

“Étude et mise en place de la qualité
de service sur les réseaux satellitaires
basés sur
la technologie iDirect”





MÉMOIRE DE MASTER

SPÉCIALITÉ : RÉSEAUX & TÉLÉCOMMUNICATIONS

Organisme d'accueil : Algérie Télécom Satellite (ATS)



Étude et mise en place de la qualité de service sur les réseaux satellitaires basés sur la technologie *iDirect*

Réalisé par :

Ghrieb Safa

Fodil Naima

Encadré par :

Dr. Berkat Zeyneb

M. Fettaka Riadh (ATS)

Référence PFE : RT6

Année universitaire : 2024-2025

Remerciements

Avant tout, nous rendons grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour nous avoir guidés et nous avoir accordé la force et la patience nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

Nous exprimons nos plus sincères remerciements à Dr. **Berkat Zeyneb**, notre encadrante académique, pour son accompagnement rigoureux, ses remarques pertinentes et sa bienveillance. Son implication constante a été d'un grand soutien dans l'élaboration de ce mémoire et dans notre progression personnelle et académique.

Nos remerciements vont aussi M. **Fettaka Riadh**, encadrant professionnel au sein d'**Algérie Télécom Satellite**, pour son accompagnement précieux tout au long de notre stage. Sa disponibilité, ses conseils techniques avisés ainsi que sa confiance ont largement contribué à la réussite de ce projet.

Nous remercions également l'ensemble du personnel d'**Algérie Télécom Satellite** pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité et leur soutien quotidien, qui ont grandement facilité notre intégration et enrichi notre expérience professionnelle.

Enfin, nous remercions toutes les personnes, enseignants, camarades, de près ou de loin, qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Avec toute ma gratitude, je rends grâce à Allah

Le Tout-Puissant, Le Sage, qui m'a guidée, soutenue et accordé la force d'aller jusqu'au bout de ce parcours. Rien n'aurait été possible sans Sa volonté.

ElhamdoulilAllah pour chaque pas, chaque souffle, chaque réussite et même chaque difficulté, car tout vient de Lui et pour Lui.

À ma très chère mère « Azzouz Hamida »

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurais te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

À mon très cher père « Ahmed »

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduise ma gratitude et mon affection sincère.

À mon très cher frère « Mohamed Saad »

Puisse Dieu t'accorder santé, bonheur, courage et surtout réussite. Que Dieu te bénisse de longue vie et de succès.

À ma famille

À ma grand-mère Rabiaa, mon grand-père Tahar, ainsi qu'à mes chères cousines Meriem, Asmaa, Zineb et Amina : merci pour votre soutien inébranlable, vos sacrifices et votre compréhension tout au long de ce chemin académique. Votre présence a été une véritable force.

À mes deux familles Fodil et Azzouz. Et mon meilleur oncle Ali, merci d'être à mes cotés .

À mes proches

Rahma, Wissem, Sarah, Ikram, ainsi Tata Amina et Hanaa pour votre présence constante, votre soutien et les moments de bonheur partagés ont été essentiels pour surmonter les défis et apprécier les réussites.

À ma chère binôme

Safa, merci pour cette collaboration exceptionnelle. Ta détermination, ton dévouement et ton soutien ont été précieux. Ce mémoire est le résultat de notre travail d'équipe. Merci d'avoir été un partenaire exemplaire et une source d'inspiration.

Dédicaces

« C'est dans les efforts que l'on trouve la satisfaction, non dans la réussite. »

— Gandhi

Au nom d'Allah, le Tout-Puissant, qui accorde la force dans les moments de faiblesse, la lumière dans l'obscurité, et la paix dans le cœur de ceux qui persévèrent.

Je dédie ce travail, avant tout, à moi-même, Pour chaque nuit blanche, chaque pas accompli malgré la fatigue.

Je le dédie également, avec un amour infini et une reconnaissance profonde, à ma famille :

- À mes chers parents, leurs prières silencieuses et leurs sacrifices constants.
- À mes sœurs, **SARRA** et **HADJER**, pour leur présence apaisante et leur soutien indéfectible.
- À mes frères, **ABD ERRAHIM** et **MOHAMED**, pour leurs encouragements.
- À **IBRAHIM**, mon neveu adoré, en espérant que ce travail, puisse un jour , t'encourager à poursuivre tes propres rêves.

À ma binôme **NAIMA** , pour sa patience, son engagement, et sa précieuse complicité tout au long de ce projet.

À mes amis, pour leurs mots réconfortants, leurs sourires, et leur soutien fidèle.

Et à toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont cru en moi, m'ont soutenue, écoutée ou simplement tendu la main au bon moment.

Ce mémoire est bien plus qu'un aboutissement académique. Il est le reflet de l'amour, de la patience, du soutien et de la lumière que j'ai reçus. Et pour cela, je vous le dédie de tout mon cœur.

Ghrieb safa

ملخص

يعرض هذا المشروع تطبيق جودة الخدمة (QoS) في الشبكات الساتلية باستخدام تقنية iDirect. يتناول مبادئ الاتصالات عبر الأقمار الصناعية، ثم يركز على إدارة حركة المرور وتحسين عرض النطاق عبر منصة iVantage. يصف الجزء التطبيقي تنفيذ جودة الخدمة في شبكة حقيقية باستخدام ملفات الخدمة ومجموعات النطاق لضمان أداء أفضل وتحديد أولويات التطبيقات الحساسة.

الكلمات المفتاحية

iDirect, QoS, المحطات الطرفية الصغيرة, (VSAT), GQoS, CIR, MIR, iBuilder, الجزائر للاتصالات الفضائية (ATS).

Résumé

Ce mémoire présente l'implémentation de la qualité de Service (QoS) dans les réseaux satellitaires utilisant la technologie iDirect. Après une introduction aux télécommunications par satellite et aux systèmes VSAT, l'étude se concentre sur la gestion du trafic et l'optimisation de la bande passante via la plateforme iVantage. La partie pratique décrit l'application de la QoS sur un réseau réel à travers les profils de services et les groupes de bande passante, afin d'améliorer la performance réseau et la priorisation des applications critiques.

Mots-clés

QoS, iDirect, VSAT, GQoS, CIR, MIR, iBuilder, Algérie Télécom Satellite (ATS).

Abstract

This thesis addresses the implementation of Quality of Service (QoS) in satellite networks using iDirect technology. It begins with satellite communication fundamentals, then focuses on traffic management and bandwidth optimization via the iVantage platform. The practical part details QoS deployment on a real network using service profiles and bandwidth groups to enhance performance and prioritize critical applications.

Keywords

QoS, iDirect, VSAT, GQoS, CIR, MIR, iBuilder, Algeria Telecom Satellite (ATS).

Table des matières

Liste Des Acronymes et Abréviations	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	v
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Chapitre 1 : Télécommunication Par Satellite : Principes et Fonctionnement	4
1.1 Introduction	4
1.2 Notions sur la télécommunication par satellite	4
1.2.1 Définition du satellite	4
1.2.2 Types de satellites	4
1.2.3 Les orbites des satellites	5
1.2.4 Les bandes de fréquence utilisées dans la télécommunication par satellite	6
1.2.5 Services de Télécommunication par Satellite	7
1.2.6 Paramètres clés en télécommunication par satellite	8
1.3 Architecture et fonctionnement d'un système de télécommunication par satellite	9
1.3.1 Secteur Spatial	10
1.3.2 Secteur Terrestre (VSAT)	11
1.3.3 Liaisons Uplink et Downlink	12
1.4 Topologies des réseaux satellitaires	14
1.5 Conclusion	15
Chapitre 2 : Indirect : Technologie de connectivité VSAT	17
2.1 Introduction	17
2.2 Technologie indirect dans les réseaux VSAT	17
2.3 Hub Indirect	18
2.3.1 Châssis du hub	19
2.3.2 Cartes de ligne (Line Cards)	20
2.3.3 Serveur NMS (Network Management system)	21
2.3.4 Serveur PP(Protocol Processor)	22
2.3.5 Routeur upstream	22

2.3.6	Commutateurs réseau (Switches)	23
2.4	Normes, protocoles et Parcours d'un paquet IP avec idirect	24
2.4.1	Protocoles de communication	24
2.4.2	Normes et techniques de transmission satellitaire	24
2.4.3	Méthodes d'accès au canal et modulations	25
2.5	Cycle de vie d'un paquet IP via la solution iDirect	26
2.5.1	Étapes de transmission d'un paquet IP	26
2.6	Avantage : plateforme de gestion des réseaux satellitaires	28
2.6.1	Composants clés	28
2.7	Conclusion	29

Chapitre 3 : Qualité de Service (QoS) dans les réseaux satellitaires basés sur la technologie iDirect 31

3.1	Introduction	31
3.2	Principes et défis de la QoS dans un environnement VSAT	31
3.2.1	Définition de la QoS	31
3.2.2	Défis Majeurs	32
3.3	Caractérisation et gestion du trafic réseau	32
3.3.1	Caractérisation du trafic réseau	32
3.3.2	Typologie des flux réseau en fonction de leurs exigences QoS	32
3.4	Mécanismes standards de la Qualité de Service (QoS)	33
3.4.1	Modèles de la QoS et niveaux de service associés	33
3.4.2	Étapes de mise en oeuvre de la QoS	34
3.5	Fondamentaux du GQoS iDirect (Group QoS)	38
3.5.1	Introduction au GQoS (Group Quality of Service)	38
3.5.2	Bande passante et allocation	38
3.5.3	Committed Information Rate (CIR)	39
3.5.4	Maximum Information Rate (MIR)	40
3.5.5	Free Bandwidth	40
3.5.6	Profils de Filtrage	40
3.5.7	Groupes de services d'applications (Application Service Groups)	41
3.5.8	Profils de services applicatifs (Service Profiles)	42
3.5.9	Surveillance et optimisation	42
3.5.10	Groupe de services distants (Remote Services Groups)	43
3.5.11	Profils distants (Remote Profiles)	43
3.6	Conclusion	45

Chapitre 4 : Mise en Place de la Qualité de Service (QoS) avec la Technologie iDirect 47

4.1	Introduction	47
4.2	Objectif d'étude	47

4.3	Contexte d'étude	47
4.3.1	Topologie de Groupe QoS	48
4.3.2	Classification du trafic et choix de la QoS par application	51
4.4	Infrastructure du réseau	53
4.4.1	Topologie du réseau	53
4.4.2	Plan d'Adressage IP du Réseau	54
4.4.3	Équipements et logiciels utilisés	55
4.5	Configuration de la QoS	56
4.5.1	Création du Bandwidth Group	56
4.5.2	Création des Remote Service Group	57
4.5.3	Définition des Application Profiles	58
4.5.4	Création du Remote Profile : Remote-DG	62
4.5.5	Configuration du modem VSAT sur iBuilder	63
4.5.6	Association des Application Profiles au remote profile	64
4.5.7	Application finale de la QoS sur le modem	65
4.6	Tests et Validation	65
4.6.1	Vérification Initiale de la Connectivité	65
4.7	Étude des Cas de Test (d'après les résultats d'iMonitor)	67
4.7.1	Cas de Test 1 : VoIP – Avant et Après QoS	67
4.7.2	Cas de Test 2 : Applications critiques – Avant et Après QoS	68
4.7.3	Cas de Test 3 : VoIP + FTP – Avant et Après QoS	69
4.8	Conclusion	70
	CONCLUSION GÉNÉRALE	71

Liste Des Acronymes et Abréviations

Abréviations	Significations
GEO	Geostationary Earth Orbit
MEO	Medium Earth Orbit
LEO	Low Earth Orbit
PIRE	Puissance isotrope rayonnée équivalente
SFS	Service fixe par satellite
SMS	Service mobile par satellite
QoS	Quality of Service
IF	Intermediate Frequency
MAC	Media Access Control
IP	Internet Protocol
VSAT	Very Small Aperture Terminal
IDU	Indoor Unit
ODU	Outdoor Unit
BUC	Block Upconverter
LNB	Low Noise Block
NMS	Network Management System
PP	Protocol Processor
HDLC	High-Level Data Link Control
VLAN	Virtual Local Area Network
TDM	Time Division Multiplexing
SCPC	Single Channel Per Carrier
D-TDMA	Deterministic Time Division Multiple Access
DVB-S2	Digital Video Broadcasting - Satellite 2
DVB-S2X	Digital Video Broadcasting - Satellite 2 Extension
DVB-RCS	Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite
DVB-RCS2	Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite version 2
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
8-PSK	8 Phase Shift Keying
16-APSK	16 Amplitude and Phase Shift Keying
32-APSK	32 Amplitude and Phase Shift Keying
ACM	Adaptive Coding and Modulation
Beam Hopping	Allocation dynamique des faisceaux satellites
iVantage	Système de gestion de réseau iDirect

BTP	Burst Time Plan
GQoS	Group Quality of Service
CIR	Committed Information Rate
MIR	Maximum Information Rate
RTP	Real-time Transport Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
SNMP	Simple Network Management Protocol
MPLS	Multiprotocol Label Switching
VoIP	Voice over IP
ICMP	Internet Control Message Protocol
PPP	Point-to-Point Protocol
BG	Bandwidth Group
ASP	Application Service Profile
RSP	Remote Service Profile
RG	Remote Group
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector

Table des figures

1.1	Types d'orbites satellites	6
1.2	La chaîne de télécommunication par satellite	9
1.3	La structure du satellite	10
1.4	Station VSAT	11
1.5	Liaison Montante	12
1.6	Liaison Descendante	13
1.7	Topologie étoilée	14
1.8	Topologie maillée	15
2.1	Architecture d'un réseaux VSAT idirect	18
2.2	HUB IDIRECT	18
2.3	châssis série 15152	20
2.4	châssis série 12102	20
2.5	Cartes de ligne	21
2.6	Network Management system (NMS)	21
2.7	Protocol Processor (PP)	22
2.8	Upstream Router	23
2.9	Network Switch	23
2.10	Signal D-TDMA en liaison montante	25
2.11	Parcours d'un paquet IP dans un réseau iDirect	26
2.12	Interface iBuilder	28
2.13	Interface iMonitor	29
3.1	Impact de la QoS sur la gestion du trafic réseau	31
3.2	Modèles de Qos	33
3.3	FIFO(First In, First Out)	35
3.4	WFQ (Weighted Fair Queuing)	35
3.5	CBWFQ (class Based Weighted Fair Queuing)	36
3.6	LLQ(Low Latency Queuing)	36
3.7	Traffic Shaping policing	37
3.8	Architecture en arbre du GQoS	39
3.9	Architecture en arbre intégrant les services d'applications.	42
3.10	Remote Services Groupe.	43
3.11	Hiérarchie d'un profil distant.	44
4.1	Architecture GQoS Upstream	49

