Finalement, le but de ce travail qui est d'établir la liaison entre ces deux réseaux, pour permettre aux clients de ATS de bénéficier des meilleures offres, grâce à l'extension du réseau MPLS-TE via le réseau VSAT. Malheureusement, nous n'avons pas pu réaliser cela en réalité, en cause, l'absence du routeur LER grâce à qui nous pouvons établir la liaison, au final nous nous sommes contenté de le faire théoriquement, mais nous avons pu montrer les améliorations et les avantages d'une telle liaison.

Cette liaison MPLS-TE VSAT, permet un accès haut débit au réseau MPLS-TE, où que l'on soit grâce à l'extension VSAT, d'offrir une bonne QoS, des délais de transmissions très réduits, en plus de la confidentialité, fiabilité et mobilité assurée, ainsi que l'optimisation des ressources.

Le gros inconvénient reste le coût très élevé de la mise en place d'un tel système, de plus, il faut disposer d'une équipe d'ingénieurs hautement qualifiés, pour veiller au bon fonctionnement du système 24h/24, et intervenir rapidement en cas de panne ou sollicitation de la part d'un client.

Ce travail qui est le premier du genre, où nous avons montré que nous pouvons joindre ces deux réseaux, servira ATS dans ses prochains projets.

Pour conclure, cette expérience nous a permis de mettre en pratique nos connaissances acquises au sein de l'université, d'avoir un esprit d'équipe et de découvrir le milieu professionnel.

Résumé

Les télécommunications connaissent un vrai boom ces dernières années, et génèrent de plus en plus de gros volumes de données, notamment avec les applications en temps réel, ce qui affecte sérieusement les performances des réseaux IP (Internet Protocol), surtout ce qui concerne la QoS (Quality of Service), et les délais de transmission. De plus, les réseaux IP ne sont pas disponibles dans les zones isolées (montagnes, déserts, ...), ce qui pose des problèmes de connectivité.

De ce fait, la technologie MPLS (Multi-Protocol Label Switching) est vue comme la solution aux problèmes des réseaux IP. Elle utilise des labels (étiquettes) pour commuter les paquets IP au sein d'un réseau à la place des adresses. Elle offre une meilleure gestion des réseaux grâce à l'ingénierie de trafic (TE). Concernant les zones isolées, une nouvelle technologie appelée VSAT (Very Small Aperture Terminal) est utilisée, elle est composée d'un site central et de plusieurs sites distants, et utilise les satellites pour établir des communications. Ces deux technologies réunies offrent une bonne QoS, ce qui permet l'exploitation des applications temps réel (VoIP, visio-conférence...).

Notre étude est réalisée dans le but d'établir la liaison entre ces deux technologies, et est dans la perspective d'ATS (Algérie Télécom Satellite). Nous avons réussi à simuler un réseau MPLS-TE sous GNS3, et créer un réseau VSAT en utilisant le satellite Algérien Alcomsat-1, puis, nous sommes passés à l'établissement de la liaison entre ces deux technologies, dans le but de la mettre en place, et l'exploiter pour offrir aux clients des prestations haut de gamme, en ce qui concerne la bande passante allouée et la QoS.

Mots clés :

MPLS, IP (Internet Protocol), congestion, commutation, labels, Ingénierie de trafic (TE), QoS (Quality of service), routeurs, protocoles, délai, traitement, paquet IP, chemin LSP (Label Switching Path), VSAT, Hub, site distant, modulation, iDirect, DVB-S, transpondeur, antenne, transmission, fréquence.

Annexes

❖ Le protocole RSVP-TE :

Il utilise plusieurs messages tels que :

PathErr : indique une erreur dans le sens montant.

ResvErr : indique une erreur dans le sens descendant.

PathTear : supprimer le LSP-TE dans le sens descendant.

ResvTear : supprimer le LSP-TE dans le sens montant.

ResvConf : confirmer l'établissement d'un tunnel dans le sens descendant.

Srefresh : rafraîchir un ensemble de sessions RSVP-TE.