4.2	Architecture GQoS Downstream	50
4.3	Classification des applications-modèles à 4 classes.	51
4.4	Architecture du réseau	53
4.5	Création du Bandwidth Group (ATS) définissant les taux CIR et MIR pour la direction générale.	56
4.6	Création du groupe de service distant GTM , regroupant des remotes avec des besoins similaires.	57
4.7	Création du groupe de service distant GTSE , destiné à d'autres catégories de sites.	57
4.8	Définition de l'Application Profile pour les communications IP Phone.	58
4.9	Service Level associé au profil VoIP, lui attribuant une priorité élevée.	58
4.10	Profil Vidéoconférence avec matching basé sur les ports UDP utilisés par les applications de conférence.	59
4.11	Service Level de la Vidéoconférence, avec une priorité élevée mais inférieure à celle de la VoIP.	59
4.12	Application Profile pour l'ERP (Sage), basé sur l'adresse IP du serveur et le port d'application.	60
4.13	Niveau de service attribué à l'ERP : priorité moyenne, garantissant stabilité et performance.	60
4.14	Profil pour les transferts de fichiers, avec une priorité basse afin de ne pas perturber les services critiques.	61
4.15	Service Level des transferts : file d'attente de type Best Effort.	61
4.16	Création du Remote Profile Remote-DG pour le flux descendant.	62
4.17	Configuration IP du modem, incluant l'adresse IP, le masque, et la passerelle.	63
4.18	Géolocalisation précise du site distant pour le calcul automatique des paramètres satellite.	63
4.19	Paramètres du terminal VSAT, incluant le type de BUC et de LNB utilisés.	64
4.20	Insertion des Application Profiles dans le Remote Profile Remote-DG	64
4.21	Application de la configuration QoS complète sur le modem de la direction générale.	65
4.22	Paramètres réseau du poste utilisateur	66
4.23	Adresse IP attribuée au téléphone IP	66
4.24	Test de connectivité ICMP vers le modem iDirect	66
4.25	Évolution du score MOS VoIP – sans et avec QoS	67
4.26	Comparaison des performances des applications critiques avant et après application de la QoS	68
4.27	Comparaison des performances combinées VoIP + FTP avec et sans QoS	69

Liste des tableaux

1.1	Bandes de fréquences et longueurs d'onde applications	7
2.1	Principaux protocoles utilisés dans les réseaux iDirect	24
4.1	Plan d'adressage IP du réseau	54
4.2	Comparaison des performances VoIP avec et sans QoS	67
4.3	Comparaison des performances applicatives avec et sans QoS	68
4.4	Test combiné VoIP + FTP en cas de congestion – sans et avec QoS	69

Introduction Générale

Les réseaux satellitaires occupent une place centrale dans les télécommunications modernes. Grâce à leur large couverture, ils permettent d'assurer une connectivité fiable dans les zones isolées ou mal desservies par les infrastructures terrestres. Ils sont utilisés dans plusieurs domaines essentiels tels que la diffusion télévisuelle, l'accès à Internet, la téléphonie IP ou encore les services d'urgence.

Cependant, ces réseaux présentent certaines contraintes techniques : une latence élevée, une bande passante partagée et une gestion complexe du trafic. Ces limitations imposent la mise en place de mécanismes de **gestion de la qualité de service (QoS)** afin de garantir des performances acceptables, notamment pour les applications sensibles au délai ou à la perte de paquets.

Ce mémoire porte sur la mise en œuvre de la QoS dans un réseau satellitaire reposant sur la technologie **iDirect**. L'objectif est d'optimiser les performances des services déployés à travers une configuration adaptée de la QoS.

Les objectifs principaux de ce travail sont :

- Étudier le fonctionnement des réseaux VSAT basés sur la technologie iDirect et leurs principaux équipements ;
- Élaborer une politique de QoS en exploitant les outils proposés par la plateforme iDirect (iBuilder, Application Profiles, Bandwidth Groups, etc.) ;
- Déployer cette configuration dans un environnement réel (site distant DG) et évaluer son efficacité à travers des tests concrets.

Le problème fondamental que nous abordons dans ce mémoire est le suivant :

Comment assurer une gestion efficace de la qualité de service dans un réseau VSAT, en utilisant la plateforme iDirect ?

Méthodologie adoptée :

1. Analyse des concepts fondamentaux de la QoS et de leur application aux réseaux satellitaires ;
2. Étude de l'architecture technique des réseaux iDirect et des outils qu'ils offrent ;
3. Conception d'une configuration QoS adaptée aux besoins du site distant ;
4. Implémentation, tests comparatifs et analyse des résultats.

Ce mémoire s'organise comme suit :

- **Chapitre 1 :** Présentation générale des réseaux satellitaires et de la technologie VSAT, avec un aperçu des architectures et caractéristiques techniques ;
- **Chapitre 2 :** Étude de l'architecture iDirect, incluant les composants du hub, les modems distants et la plateforme iVantage ;
- **Chapitre 3 :** Description des mécanismes de QoS, avec un accent sur les modèles de classification de trafic, les méthodes de file d'attente et le Group QoS (GQoS) propre à iDirect ;
- **Chapitre 4 :** Mise en œuvre de la QoS dans un environnement réel, configuration complète, tests pratiques et interprétation des résultats.

La conclusion générale viendra clore ce mémoire en résumant les principaux résultats obtenus, les limites rencontrées et les perspectives d'amélioration.

Présentation de l'entreprise d'accueil : Algérie Télécom Satellite (ATS)

Algérie Télécom Satellite (ATS) est une entreprise publique spécialisée dans les télécommunications par satellite. Elle propose des services de connectivité fixes (VSAT) et mobiles (GMPCS) à l'échelle nationale.

Disposant de plusieurs téléports, d'un personnel qualifié et d'une infrastructure moderne, ATS détient deux licences d'exploitation ainsi qu'une autorisation pour les services de géolocalisation. Elle est également Point de Service d'Activation (PSA) pour les services INMAR-SAT.

Avec ses directions régionales et ses antennes techniques, ATS accompagne les institutions et les entreprises dans leurs projets de connectivité, même dans les zones les plus reculées du pays.

CHAPITRE 1

Télécommunication Par Satellite : Principes et Fonctionnement



1.1 Introduction

La télécommunication par satellite constitue un pilier essentiel des communications contemporaines. Elle permet d'assurer la connectivité de régions éloignées ou insuffisamment desservies par les infrastructures terrestres, en offrant des services variés tels que la télévision, l'Internet, la radiodiffusion ou encore les communications militaires.

L'idée d'utiliser des satellites pour les communications a été formulée dès 1945 par l'écrivain et scientifique britannique Arthur C. Clarke, qui proposa l'emploi de satellites géostationnaires. Cette vision devint réalité avec le lancement du satellite *Early Bird* (Intelsat I) en 1965, marquant la première transmission de données à travers l'Atlantique. Depuis, la technologie satellitaire n'a cessé d'évoluer, permettant des communications toujours plus rapides, fiables et globalisées.[1]

Afin de mieux comprendre le rôle et le fonctionnement des télécommunications par satellite, ce chapitre présente les notions fondamentales associées à cette technologie. Il aborde les types de satellites, les orbites utilisées, les bandes de fréquences, les principaux services rendus par les satellites ainsi que les paramètres techniques essentiels qui influencent les performances d'un lien satellite la chaîne de télécommunications spatial, les différentes topologies.

1.2 Notions sur la télécommunication par satellite

1.2.1 Définition du satellite

Un satellite est un objet artificiel mis en orbite autour d'une planète ou d'un corps céleste. Les satellites artificiels sont élaborés dans le but d'exécuter diverses missions, telles que l'observation de la Terre, la facilitation des communications, l'assistance à la navigation, l'étude de l'espace ou encore le soutien à la recherche scientifique. En orbite autour de leur corps céleste de référence, ils jouent le rôle d'outils multifonctionnels, capables de rassembler des données, de faire passer des messages ou d'explorer des milieux éloignés.[2]

1.2.2 Types de satellites

- **Satellites de télécommunication** : fonctionnent comme des relais pour le transfert de signaux. Ils sont souvent positionnés en orbite géo (couverture constante) ou en orbite basse (services plus rapides). Ils permettent de regarder la télé, de passer des appels par satellite et d'accéder à Internet, même dans des zones très isolées.
- **Satellites de navigation** : fournissent des données de positionnement précises (GPS, Galileo, GLONASS). Indispensables pour la navigation automobile, maritime, aérienne et les applications de géolocalisation sur smartphones et objets connectés.

- **Satellites d'observation de la terre** : utilisés pour collecter des données environnementales et météorologiques. Ils surveillent les ressources naturelles, les catastrophes, les océans, les forêts et les zones urbaines grâce à des capteurs optiques et radar.
- **Satellites scientifiques et militaires** : servent à la recherche spatiale, à l'étude des phénomènes naturels et aux missions de défense. Ils assurent la surveillance, le renseignement et le soutien aux opérations militaires.[3]

1.2.3 Les orbites des satellites

Les satellites suivent des trajectoires appelées orbites, décrites par les lois de Kepler. Celles-ci indiquent que les orbites sont elliptiques, avec la Terre située à l'un des foyers, et que la vitesse du satellite varie selon sa position : plus rapide au périégée (proche de la Terre) et plus lente à l'apogée (éloignée).

Le choix de l'orbite dépend des objectifs de la mission. En télécommunication, on distingue principalement trois types :

1. Orbite géostationnaire (GEO)

Placée à environ 36 000 km au-dessus de l'équateur, permet au satellite de rester fixe par rapport à un point sur Terre. Cette orbite offre une couverture continue et est adaptée à :

- **Télécommunications** : télévision, radio, téléphonie.
- **Météorologie** : observation climatique constante.
- **Observation de la terre** : surveillance continue d'une zone.

2. Orbites moyennes (MEO)

Situées entre 2 000 km et 35 000 km, ces orbites offrent un compromis entre couverture et latence. Elles sont principalement utilisées pour :

- **Systèmes de navigation** : Les systèmes de positionnement (GPS, Galileo, GLONASS).
- **Services de communication** : Elles offrent une portée étendue tout en assurant un délai de transmission acceptable.

3. Orbites basses (LEO)

Allant de 160 à 2 000 km d'altitude, ces orbites permettent une faible latence et une grande réactivité. Elles sont adaptées à :

- **Communications en temps réel** : appels, visioconférences.

Internet haut débit : notamment en zones rurales.

- **Observation de la terre** : imagerie haute résolution.[4]

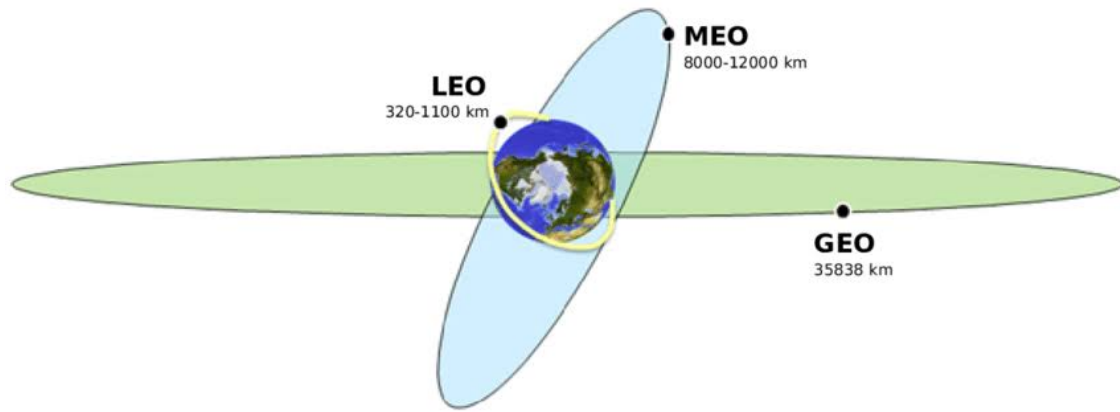


FIG. 1.1: Types d'orbites satellites – *Source* : [5]

1.2.4 Les bandes de fréquence utilisées dans la télécommunication par satellite

Les satellites communiquent via des ondes hertziennes à travers différentes liaisons : montantes (terre vers satellite), descendantes (satellite vers terre), inter-satellites, ainsi que des liaisons de télémessure et de télécommande. Ces échanges utilisent des bandes de fréquences spécifiques, attribuées selon le type de service et la nature de la mission.

1. Bandes de fréquence principales

- ★ **Bande C (4–8 GHz)** : bonne résistance aux intempéries. Utilisée pour les télécommunications longue distance, la télévision et la transmission de données.
- ★ **Bande Ku (12–18 GHz)** : très utilisée pour la télévision par satellite et Internet haut débit. Fréquences plus élevées que la bande C, avec de meilleurs débits.
- ★ **Bande Ka (26,5–40 GHz)** : permet des débits très élevés. Utilisée pour Internet haut débit, services cloud, mais sensible aux conditions météo.[6]

2. Autres bandes

Bande	Fréquence (GHz)	Longueur d'onde	Applications principales
L	1 – 2	30 – 15 cm	Navigation, téléphonie mobile.
S	2 – 4	15 – 7,5 cm	Téléphonie mobile, radar...
X	8 – 12	3,75 – 2,5 cm	Communications militaires...
K	18 – 26,5	16,6 – 11,3 mm	Scientifique, expérimentation
Q	33 – 50	9,1 – 6 mm	Radar haute résolution...
U	40 – 60	7,5 – 5 mm	Haut débit, liaisons inter-satellites
V	50 – 75	6 – 4 mm	Recherche, communications point à point
E	50 – 90	6 – 3,3 mm	Recherche, essais radar
W	75 – 110	4 – 2,7 mm	expérimentations
D	110 – 170	2,7 – 1,8 mm	Recherche avancée...

TAB. 1.1: Bandes de fréquences et longueurs d'onde applications – *Source* : [6]

1.2.5 Services de Télécommunication par Satellite

L'Union internationale des télécommunications définit la télécommunication comme toute transmission de signes, signaux, écrits, images, sons ou informations par divers moyens, y compris par satellite. Ces transmissions peuvent être effectuées via des services fixes ou mobiles.

1. **Service fixe par satellite (SFS)** : Ce service assure les radiocommunications entre stations terriennes via un ou plusieurs satellites. Les stations spatiales, équipées de répéteurs et d'antennes, assurent ces liaisons. Aujourd'hui, la communication se fait généralement via un seul satellite, mais des liaisons multisatellites sont envisagées. Le SFS prend aussi en charge les connexions vers d'autres services spatiaux (radiodiffusion, service mobile par satellite). Il permet la transmission de divers types de signaux : téléphonie, fax, données, vidéo.[7]
2. **Service mobile par satellite (SMS)** : Ce service concerne la radiocommunication entre des stations terriennes mobiles et des stations spatiales, ou entre stations terriennes mobiles via des stations spatiales. Il inclut des applications maritimes, aéronautiques et terrestres, et peut impliquer des terminaux très petits ou portables.[7]

1.2.6 Paramètres clés en télécommunication par satellite

1. Latence

La latence représente le délai entre l'envoi et la réception d'un signal, exprimé en millisecondes. Elle dépend de la distance parcourue, des équipements intermédiaires et des protocoles utilisés. Dans les communications satellitaires, notamment avec les satellites géostationnaires, elle peut atteindre environ 650 ms, contre 40 ms pour des réseaux terrestres comme l'ADSL. Cette latence élevée peut affecter les applications sensibles au temps de réponse (visioconférence, jeux en ligne).[\[8\]](#)

2. PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente)

La PIRE indique la puissance qu'une antenne isotrope devrait émettre pour égaler le champ généré par une antenne réelle dans une direction donnée. Exprimée en dbw, elle tient compte du gain de l'antenne et des pertes dans le système. Elle se calcule par :

$$\text{PIRE} = P_t + G_t - L \quad \text{[9]}$$

avec :

- P_t : puissance de l'émetteur (dBm)
- G_t : gain de l'antenne (dBi)
- L : pertes du système (dB).

La PIRE est essentielle pour assurer la portée et la fiabilité des liaisons satellitaires.[\[9\]](#)

3. Zone de Couverture

La zone de couverture désigne l'étendue géographique où un signal émis par un satellite de télécommunication peut être capté de manière optimale. Elle dépend de plusieurs facteurs, tels que la puissance d'émission, le gain de l'antenne et l'atténuation atmosphérique. [\[10\]](#)

Il existe une répartition géographique en 3 régions :

- **La région 1:** couvre l'Europe et l'Afrique, le Moyen-Orient et également tous les territoires russes d'Asie ainsi que les républiques frontalières de ces territoires.
- **La région 2:** couvre les Amériques.
- **La région 3:** couvre l'Asie et l'Océanie, sauf la partie de l'Asie incluse dans la région 1. [\[11\]](#)

4. Gigue

La gigue désigne les variations temporelles aléatoires du retard de transmission d'un signal numérique. Elle résulte de fluctuations dans la synchronisation des paquets de données, pouvant provoquer des erreurs de transmission et affecter la qualité du service (QoS). Dans les réseaux de télécommunications, la gestion de la gigue est essentielle, notamment pour les applications sensibles au temps réel comme la voix sur IP (VoIP) et la visioconférence. [\[12\]](#)

1.3 Architecture et fonctionnement d'un système de télécommunication par satellite

Les réseaux de télécommunication par satellite constituent une infrastructure essentielle pour la connectivité moderne, permettant la transmission de données à travers de vastes distances et dans des environnements variés. Ces réseaux sont conçus pour surmonter les limitations des infrastructures terrestres, offrant des solutions de communication dans des zones éloignées ou mal desservies. Ils jouent un rôle crucial dans de nombreux secteurs, allant des services de téléphonie et d'internet aux applications militaires et de secours.

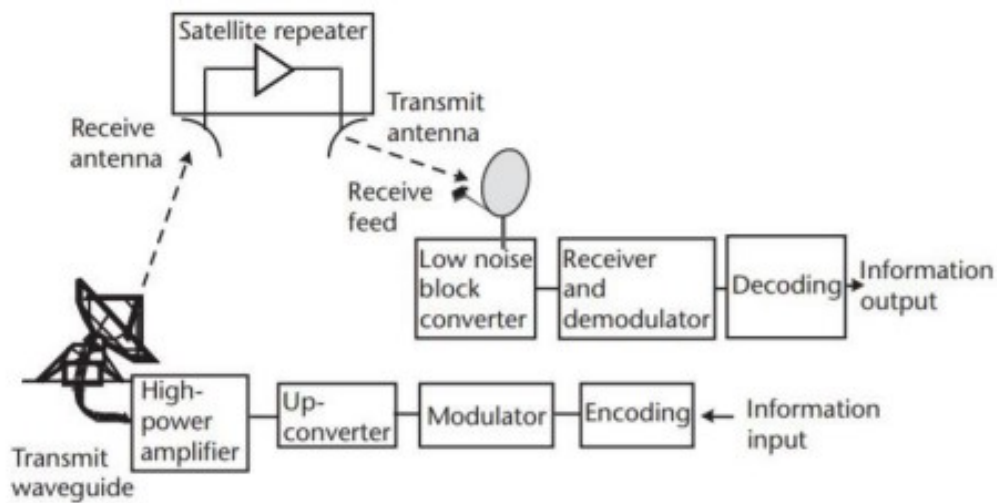


FIG. 1.2: La chaîne de télécommunication par satellite – Source : [14]

La chaîne de communication d'un réseau satellitaire se divise en deux parties principales : le secteur spatial et le secteur terrestre. Le secteur spatial englobe les satellites qui orbitent autour de la Terre, servant de relais pour les signaux de communication. En parallèle, le secteur terrestre comprend les stations qui émettent et reçoivent ces signaux, assurant ainsi la connectivité entre les utilisateurs finaux et le réseau.

Un réseau satellitaire typique se compose de deux ou plusieurs stations terrestres VSAT, qui interagissent avec un ou plusieurs satellites via des liaisons de communication, appelées uplink et downlink. Ces liaisons permettent la transmission bidirectionnelle des données, garantissant que les informations peuvent circuler efficacement entre les utilisateurs et le réseau. Grâce à cette architecture, les réseaux de télécommunication par satellite offrent une flexibilité et une portée inégalées, répondant aux besoins croissants de communication dans un monde de plus en plus interconnecté.[13]

1.3.1 Secteur Spatial

Le secteur spatial fait référence à tous les éléments situés dans l'espace, principalement les satellites eux-mêmes. Les satellites de télécommunication reçoivent les signaux des stations terriennes, les traitent et les renvoient à d'autres stations au sol ou à d'autres satellites. Ils sont généralement positionnés sur des orbites géostationnaires, permettant une couverture continue sur de vastes zones géographiques. [13]

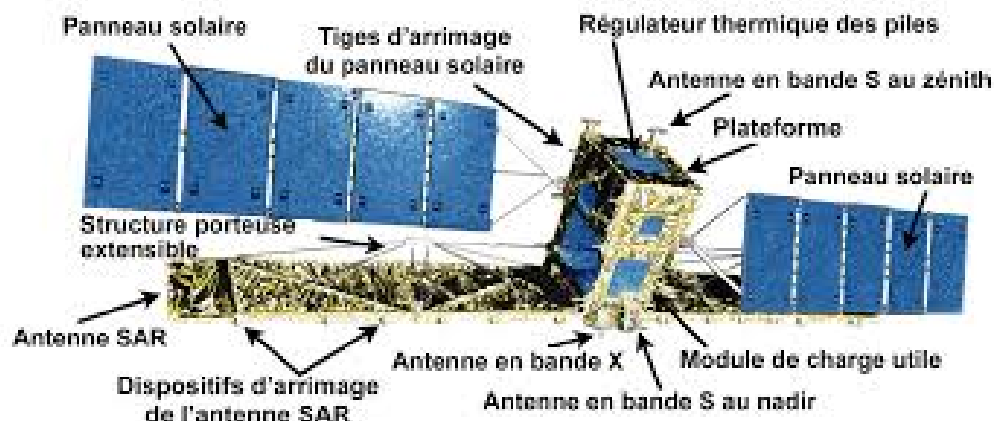


FIG. 1.3: La structure du satellite – Source : [16]

Principaux composants d'un satellite de télécommunication

Le satellite de télécommunication est un système complexe qui se divise principalement en deux grandes parties : **la charge utile** et **la plateforme**. Chacune de ces sections est essentielle pour assurer la mission de communication et le fonctionnement optimal du satellite dans l'environnement spatial.

1. **La Charge utile (Payload)** : Elle représente l'ensemble des équipements chargés d'assurer la mission principale du satellite : la transmission des signaux. Elle comprend :
 - **Le transpondeur** : constitue l'unité fondamentale de traitement du signal dans un satellite. Il reçoit le signal provenant de la Terre, le convertit en une fréquence différente pour éviter les interférences, l'amplifie, puis le réémet vers une autre station terrestre. Chaque transpondeur opère sur une bande de fréquence dédiée et permet de transmettre plusieurs canaux de communication simultanément.
 - **Les antennes** : Assurent l'envoi et la réception des signaux. Elles peuvent être fixes ou orientables, selon la couverture visée, et sont conçues pour optimiser le gain et la directivité.
 - **Les systèmes de traitement du signal** : Ils réalisent la modulation, la démodulation, l'amplification et la gestion du trafic. Ces systèmes assurent que les signaux soient transmis efficacement avec un minimum d'interférences.[13]

2. **La Plateforme (Bus)** : C'est l'ensemble des sous-systèmes qui soutiennent la charge utile et assurent le fonctionnement du satellite dans l'espace. Elle comprend :

- **Le système de propulsion** : Utilisé pour les corrections d'orbite et le maintien de la position (station-keeping), via des moteurs chimiques ou électriques.
- **Les systèmes d'alimentation** : Composés de panneaux solaires qui produisent l'électricité, et de batteries qui assurent l'autonomie lors des éclipses.
- **Le contrôle thermique** : Régule la température interne en utilisant des radiateurs, des isolants ou des caloducs pour protéger les composants sensibles.
- **Les systèmes de contrôle et de commande** : Permettent la gestion du satellite depuis le sol (télécommande) et le suivi de son état (télémessure), à l'aide de capteurs et d'ordinateurs de bord.^[13]

1.3.2 Secteur Terrestre (VSAT)

Les terminaux VSAT (Very Small Aperture Terminal) sont utilisés pour les communications par satellite à des échelles locales ou régionales, fournit des services de télécommunications par satellite et un accès à internet, tant pour les entreprises que pour les particuliers.

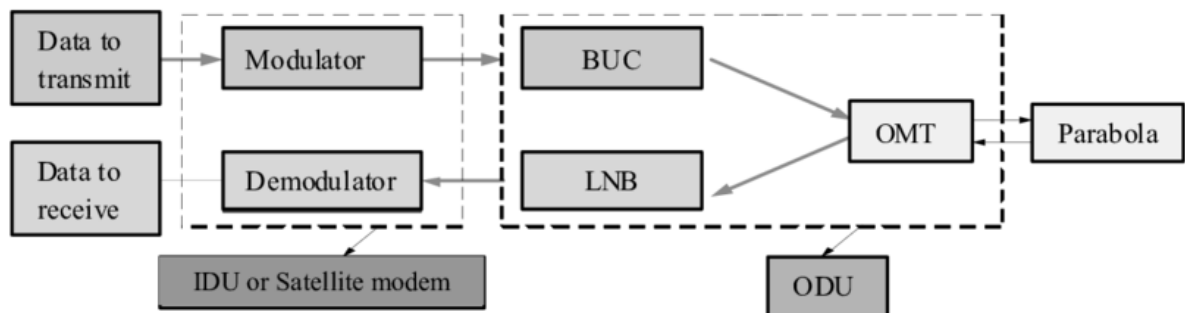


FIG. 1.4: Station VSAT – *Source* : ^[17]

Composants d'un terminal utilisateur satellite

1. Unité Extérieure (ODU) :

regroupe les équipements situés à l'extérieur, responsables de l'émission et de la réception des signaux vers et depuis le satellite. Elle comprend :

- **Antenne parabolique** : Réfléchit les ondes vers le foyer pour optimiser la communication. Son diamètre varie généralement de 0,6 à 2,4 m.
- **BUC (Block Up Converter)** : Amplifie les signaux montants et les convertit en fréquences adaptées à la transmission satellite.
- **LNB (Low Noise Block)** : Réceptionne les signaux satellites en haute fréquence et les convertit en fréquences plus basses pour traitement.

- **Câbles IFL** : Relient l'ODU à l>IDU, assurant la transmission des signaux RF, de l'alimentation et des commandes, avec une forte immunité aux interférences.
- **Boîtier de protection** : Enveloppe l'ensemble des composants extérieurs pour les protéger contre les conditions météorologiques extrêmes.[17]

2. Unité Intérieure (IDU) :

assure le traitement des signaux numériques et leur intégration au réseau local. Elle contient :

- **Modulateur/Démodulateur (modem)** : Convertit les données numériques en signaux modulés pour la transmission, et inversement à la réception.
- **Système de gestion des signaux** : Contrôle la modulation, la puissance et la qualité du signal, garantissant une communication stable.
- **Alimentation électrique** : Fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'ODU et de l>IDU, souvent via les câbles IFL.
- **Interfaces réseau** : Ports Ethernet ou autres connecteurs pour relier le terminal satellite à des équipements tels que des routeurs ou des switchs.[17]

On a aussi Le hub d'une station terrestre de télécommunication par satellite (une infrastructure centrale au centre des communications entre les satellites en orbite et les utilisateurs au sol. Il sert de point de convergence pour les signaux entrants et sortants. facilitant ainsi l'échange d'informations à travers divers canaux de communication. Il gère la Centralisation des Communications, Surveillance et Maintenance, Gestion de la Bande Passante, Sécurité des Données.