Hello (procédure optionnelle) : maintenir l'adjacence entre deux voisins RSVP-TE. Permet de détecter la perte d'un voisin.

• Suppression d'un chemin avec RSVP-TE :

Pour supprimer explicitement un chemin, un message **PathTear** est envoyé de la source vers la destination, ou bien par un message **ResvTear** de la destination vers la source.

A noter que contrairement au message **PathTear**, le message **ResvTear** ne supprime que les informations de réservation de ressources (les étiquettes MPLS et les bandes allouées sur les liens).

Pour supprimer complètement un chemin (LSP), le message **ResvTear** doit être suivi d'un message **PathTear** pour effacer totalement les états RSVP associés au chemin (LSP) détruit.

❖ Les modes des VPN/MPLS :

Il existe deux modes de VPN: le model « overlay » a été le premier modèle choisi par les VPN/MPLS, pour créer des LSP entre les sites d'une entreprise sur le réseau MPLS, ce modèle a plusieurs problèmes tels que la difficulté d'ajouter de nouveaux sites dans un VPN. « Peer to Peer » est le modèle qui est largement employé par les opérateurs, à cause de ses avantages tels que l'ajout de nouveaux sites, qui ne nécessite qu'un simple changement de la configuration des PE.

❖ Création d'un tunnel dynamique :

```

R1#conf terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#mpls traffic-eng tunnels
R1(config)#interface tunnel3
R1(config-if)#
*Jun 22 22:03:19.899: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel3, changed state to down
R1(config-if)#ip unnumbered Loopback0
R1(config-if)#tunnel mode mpls traffic-eng
R1(config-if)#tunnel destination 192.168.2.9
R1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
R1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng priority 3 3
R1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng bandwidth 100
R1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng path-option 1 dynamic
R1(config-if)#
*Jun 22 22:07:59.099: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel3, changed state to up
R1(config-if)#

```

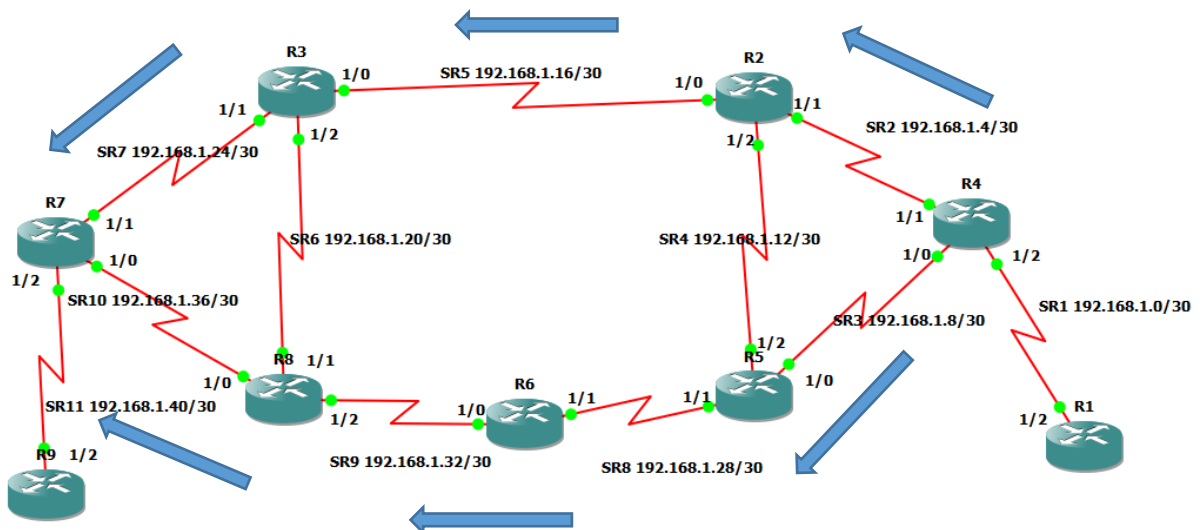
❖ Visualisation de la configuration des interfaces des deux tunnels :

```

R1#show ip interface br
Interface                IP-Address      OK? Method Status      Protocol
FastEthernet0/0         unassigned      YES NVRAM   administratively down down
Serial1/0                unassigned      YES NVRAM   administratively down down
Serial1/1                unassigned      YES NVRAM   administratively down down
Serial1/2                192.168.1.1     YES NVRAM   up          up
Serial1/3                unassigned      YES NVRAM   administratively down down
Serial1/4                unassigned      YES NVRAM   administratively down down
Serial1/5                unassigned      YES NVRAM   administratively down down
Serial1/6                unassigned      YES NVRAM   administratively down down
Serial1/7                unassigned      YES NVRAM   administratively down down
Loopback0               192.168.2.1     YES NVRAM   up          up
Tunnel1                 192.168.2.1     YES TFTP   up          up
Tunnel2                 192.168.2.1     YES TFTP   up          up

```

❖ Partage de charge entre deux tunnels :



❖ **Présentation de ATS (Algérie Télécom Satellite) :**

Algérie Télécom Satellite (ATS) étant un projet de filiale de l'opérateur des Télécommunications en Algérie, elle est spécialisée dans la Télécommunication par satellite. Elle compte un effectif de plus de 125 personnes expérimentées et motivées, d'un haut niveau de compétences techniques et managériales.

▪ **Stratégie :**

La stratégie d'ATS se résume en la mise en place des points suivants :

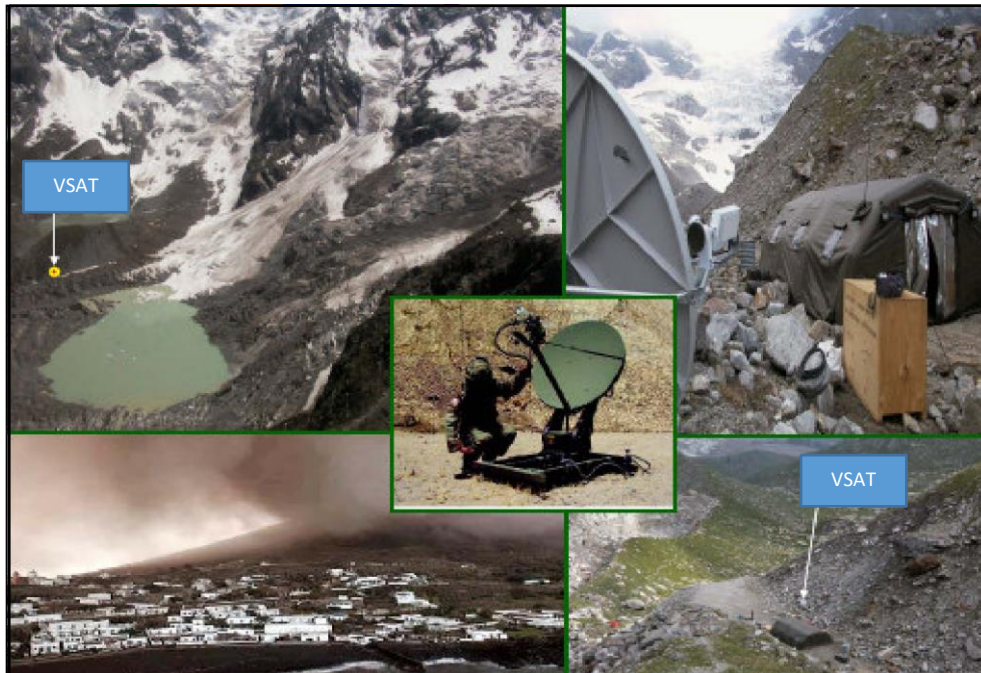
- Solution complète: Fixe ou Mobile :
 - Internet.
 - Réseau Privé par Satellite.
 - VPN.
 - VoIP.
 - Visioconférence...etc (Sous IP).
- Couverture globale par plusieurs Satellites Géostationnaires en Bande C, Ku, L :
 - L'Afrique, l'Asie, l'Europe et les Amériques.
- Meilleure qualité de service (QoS).
- Accessible et proches de notre clientèle :
 - Service Clientèle, Directions Régionales, Actel, Distributeurs et Partenaires.
- Compétitivité et innovation :
 - Formations.
 - Prix.
 - Disponibilité des produits.
 - Veille technologique et Business Development.