1.3.3 Liaisons Uplink et Downlink

A. Uplink (Liaison Montante)

La liaison montante correspond à la transmission de données depuis une station terrestre vers un satellite. Elle se décompose en plusieurs étapes clés [13] :

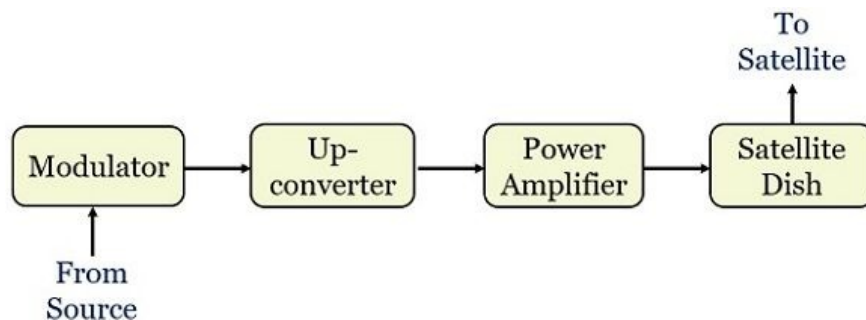


FIG. 1.5: Liaison Montante – Source : [19]

1. Modulation : Les données numériques sont converties en un signal modulé dans la bande IF (70–140 MHz) selon des normes comme le DVB, facilitant leur transmission.

2. Traitement par le BUC :

Le signal modulé passe par un Block Up Converter (BUC) qui :

- **Convertit** le signal vers une fréquence plus élevée adaptée à l'émission satellite .
- **Amplifie** le signal pour compenser les pertes dues à la distance.

3. Émission du Signal : Le signal est transmis via une antenne parabolique dirigée vers le satellite.

4. Réception par le Satellite : Le satellite capte le signal à l'aide de ses antennes, souvent équipées de systèmes de poursuite pour maintenir l'alignement.

5. Traitement à Bord du Satellite : Les transpondeurs embarqués assurent :

- **L'amplification** du signal pour maintenir sa puissance
- **La conversion de fréquence** pour éviter toute interférence avec la liaison montante.

B. Downlink (Liaison Descendante)

La liaison descendante désigne la transmission de données depuis le satellite vers la station terrestre. Elle suit ces étapes[13] :

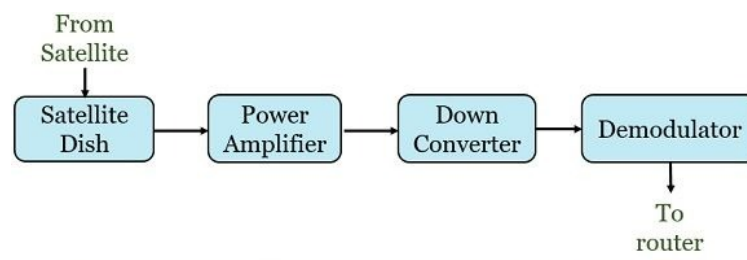


FIG. 1.6: Liaison Descendante – *Source* : [20]

1. Transmission du Signal : Le satellite renvoie le signal traité vers la terre.

2. Réception Terrestre : Le signal est capté par une antenne parabolique dédiée, assurant une réception stable.

3. Utilisation du LNB :

Lorsqu'un signal est capté, il est redirigé vers un LNB qui a plusieurs fonctions à remplir :

- **La conversion de fréquence** vers une bande exploitable .
- **L'amplification** du signal tout en réduisant le bruit de fond.

4. Traitement des données : Le signal est démodulé et traité par l'IDU pour être transformé en données exploitables (vidéo, Internet...).

5. Distribution : Les données sont redistribuées via des réseaux (câbles, sans-fil...) vers les utilisateurs finaux.

6. **Surveillance et maintenance** : Les performances de la liaison sont continuellement suivies et les équipements entretenus pour garantir la fiabilité du service.[13]

1.4 Topologies des réseaux satellitaires

Les réseaux de communication par satellite peuvent être organisés selon différentes topologies :

1. **Topologie en étoile (STAR)** : Dans ce modèle, chaque équipement du réseau se branche à un concentrateur central, généralement un switch ou un routeur. Ce point central permet de coordonner la communication entre les appareils, facilitant ainsi la gestion et le contrôle du réseau. elle est adapté aux réseaux où la centralisation des données et le contrôle de la communication sont essentiels. Elle favorise une communication efficace en consolidant le trafic par le biais du hub, néanmoins son efficacité dépend grandement de la disponibilité du hub central pour garantir un fonctionnement optimal du réseau.[24]

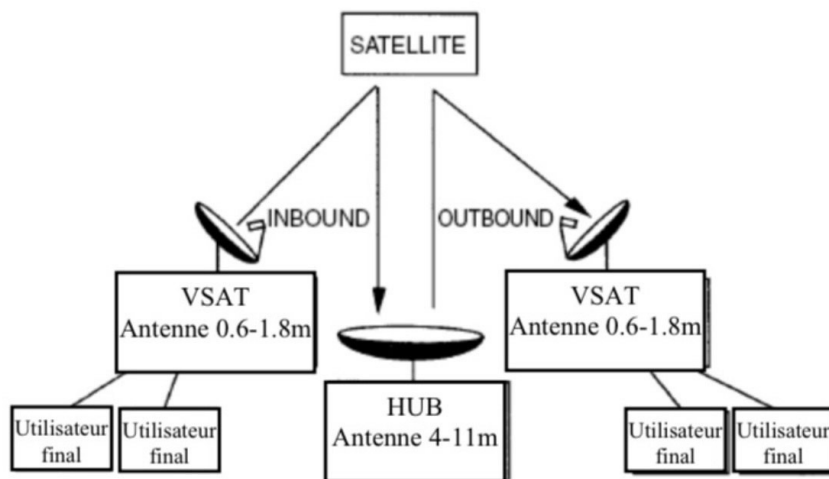
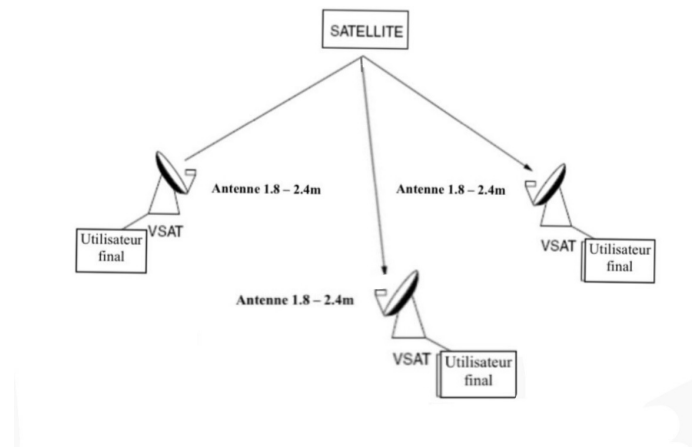


FIG. 1.7: Topologie étoilée – *Source* : [27]

2. **Topologie en maillage (MESH)** : à la différence de la topologie étoile, la topologie maillée représente une structure décentralisée où chaque dispositif est connecté à plusieurs autres. Ceci établit une configuration en maillage qui autorise chaque nœud à se lier directement avec d'autres nœuds. Cette configuration offre plusieurs avantages, notamment la redondance et la tolérance aux pannes, car si une liaison tombe en panne, les données peuvent être réacheminées via d'autres chemins. Elle est idéale pour les environnements où la continuité du service est cruciale et où les points de défaillance doivent être minimisés.[25]

FIG. 1.8: Topologie maillée – *Source* : [27]

3. **Topologie SCPC (Single Channel Per Carrier)** : c'est une méthode où la bande passante du satellite est dédiée à une seule source de signal à une fréquence et largeur de bande spécifiques. Contrairement à d'autres systèmes de multiplexage, SCPC offre une bande étroite pour les transmissions de données, ce qui réduit les interférences entre les signaux. Cette topologie est particulièrement adaptée aux transmissions nécessitant une bande passante dédiée et stable, tout en minimisant la congestion du réseau. SCPC est couramment utilisé pour des applications spécifiques, comme les communications point-à-point et les transmissions critiques, permettant une connexion fiable au satellite depuis n'importe quel endroit.[28]

1.5 Conclusion

La télécommunication par satellite s'impose aujourd'hui comme un pilier fondamental de notre ère numérique, transformant en profondeur notre manière de communiquer et d'accéder à l'information. Grâce aux satellites, des régions autrefois isolées et mal desservies peuvent désormais bénéficier de services essentiels tels que la télévision, l'Internet haut débit, ou encore les communications stratégiques à usage militaire.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principes de base de la télécommunication satellitaire. Nous avons défini ce qu'est un satellite, exploré les différents types d'orbites, et expliqué leur fonctionnement autour de la Terre. Les bandes de fréquences utilisées pour la transmission des signaux ainsi que les composants clés du système — qu'ils relèvent du segment spatial ou terrestre ont été mis en lumière, soulignant l'interdépendance de ces éléments pour assurer un service fiable et continu.

Nous avons également abordé les principales topologies de réseaux satellitaires, qui conditionnent la qualité et la diversité des services offerts, allant de la diffusion télévisuelle à l'accès à Internet. À mesure que les besoins en connectivité augmentent, notamment dans des contextes mobiles ou isolés, les télécommunications par satellite sont appelées à jouer un rôle de plus en plus central.

CHAPITRE 2

Idirect : Technologie de connectivité VSAT



2.1 Introduction

La demande croissante en connectivité haut débit, notamment dans les régions isolées ou dépourvues d'infrastructures terrestres, a conduit au développement de technologies satellitaires avancées. Idirect s'impose comme une réponse innovante et performante aux défis des communications modernes. Développée pour optimiser les transmissions de données via satellite, Idirect repose sur une architecture intelligente et flexible, permettant une gestion efficace de la bande passante, une réduction des latences et une adaptation dynamique aux conditions du réseau.

Ce chapitre a pour objectif de décrire les principaux éléments constitutifs d'un réseau Idirect, en détaillant les composants du hub, les mécanismes de gestion du trafic, les normes de transmission (DVB-S2/S2X, DVB-RCS2), ainsi que le fonctionnement de bout en bout d'un paquet IP à travers le système. Il aborde également la plateforme logicielle ivantage, qui permet d'assurer une gestion efficace et centralisée de l'ensemble du réseau.

2.2 Technologie idirect dans les réseaux VSAT

Présentation d'idirect

Fondée en 1997, idirect est un leader mondial des solutions de communication par satellite, spécialisé dans l'optimisation des transmissions de données. Ses technologies permettent de fournir des services tels que l'accès internet, la téléphonie et la diffusion vidéo via des satellites géostationnaires (GEO)[29].

Architecture du système idirect

Le système idirect repose généralement sur une topologie en étoile, où tous les terminaux distants (VSAT) sont connectés à un hub central. Ce hub est responsable de la gestion et de la distribution du trafic en appliquant des règles de qualité de service (QoS).

Le système idirect se compose des éléments suivants :

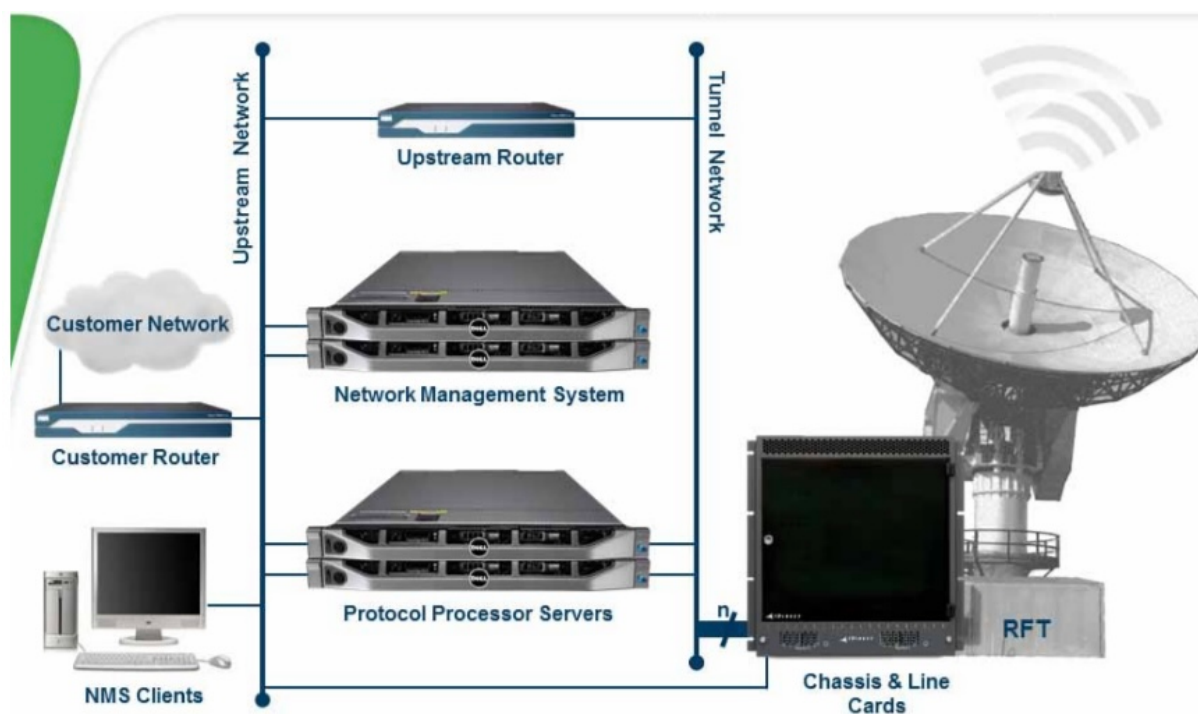
- **Terminaux VSAT** : Les modems idirect (comme la série evolution) sont conçus pour des performances élevées et une intégration facile.
- **Satellites** : Utilisation de satellites GEO pour une couverture globale.
- **Hub iDirect** : Le hub est le cœur du réseau, offrant des fonctionnalités avancées de gestion et d'optimisation.[29]

FIG. 2.1: Architecture d'un réseaux VSAT indirect – *Source* : [29]

2.3 Hub Indirect

Le hub constitue le cœur névralgique du réseau indirect. Il regroupe l'ensemble des éléments critiques permettant la gestion centralisée du trafic, l'allocation dynamique des ressources, et la distribution efficace des données vers les stations distantes.

Une installation indirect standard repose sur deux segments réseau distincts, appelés respectivement upstream et tunnel, interconnectés par un routeur upstream. Deux commutateurs sont requis pour supporter cette architecture :

FIG. 2.2: HUB INDIRECT – *Source* : [29]

- Le switch upstream connecte les serveurs de gestion (NMS), les serveurs de processeur de protocole (PP), les routeurs clients et les équipements d'accès.
- Le switch tunnel assure les communications encapsulées entre les serveurs PP et les cartes de ligne (line cards).

Le trafic utilisateur est transmis en clair sur le segment upstream, tandis qu'il est encapsulé en paquets UDP sur le réseau tunnel, garantissant une séparation logique entre la gestion réseau et les flux de données utilisateurs.

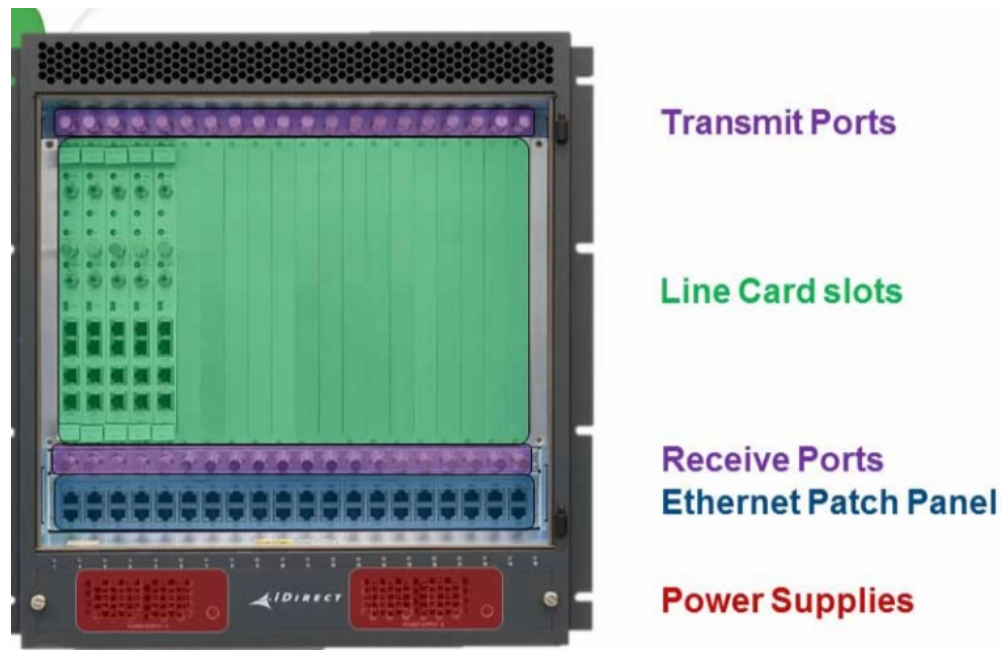
Les serveurs PP répartissent dynamiquement le trafic vers les équipements distants via un mécanisme d'équilibrage de charge. Chaque serveur peut supporter jusqu'à 250 terminaux distants, en fonction de la charge liée au chiffrement, à la compression et à la complexité des services fournis.

En cas de défaillance matérielle ou logicielle d'un serveur PP, un rééquilibrage automatique est déclenché pour redistribuer les terminaux vers les serveurs restants. En revanche, le système de gestion NMS repose sur une architecture active/standby, nécessitant un basculement manuel en cas de panne du serveur principal. Durant cette période, bien que le trafic utilisateur continue de transiter normalement, la surveillance, les alarmes et la configuration deviennent temporairement indisponibles. Le bon fonctionnement des mécanismes automatiques de basculement des PP et des cartes de ligne dépend également de la disponibilité du serveur NMS actif. [33]

2.3.1 Châssis du hub

Le châssis accueille les cartes de ligne, les alimentations redondantes et les ventilateurs. Quatre modèles de châssis sont compatibles avec la version actuelle du logiciel iDX :

- Série 15152 : modèle haut de gamme prenant en charge jusqu'à 20 cartes de ligne, chacune pouvant être affectée à un réseau satellite distinct.
- Série 12102 : version compacte, supportant jusqu'à 4 cartes de ligne, avec une consommation énergétique réduite.
- Série 12202 : variante industrielle renforcée de la série 12102, conçue pour des environnements extrêmes.
- Série 15052 : modèle antérieur compatible avec iDX, mais disposant d'alimentations de 800 W contre 1500 W pour la série 15152.

FIG. 2.3: châssis série 15152 – *Source* : [33]

Le châssis série 15152 présente sur sa face avant 20 ports de transmission RF ainsi que des connecteurs Ethernet et de supervision pour chaque carte. Les ports de réception RF sont situés à l'arrière du châssis.[33]

FIG. 2.4: châssis série 12102 – *Source* : [33]

2.3.2 Cartes de ligne (Line Cards)

Les cartes de ligne sont des modules du hub satellite qui modulent et démodulent les signaux radio. Elles reçoivent des données des processeurs de protocole et choisissent un schéma MOD-COD (modulation et codage) adapté au rapport signal sur bruit (C/N) mesuré sur chaque site distant.

Le C/N indique la qualité du signal : plus il est élevé, plus la modulation peut être dense pour augmenter le débit sans perdre de données. La carte de ligne adapte donc le MOD-COD pour optimiser la transmission vers le satellite et la réception des données.

MOD-COD courants :

- QPSK (codage fort) : robustesse, faible C/N
- 8 PSK : débit moyen, qualité moyenne
- 16 QAM : débit élevé, bonne qualité
- 32 APSK : très haut débit, conditions optimales

Ainsi, la carte de ligne maximise la fiabilité et le débit selon la qualité du canal satellite.[33]



FIG. 2.5: Cartes de ligne – *Source* : [33]

2.3.3 Serveur NMS (Network Management system)

Le NMS est le système centralisé chargé de la supervision, de la configuration et de la maintenance du réseau. Il se compose généralement de deux serveurs (actif/veille). Le basculement entre les deux serveurs est manuel, ce qui peut impacter temporairement la visibilité réseau en cas de panne. Les principaux modules du serveur NMS sont :

- Serveur NDR (Network Data Recorder) : collecte les données temps réel du réseau.
- Serveur de configuration : gère les paramètres système via iBuilder.
- Serveur d'événements : enregistre les alarmes et incidents.
- PP Controller : module virtuel assurant la coordination avec les serveurs PP.[33]



FIG. 2.6: Network Management system (NMS) – *Source* : [33]

2.3.4 Serveur PP(Protocol Processor)

Le serveur PP est le cœur logique du hub. Il est responsable de :

- La gestion de la bande passante (upstream/downstream).
- L'accélération des protocoles (TCP).
- Le routage interne du trafic.
- La communication avec le NMS.
- La résilience logicielle.



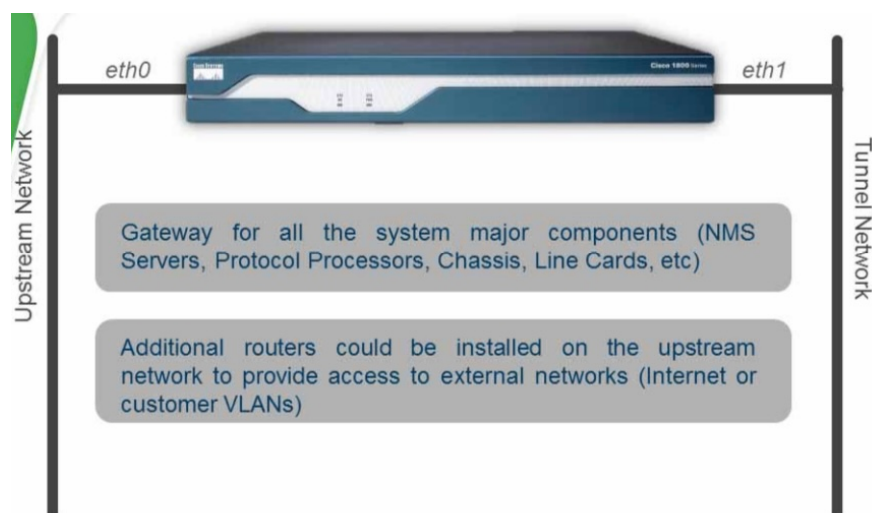
FIG. 2.7: Protocol Processor (PP) – *Source* : [33]

Il héberge les processus suivants :

- SANA : allocation statique de bande passante en downstream.
- SADA : allocation dynamique de bande passante en upstream.
- SARMT : gestion de l'accélération TCP (nombre de processus selon le nombre de terminaux).
- SAROUTER : fonctions de routage des flux.
- SAMINC : assure la liaison entre le PP et le contrôleur NMS.
- HPB Monitor : surveille les processus critiques et déclenche leur redémarrage automatique en cas de crash.[33]

2.3.5 Routeur upstream

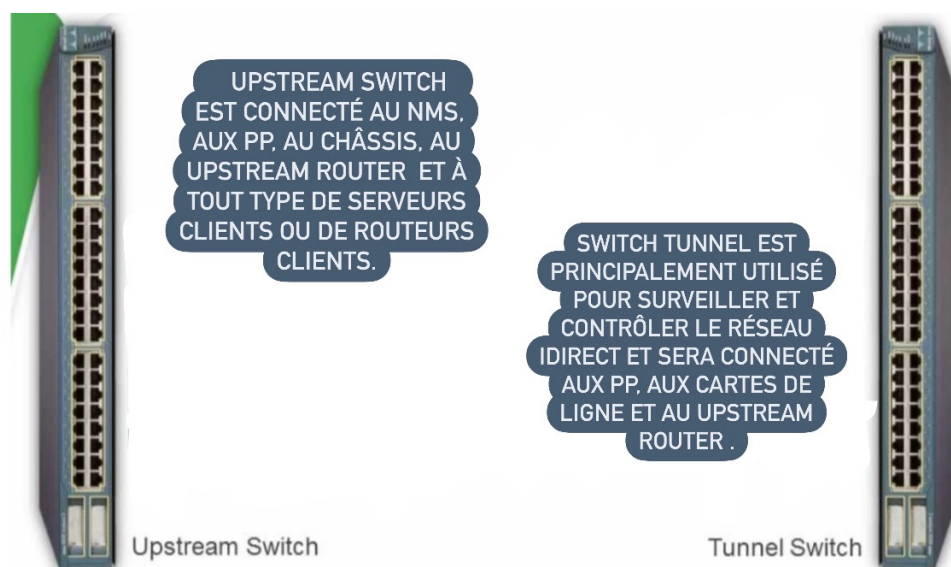
Le routeur upstream est responsable de la transmission des données vers le satellite, jouant un rôle crucial dans la connectivité. Le routeur est un composant fourni par le client et doit être capable d'acheminer efficacement le trafic entre les réseaux en amont et les tunnels (principalement en surveillant et en contrôlant le trafic depuis la MS principale vers les cartes de ligne et les processeurs de protocole). Un routeur à deux ports devrait suffire pour cela. Il s'agit d'un routeur « Cisco » à 48 ports qui effectue des opérations de routage ou des paquets en utilisant le protocole de routage dynamique RIPv2 (Router Information Protocol). Il est relié au Switch tunnel et au Switch Stream.[33]

FIG. 2.8: Upstream Router – *Source* : [33]

2.3.6 Commutateurs réseau (Switches)

Une installation direct standard comprend deux segments réseau distincts : le segment amont et le segment tunnel :

1. Switch upstream : ou bien le commutateur amont , relie les équipements de gestion (NMS, PP, routeur, cartes EDAS/MIDAS, etc.).
2. Le commutateur tunnel : interconnecte les PP et les cartes de ligne pour le trafic encapsulé en UDP.[33]

FIG. 2.9: Network Switch – *Source* : [33]

2.4 Normes, protocoles et Parcours d'un paquet IP avec indirect

Les réseaux VSAT basés sur la technologie indirect reposent sur un ensemble structuré de normes satellitaires, de protocoles de communication IP et de mécanismes d'accès au support radio. Ces éléments permettent d'assurer une connectivité fiable, efficace et optimisée entre des sites distants. La présente section introduit d'abord les principes techniques fondamentaux (protocoles, modulations, normes DVB), puis illustre leur application à travers le cheminement détaillé d'un paquet IP entre deux utilisateurs situés sur des terminaux VSAT.

2.4.1 Protocoles de communication

Les systèmes iDirect intègrent une variété de protocoles couvrant la gestion du trafic, la qualité de service et la supervision du réseau. Le tableau ci-dessous présente les principaux protocoles utilisés :

Protocoles	Descriptions
TCP	Protocole orienté connexion assurant l'intégrité des données, utilisé pour le web et les transferts de fichiers.
UDP	Protocole sans connexion à faible latence, utilisé pour les flux temps réel (VoIP, vidéo).
RTP	Protocole de transport temps réel, utilisé pour l'audio/vidéo avec gestion du jitter.
ICMP	Utilisé pour le diagnostic réseau (ex. : ping, traceroute).
PPP	Protocole point-à-point pour l'établissement de sessions réseau.
SNMP	Permet la gestion et la supervision des équipements réseau.
MPLS	Améliore le routage IP et la QoS par commutation par étiquette.

TAB. 2.1: Principaux protocoles utilisés dans les réseaux iDirect – *Source* : [39]

2.4.2 Normes et techniques de transmission satellitaire

1. DVB-S2 / DVB-S2X (liaison descendante) Ces normes assurent la transmission des données du hub vers les terminaux VSAT.

- **DVB-S2** : Utilise des codes LDPC puissants et des modulations comme QPSK et 8PSK pour améliorer l'efficacité spectrale.

- **DVB-S2X** : Extension du DVB-S2, offrant des modulations plus denses (16APSK, 32APSK) et la technologie de Beam Hopping.

2. DVB-RCS2 (liaison montante) Utilisée pour les données envoyées des terminaux vers le hub :

- Repose sur le MF-TDMA (Multi-Frequency Time Division Multiple Access).
- Intègre également l'ACM (Adaptive Coding and Modulation).^[29]

2.4.3 Méthodes d'accès au canal et modulations

Liaison montante (VSAT → Hub) :

- **D-TDMA** : Attribution dynamique de créneaux selon la demande.
- **SCPC** : Porteuse fixe dédiée, pour trafic critique à débit constant.