▪ **Les cas d'intervention du Satellite :**

Les principales interventions d'une solution satellitaire se voit généralement dans les cas suivant:

- Les endroits où les infrastructures télécoms sont inexistantes (désert, mer, montagnes...).
- Mettre des sites existants dans des pays différents dans un réseau privé (ambassades...).

- Utilisation des liaisons satellitaires comme des solutions de secours aux liaisons terrestres (banques, assurances...etc).
- Les sites mobiles (sociétés de forage, de services pétroliers...etc).



Des stations VSAT dans les montagnes.

▪ **Les solutions ATS :**

ATS dispose au jour d'aujourd'hui de plusieurs solutions satellitaires, mises au service de sa clientèle dont:

- Vsat (Very small aperture terminal).
- Domsat (Réseau domestique).
- Arabesat.
- GMPCS.

▪ **La couverture :**

ATS dispose de plusieurs couvertures satellitaires à travers lesquelles nous assurons une ouverture mondiale en bande C et Ku à notre clientèle:

- INTELSAT : Océan Atlantique/Océan Indien.
- ARABSAT : Pays Arabes.

- TELEGLOBE : Canada.
- PANAMSAT : Afrique/Europe.
- EUTELSAT : Afrique du nord/Europe.

▪ **La solution VSAT :**

Le réseau VSAT, du fait de sa couverture totale du territoire national, est une solution autonome et efficace, aussi bien pour les usagers des zones isolées du réseau public commuté, que pour l'implantation de réseaux privés (entreprises, banques, institutions de l'éducation, de la santé...etc).

▪ **Les services VSAT :**

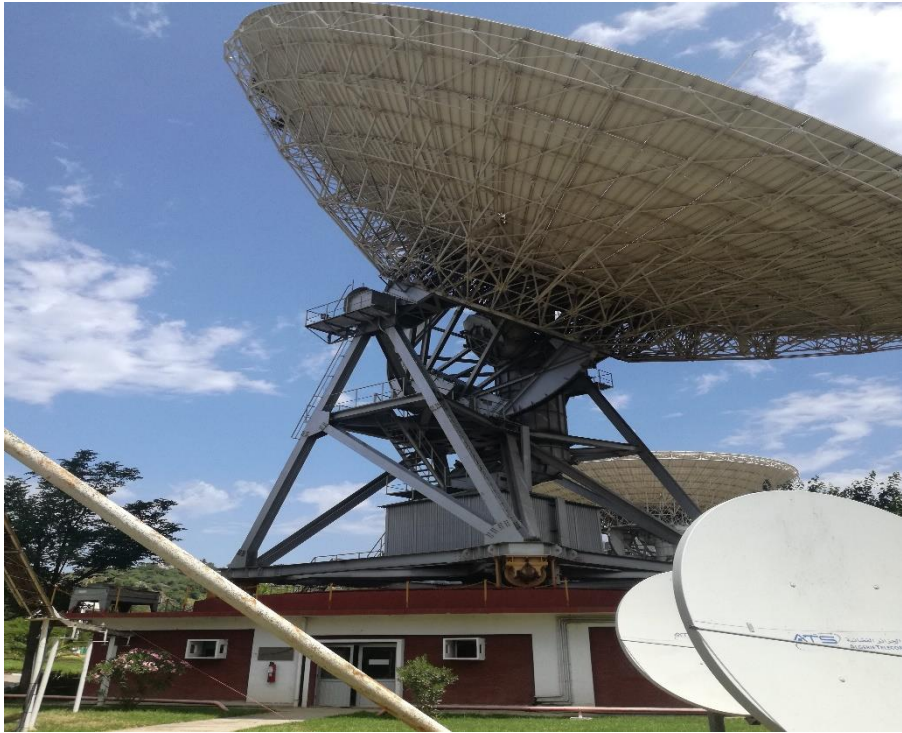
- Accès internet en mode Emission / Réception.
- Réseaux Entreprises de topologie étoile.