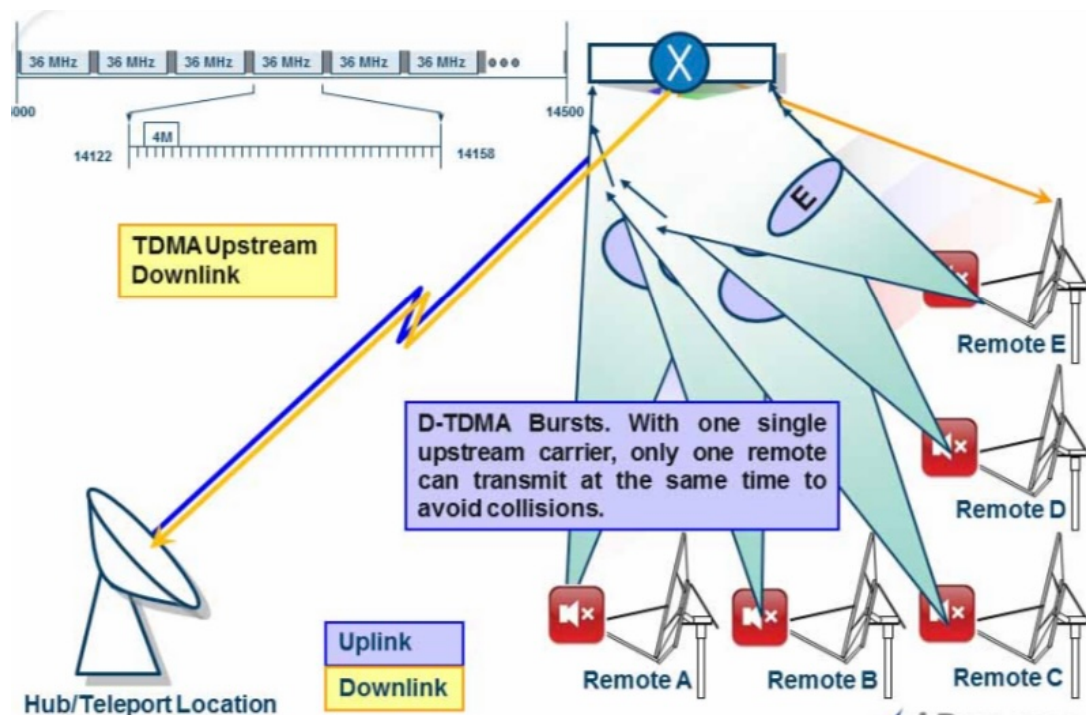


FIG. 2.10: Signal D-TDMA en liaison montante – Source : ^[29]

Liaison descendante (Hub → VSAT) :

- **TDM** : Multiplexage temporel, le hub diffuse à tous les terminaux.
- **ACM** : Modulation/codage adaptatifs selon la qualité du lien terminal.

Modulations utilisées :

- **QPSK** : Robuste, adaptée aux canaux perturbés.

- **8PSK** : Bon compromis entre robustesse et débit.
- **16APSK / 32APSK** : Débits élevés, conditions optimales requises.
- **ACM** : Adaptation automatique en temps réel.[29]

2.5 Cycle de vie d'un paquet IP via la solution iDirect

Pour illustrer l'interaction entre les différentes couches du modèle OSI et les normes de transmission propres à iDirect, nous décrivons dans cette section le parcours détaillé d'un paquet IP envoyé par un utilisateur vers un utilisateur B via un réseau VSAT en topologie étoile.

2.5.1 Étapes de transmission d'un paquet IP

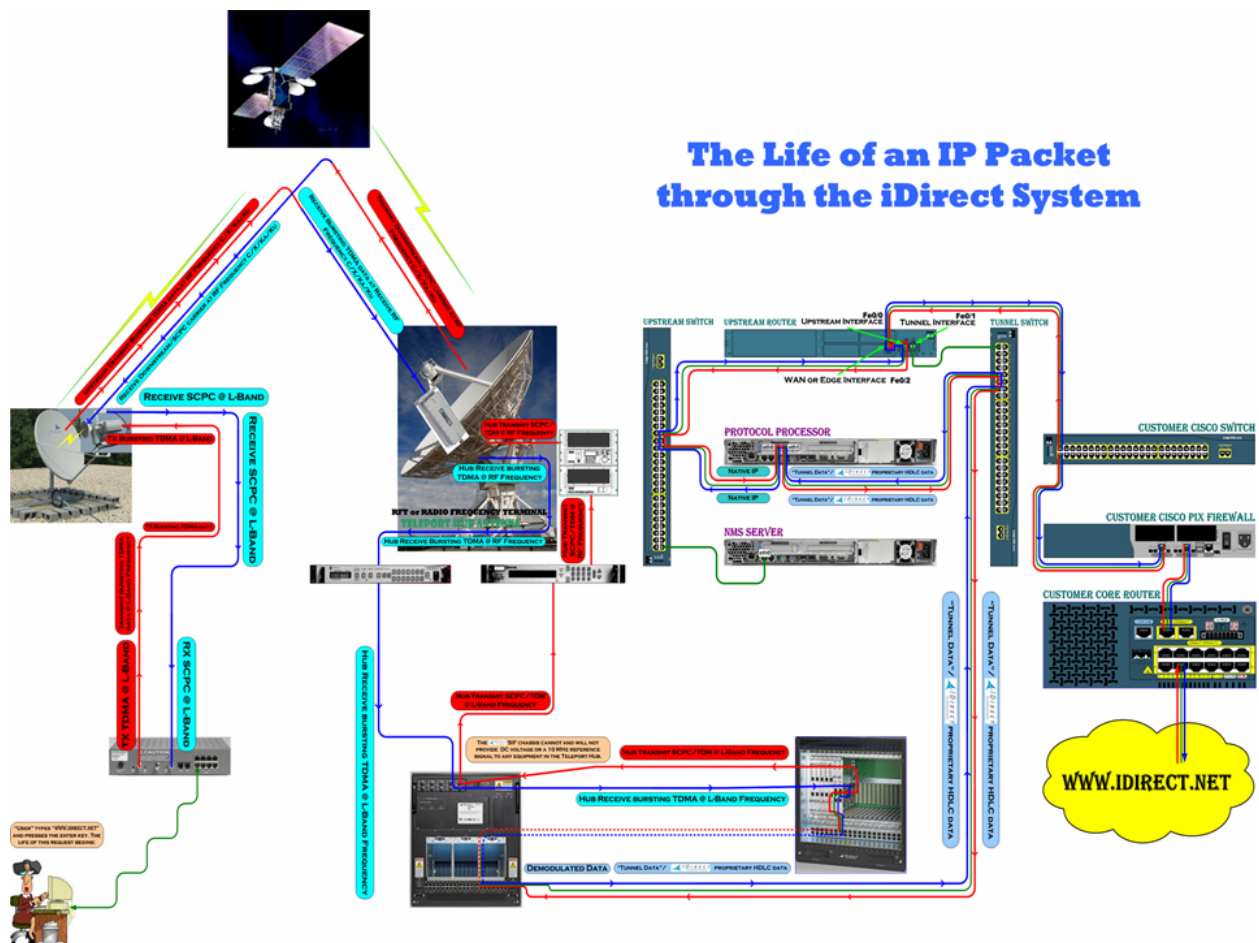


FIG. 2.11: Parcours d'un paquet IP dans un réseau iDirect– Source : [29]

1. Génération et encapsulation du paquet IP

- **Couche application (OSI 7)** : L'utilisateur A génère des données (voix, vidéo, fichier).

- **Couche transport (OSI 4)** : TCP ou UDP segmente et ajoute les ports.
- **Couche réseau (OSI 3)** : Adresses IP source/destination sont assignées.
- **Couche liaison (OSI 2)** : Encapsulation avec Ethernet ou HDLC.

2. Traitement par le modem indirect (Terminal VSAT)

- Le paquet entre dans le modem via une interface Ethernet.
- Encapsulation iDirect : HDLC, VLAN, FEC, adresse HDLC.
- Classification QoS selon le type de service (voix, best effort, etc.).
- Conversion en trame TDMA en vue de l'uplink.

3. Transmission uplink vers le Satellite

- Modulation et conversion en bande L.
- Conversion RF via le BUC en bande Ku/Ka.
- Émission par l'antenne vers le satellite géostationnaire.

4. Réception et réémission satellite

- Réception du signal, amplification et filtrage.
- Changement de fréquence pour la descente (downlink).
- Réémission vers l'antenne du hub iDirect.

5. Traitement au hub indirect

- Réception et conversion bande L $\rightarrow$ IF.
- Démodulation, correction d'erreurs (FEC).
- Décapsulation et routage du paquet.
- S'il est destiné à un autre terminal VSAT, il est réinjecté dans la porteuse descendante.

6. Transmission downlink via DVB-S2

- Le paquet est inséré dans un flux TDM sur une porteuse DVB-S2.
- Tous les modems reçoivent le flux, mais seul celui de l'utilisateur B accepte le paquet (filtrage par adresse HDLC).
- Le hub applique l'ACM pour ajuster la modulation au lien terminal.

7. Réception et restitution au terminal B

- Le modem B reçoit, désencapsule, et transmet le paquet au terminal utilisateur.
- Les couches du modèle OSI sont traitées en sens inverse jusqu'à l'application.
- L'utilisateur B accède à l'information (message, fichier, appel, etc.).

Ce scénario illustre l'intégration efficace des technologies TDMA, DVB-S2, ACM et des protocoles IP dans le réseau iDirect, garantissant une transmission optimisée, sécurisée et adaptée aux environnements éloignés.[29]

2.6 Ivantage : plateforme de gestion des réseaux satellitaires

Ivantage est une plateforme logicielle développée par ST Engineering indirect pour simplifier et centraliser la gestion des réseaux VSAT (Very Small Aperture Terminal). Elle offre aux opérateurs un ensemble d'outils pour configurer, surveiller et contrôler efficacement leurs réseaux satellites. Ivantage permet de gérer les équipements au niveau du hub et des sites distants, assurant une exploitation optimisée des ressources et une qualité de service élevée.

2.6.1 Composants clés

- **iBuilder** : Interface graphique pour la configuration centralisée des équipements du hub (line cards, routeurs) et des terminaux distants. Il automatise les tâches de configuration, réduit les erreurs et accélère le déploiement de nouveaux services.

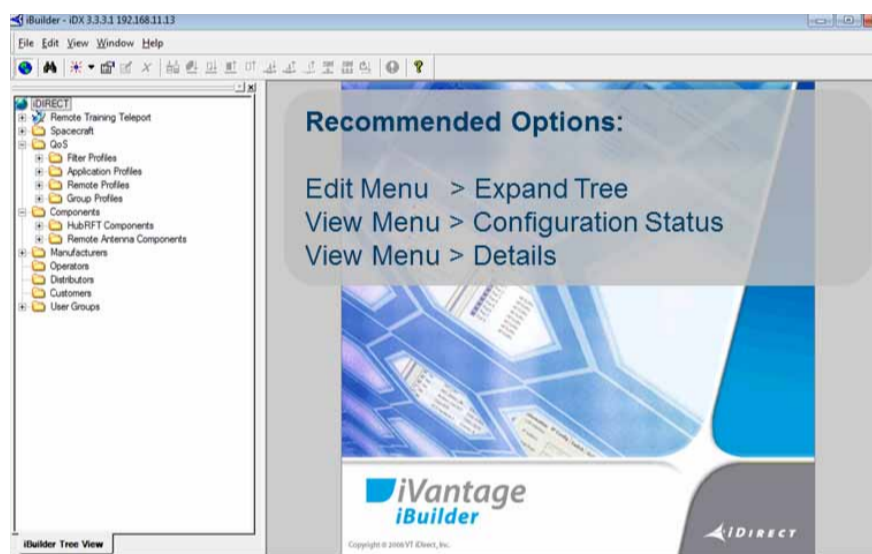


FIG. 2.12: Interface iBuilder– Source : [29]

- **iMonitor** : une application centrale du système de gestion de réseau (NMS) , utilisée principalement au niveau du hub pour la supervision en temps réel fournissant une vue d'ensemble de l'état du réseau. Il collecte des données de performance, génère des alertes en cas d'anomalies et permet d'identifier rapidement les problèmes.

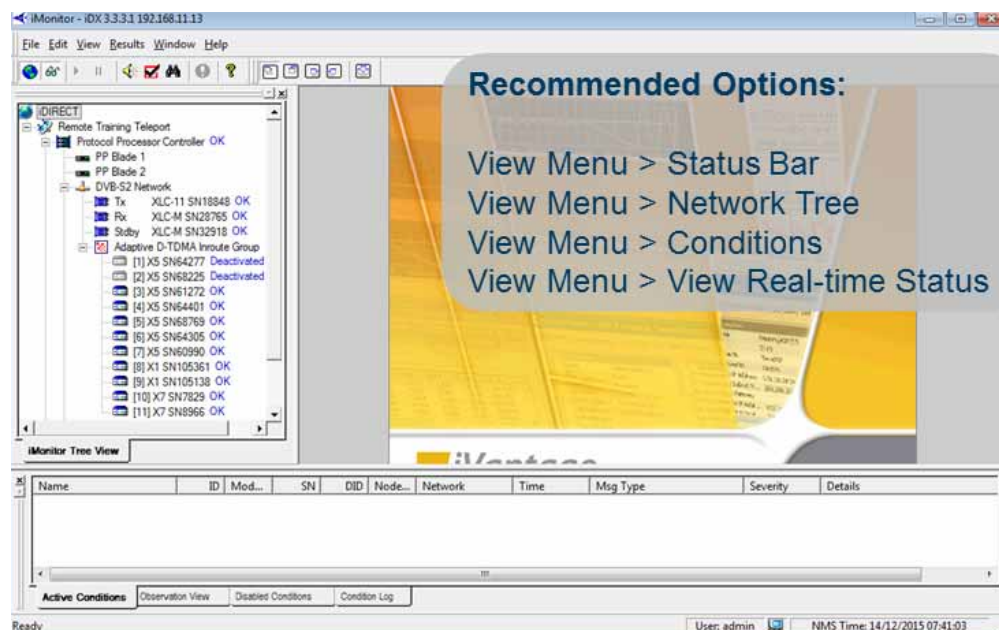


FIG. 2.13: Interface iMonitor– Source : [29]

- **iSite** : une application logicielle utilisée localement sur site distant, directement connectée aux modems iDirect (terminaux VSAT). sert à la mise en service, configuration, maintenance et dépannage des modems sur le terrain.[29]

2.7 Conclusion

La technologie iDirect offre une architecture complète et cohérente pour la gestion des communications satellitaires dans les réseaux VSAT. En combinant des mécanismes puissants de routage, d'allocation dynamique de bande passante, de supervision et de QoS, elle répond aux besoins croissants en connectivité fiable, notamment dans les zones à faible infrastructure terrestre. Ce chapitre a permis de mettre en évidence la structure centralisée du hub, le rôle critique des composants comme le serveur PP et le NMS, ainsi que l'efficacité des protocoles et normes déployés. Enfin, le scénario de transmission d'un paquet IP illustre concrètement la manière dont ces éléments interagissent pour offrir un service performant et sécurisé.

CHAPITRE 3

Qualité de Service (QoS) dans les réseaux satellitaires iDirect



3.1 Introduction

La qualité de service (QoS) constitue un élément fondamental dans la conception et la gestion des réseaux modernes, en particulier dans les environnements contraints comme les réseaux satellitaires. Ce chapitre est consacré à l'étude détaillée des concepts, modèles et mécanismes de la qualité de service appliqués aux réseaux IP. Il présente dans un premier temps les notions générales de QoS, les types de trafic et les principaux paramètres de performance associés. Ensuite, les différents modèles de gestion de QoS, ainsi que les mécanismes classiques de traitement du trafic tels que les files d'attente, les stratégies de classification, de marquage et de limitation de bande passante. Enfin, une attention particulière est portée à la gestion de la QoS dans la technologie iDirect, avec une présentation du modèle Group QoS (GQoS), des profils d'application, et des mécanismes spécifiques offerts par la plateforme iDirect pour assurer un contrôle précis et dynamique des flux dans un réseau VSAT.

3.2 Principes et défis de la QoS dans un environnement VSAT

3.2.1 Définition de la QoS

La Qualité de Service (QoS) désigne l'ensemble des mécanismes permettant de garantir un niveau de performance spécifique pour différentes applications à travers un réseau de communication. Dans le contexte des communications par satellite, la QoS vise à assurer que les ressources réseau limitées sont allouées de manière optimale pour satisfaire les exigences diversifiées des applications. Les paramètres fondamentaux de la QoS comprennent la bande passante disponible, la latence (temps de propagation des données), la gigue (variation de cette latence) et le taux de perte de paquets.[34]

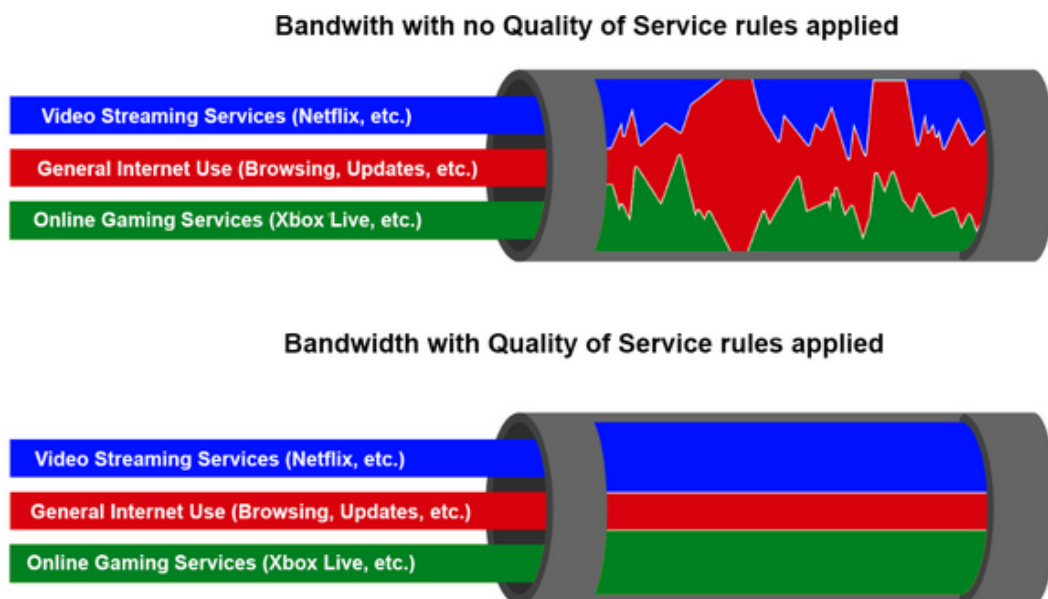


FIG. 3.1: Impact de la QoS sur la gestion du trafic réseau – *Source* : [32]

3.2.2 Défis Majeurs

- **Contraintes techniques** : Latence élevée, atténuation du signal, congestion des flux.
- **Enjeux de sécurité** : Cyberattaques, brouillage malveillant.
- **Opérationnels** : Fiabilité des infrastructures.
- **Contraintes réglementaires** : Gestion du spectre, débris spatiaux.

3.3 Caractérisation et gestion du trafic réseau

3.3.1 Caractérisation du trafic réseau

Le trafic réseau désigne l'ensemble des données échangées entre les dispositifs connectés à un réseau informatique, tels que les ordinateurs, serveurs, smartphones ou objets connectés. Ces données sont encapsulées dans des paquets, acheminés à l'aide de protocoles de communication comme TCP/IP. La maîtrise de ce trafic est essentielle pour garantir des performances réseau stables et efficaces. Cette gestion s'appuie notamment sur des mécanismes de Qualité de Service (QoS), qui permettent de prioriser les flux critiques et de réguler l'utilisation de la bande passante.

3.3.2 Typologie des flux réseau en fonction de leurs exigences QoS

Les flux réseau peuvent être classés en plusieurs catégories selon leur finalité et leurs exigences techniques. Cette classification permet de mieux adapter les politiques de QoS à appliquer :

- **Voix** : Communications audio (VoIP). Sensible à la latence et à la gigue.
- **Vidéo** : Flux multimédias (streaming, visioconférences). Nécessite une bande passante élevée.
- **Données** : Navigation web, transferts de fichiers. Géré en best effort.
- **Trafic en temps réel** : Désigne les flux ultra-sensibles aux délais, typiques des jeux en ligne ou des applications industrielles. La moindre latence ou perte de paquet peut nuire au bon fonctionnement du service.
- **Trafic à faible priorité** : Inclut les activités non critiques comme les mises à jour logicielles ou les téléchargements. Ces flux sont tolérants aux délais et peuvent être dépriorisés sans impact immédiat.[\[29\]](#)

3.4 Mécanismes standards de la Qualité de Service (QoS)

Pour répondre aux besoins spécifiques des différents types de trafic, plusieurs modèles de QoS ont été développés.

3.4.1 Modèles de la QoS et niveaux de service associés

Les mécanismes de QoS visent à garantir une distribution équitable et efficace des ressources réseau. Selon les besoins spécifiques de l'organisation, plusieurs modèles de QoS peuvent être déployés. Chacun se distingue par le niveau de service offert, la complexité de mise en oeuvre et les garanties associées.

- **Best Effort (BE)** : Remise au mieux ,aucun mécanisme de réservation ou de priorisation n'est appliqué. Tous les paquets sont traités de manière équitable, selon leur ordre d'arrivée. Ce modèle convient aux flux non critiques.
- **Integrated Services (IntServ)** : Services intégrés ,permet de réserver des ressources réseau (bande passante, temps de traitement) pour des flux spécifiques . Il garantit des niveaux de service stricts, mais reste complexe à mettre en oeuvre à grande échelle.
- **Differentiated Services (DiffServ)** : Services différenciés ,segmente le trafic en classes de service distinctes selon des besoins métiers. Bien qu'il ne réserve pas explicitement de ressources, il permet une priorisation efficace en fonction du type de flux (visioconférence, transfert de fichiers, etc.).[39]



FIG. 3.2: Modèles de Qos – Source : [35]

3.4.2 Étapes de mise en oeuvre de la QoS

La mise en oeuvre de la Qualité de Service (QoS) repose sur un enchaînement de mécanismes complémentaires visant à identifier, hiérarchiser et réguler les flux réseau selon leur criticité. Ces mécanismes sont généralement déployés selon trois grandes étapes fonctionnelles : la classification et le marquage des paquets, la gestion des files d'attente, et la régulation du trafic.

1. Classification et marquage des paquets

- **Classification et priorisation du trafic** : Une gestion efficace de la QoS repose sur une classification précise des paquets, afin d'identifier leur nature et d'y associer un traitement adapté. Les plateformes modernes, comme les systèmes iDirect, intègrent des fonctions avancées d'identification et de priorisation du trafic à travers le module Application QoS. Les flux sont classifiés selon différents critères :
 - Adresse IP source et destination
 - Ports TCP/UDP (source et destination)
 - Valeurs DSCP, ToS ou Precedence
 - Type de protocole ou d'application (HTTP, VoIP, etc.)

Cette granularité permet de personnaliser finement les politiques de QoS, en attribuant par exemple une priorité maximale aux paquets VoIP, afin de garantir une qualité de communication optimale, même en période de congestion.

- **Marquage des paquets** : Après l'identification des différents types de trafic circulant sur le réseau (voix, vidéo, navigation Web, transferts de fichiers, etc.) , Chaque flux est ensuite marqué pour lui attribuer une priorité de traitement adaptée à ses exigences, le marquage joue un rôle fondamental, Il consiste à attribuer une valeur spécifique dans l'en-tête IP de chaque paquet, généralement via le champ DSCP (Differentiated Services Code Point), afin de définir sa priorité dans le traitement réseau. Ce marquage permet aux équipements, notamment dans les réseaux iDirect, de différencier les classes de trafic (voix, vidéo, données, etc.) et d'appliquer des politiques adaptées comme l'allocation de bande passante ou la sélection de file d'attente prioritaire.[37]

2. Gestion des files d'attente (Queuing)

Une fois les paquets identifiés et marqués, ils sont acheminés vers des files d'attente spécifiques en fonction de leur niveau de priorité. Le choix de la méthode de gestion de ces files influe directement sur les performances globales du réseau, notamment en période de forte congestion.

- **FIFO (First In, First Out)** : Les paquets sont traités dans l'ordre de leur arrivée, sans distinction de priorité. Cette méthode simple convient aux réseaux peu sollicités.[23]



FIG. 3.3: FIFO(First In, First Out)– Source : [31]

- **WFQ (Weighted Fair Queuing)** : Ce mécanisme attribue dynamiquement des parts de bande passante aux différents flux en fonction de leur poids relatif, permettant un partage équitable des ressources.[23]

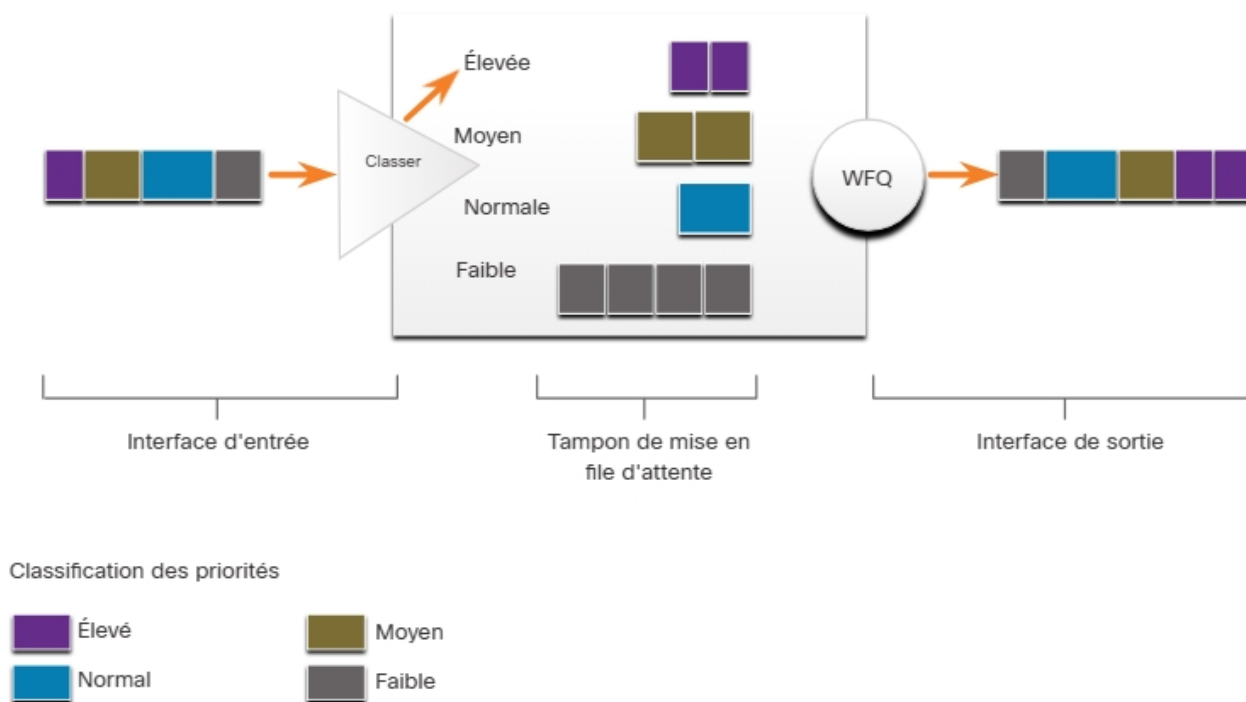


FIG. 3.4: WFQ (Weighted Fair Queuing)– Source : [31]

- **CBWFQ (Class- Based Weighted Fair Queuing)** :étend la fonctionnalité de la méthode WFQ standard afin de fournir la prise en charge des classes de trafic définies par l'utilisateur.[23]