Cette solution permet de supporter les applications suivantes :

- Application Client /Serveur.
- Application mode Web.
- Messagerie.
- Accès Internet haut débit.
- Transfert de fichiers.
- Application TCP/IP.
- Réseau virtuel privé (VPN).
- Voix sur IP (VOIP).
- Multicasting et Broadcasting.

▪ **Les références :**

- Gouvernement.
- L'armée.
- Les banques.
- Les assurances.
- Sociétés pétrolières.
- Cybercafés... etc.



Le téléport de ATS.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] NIZAR, S. (2014) : Etude et optimisation d'un backbone IP/MPLS, mémoire de fin d'étude, P.91.
- [2] BAKKALI, S. (2015) : Gestion de la Qualité de Service de Bout en Bout dans les Réseaux Inter-domaines, thèse de doctorat, P.128.
- [3] YAZID SAIDI, M. (2008) : Méthodes de contrôle distribué du placement de LSP de secours pour la protection des communications unicast et multicast dans un réseau MPLS, thèse de doctorat, P.230.
- [4] D'ECHANSAUD, A. (2012) : Conception, modélisation et caractérisation de cellules de puissance innovantes en technologie MMIC pour des applications spatiales, Thèse de doctorat, PP.19-55.
- [5] CHARBONNIER, L. évaluation de la sécurité des réseaux privés virtuels sur MPLS, mémoire de fin d'étude, P.156, 2007.
- [6] CLAUDE, S. (2009) : réseaux & télécoms, DUNOD, Paris, PP.473-490.
- [7] BEN HAMOUDA, Z. (2010) : conception et optimisation robuste des réseaux de télécommunications, thèse de doctorat, P.137.
- [8] SASSATELLI, L. (2012-2013) : réseaux étendus et réseaux d'opérateurs, cours, P.464.
- [9] GERARD MARAL, Systèmes de télécommunications par satellite, cours, P.30.
- [10] AL-GOBI, M S R. (2010-2011) : Etude et Modélisation de la Transmission dans les Satellites Lasers, mémoire de fin d'étude, P.98.
- [11] JULIEN FASSON, M. (2004) : étude d'une architecture IP intégrant un lien satellite géostationnaire, thèse de doctorat, P.191.
- [12] GHEFIR, M E A. (2013) : planification, ingénierie des réseaux de nouvelle génération – NGN, mémoire de fin d'étude, P.123.
- [13] Mme. NOUACER R, et Mlle. ZEMAR F. (2016) : Implémentation de la technologie MPLS Traffic Engineering pour l'amélioration des Capacités des connexions IP du Groupe SONELGAZ, mémoire de fin d'étude, P.83.
- [14] FLEURY S, GIROD JM, Watanabe R, Les satellites et la technologie VSAT, rapport, P.20.

Webographie

[15]https://www.memoireonline.com/01/14/8567/m_Telecommunication-appliquee--l-operateur-Vodacom-Congo18.html.

[16]<https://www.memoireonline.com/03/11/4293/Mise-en-oeuvre-dun-coeur-de-reseau-IPMPLS.html>.

[17]<https://www.robertponge.com/telechargements/ebooks/telecom-5.pdf>.

[18] <https://d1n7iqsz6ob2ad.cloudfront.net/document/pdf/5693abe94dce5.pdf>.

[19]<http://idirect.net/>

[20]<http://franco92.unblog.fr/2010/04/06/la-technologie-vsats/>.

[21]http://www-igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2007/ykarkab_MPLS/mpls.html.

[22] <http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/marot/index.html>.

[23]<http://www.frameip.com/mpls/>.

[24]<https://lemagit.com>