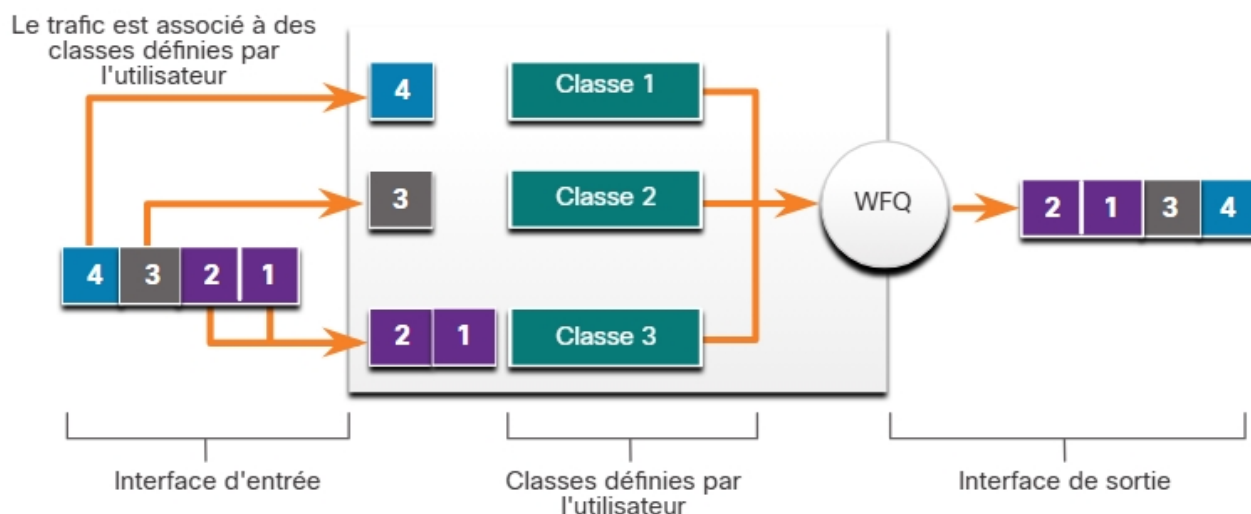


FIG. 3.5: CBWFQ (class Based Weighted Fair Queuing)– Source : [31]

- **LLQ (Low Latency Queuing)** : Une file d'attente prioritaire est dédiée aux flux sensibles au délai, comme la VoIP ou la visioconférence, assurant ainsi une faible latence.[23]

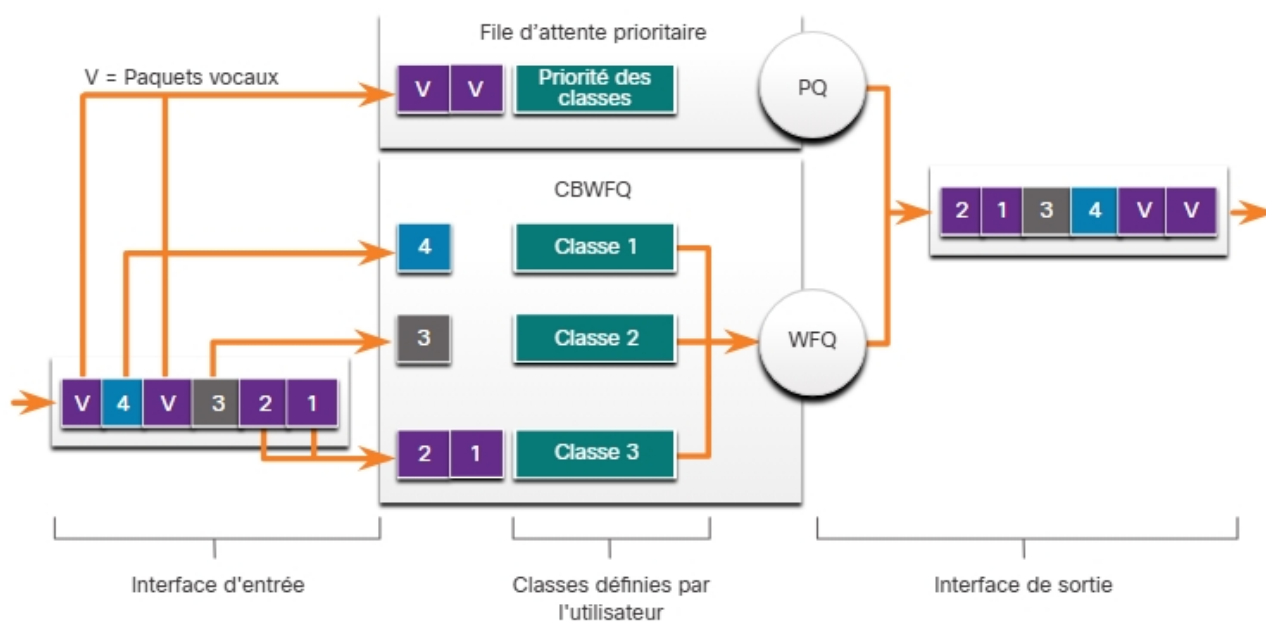


FIG. 3.6: LLQ(Low Latency Queuing)– Source : [31]

3. Régulation et optimisation du trafic

Une gestion fine du trafic permet de prévenir la saturation du réseau et de garantir une expérience utilisateur stable et fluide. Cela passe par des techniques de lissage, de limitation et d'équilibrage de charge.

- **Traffic Shaping** : Cette méthode consiste à lisser les pics de trafic en retardant temporairement certains paquets. Elle permet d'absorber les variations brutales de charge tout en maintenant un niveau de QoS élevé.
- **Traffic Policing** : Elle impose des seuils de bande passante stricts pour certains flux. Les paquets excédentaires peuvent être rejetés ou reclassés avec une priorité inférieure afin de protéger les ressources réseau.
- **Load Balancing (Répartition de charge)** : Cette technique permet de distribuer intelligemment le trafic sur plusieurs liens réseau afin d'éviter la surcharge d'un seul lien. Elle améliore ainsi la disponibilité et la performance globale du réseau.[36]

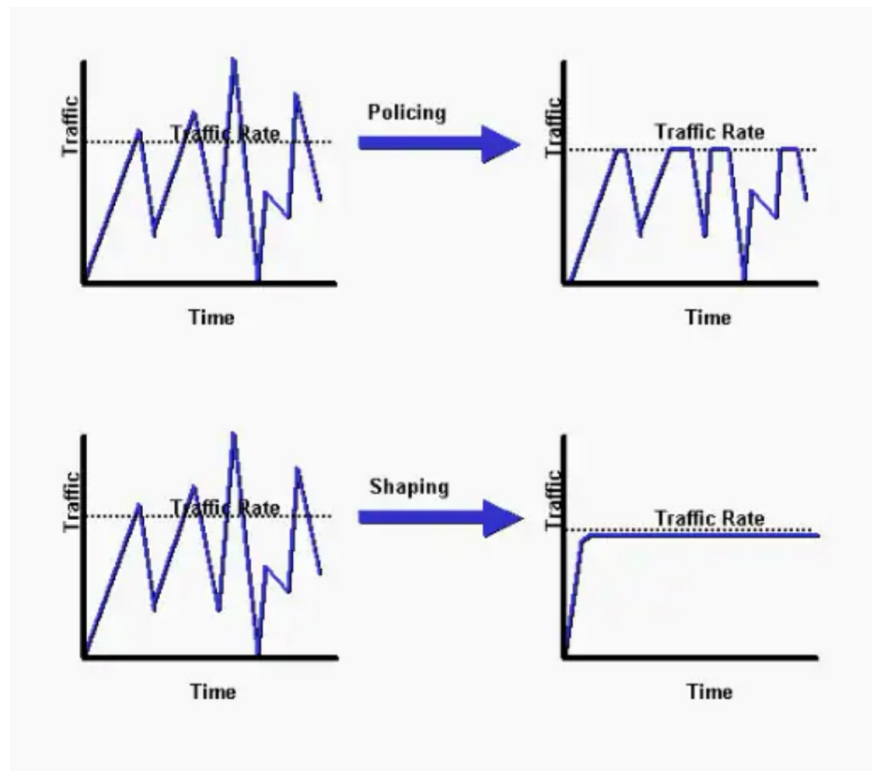


FIG. 3.7: Traffic Shaping / Policing– Source : [38]

Remarque : Dans les environnements réels, notamment sur les plateformes telles qu'idirect, ces trois mécanismes (classification, file d'attente et régulation) ne sont pas exécutés de façon séquentielle, mais sont souvent appliqués simultanément. Cette exécution parallèle permet d'optimiser la réactivité du système et d'assurer un traitement efficace des paquets, même dans des contextes de forte sollicitation.

3.5 Fondamentaux du GQoS indirect (Group QoS)

3.5.1 Introduction au GQoS (Group Quality of Service)

La Qualité de Service de Groupe (GQoS) est une fonctionnalité avancée permettant de gérer la qualité de service dans les réseaux satellitaires (comme iDirect) et IP. Contrairement à la QoS classique, qui gère le trafic de manière individuelle (par flux ou utilisateur), la GQoS opère à un niveau collectif, en regroupant les utilisateurs ou services. Cette approche, plus flexible et évolutive, est particulièrement adaptée aux environnements partagés ou multi-sites. Elle permet, par exemple, aux opérateurs VSAT de différencier les niveaux de service entre clients professionnels et particuliers, ou aux entreprises de prioriser le trafic critique entre leurs différentes succursales.^[34]

Importance et avantages d'une approche groupée de la qualité de service

- **Flexibilité** : Priorités ajustables en fonction des besoins.
- **Économies** : Optimisation des ressources et réduction des coûts.
- **Qualité améliorée** : Performances accrues pour les flux critiques.
- **Fonctionnalités** :
 - Priorisation dynamique et gestion multi-sites.
 - Support pour VPN, VoIP, streaming.

3.5.2 Bande passante et allocation

- **Bande passante** :

La bande passante représente la quantité maximale de données pouvant être transmise sur un réseau dans un temps donné. Elle est déterminée par la capacité des porteuses DVB-S2 et des groupes d'inroute ^[34].

- **Hiérarchie GQoS** :

La hiérarchie GQoS d'iDirect se structure en arbre, où le Pool de bande passante au sommet distribue la capacité vers des groupes de bande passante et des services distants. La gestion suit deux principes d'allocation ^[34] :

- **Bottom-up** : demandes envoyées des nœuds enfants vers le parent.
- **Top-down** : allocation du parent vers les enfants.

Plusieurs arbres GQoS existent, variant selon les MODCODs, qui définissent la qualité de la liaison satellite.

- **Pool de bande passante :**

Le Pool est le nœud supérieur de la hiérarchie GQoS. Il distribue la capacité vers les groupes de bande passante et les services distants. Bien qu'essentiel, il n'apparaît pas comme une entité distincte dans l'interface de configuration. Il est défini lors de la création des porteuses en émission et des groupes Inroute [34].

- **Principe de l'arbre :**

Chaque nœud enfant exprime sa demande, qui est traitée par un algorithme d'allocation hiérarchique assurant une gestion équitable des ressources [34].

- **Bande passante demandée :**

La demande varie selon les besoins applicatifs des services distants. Elle influence le comportement du système en fonction des priorités définies [34].

- **Allocation :**

L'allocation de bande passante repose sur les paramètres CIR, MIR et les relations de priorité. L'algorithme garantit une distribution optimale des ressources entre les services [34].

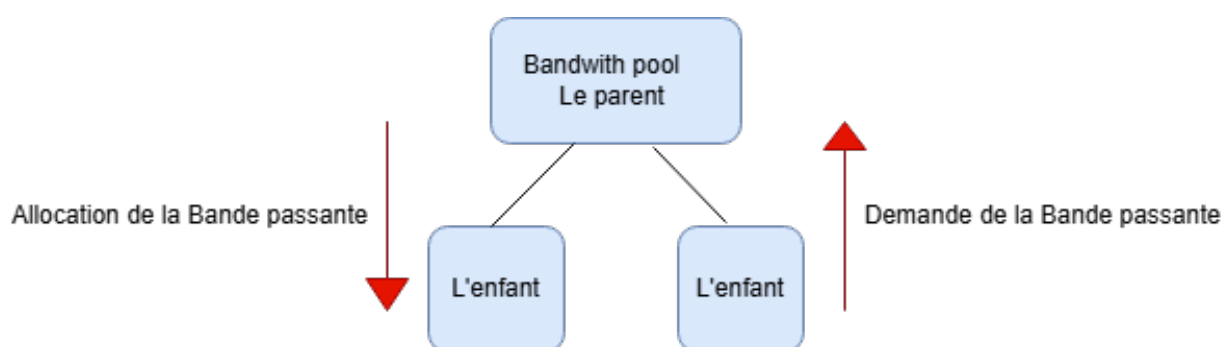


FIG. 3.8: Architecture en arbre du GQoS

3.5.3 Committed Information Rate (CIR)

1. **Définition :** Le CIR (Committed Information Rate) est le taux de bande passante garanti pour un nœud spécifique dans le réseau. Il est configuré pour assurer que certains nœuds reçoivent toujours une bande passante minimale, même en cas de congestion.[34]

2. **Paramètres de CIR :**

- * **Sticky :** Permet de maintenir la bande passante allouée à un nœud, même si la demande diminue. Cela garantit que les nœuds ayant utilisé une certaine quantité de bande passante conservent cette allocation pour des sessions futures.

- * **Fairness** : Assure une distribution équitable de la bande passante entre les nœuds, en tenant compte de leur CIR. Cela évite qu'un nœud soit systématiquement favorisé au détriment des autres.
- * **Priority** : Détermine l'ordre dans lequel la bande passante est allouée entre les nœuds. Les nœuds à priorité plus élevée recevront une allocation de bande passante avant ceux à priorité plus basse. Par exemple, une application VoIP peut avoir une priorité plus élevée qu'une application de téléchargement de fichiers, garantissant ainsi que les appels ne soient pas interrompus.
- * **Cost** : Permet de répartir la bande passante entre les nœuds de même priorité lorsque la demande dépasse l'offre. Un nœud avec un coût plus bas recevra une allocation de bande passante plus élevée. [34]

3.5.4 Maximum Information Rate (MIR)

1. Définition :

Le MIR (Maximum Information Rate) fixe un plafond sur la quantité de bande passante qu'un nœud peut recevoir, indépendamment de la demande. Il est essentiel pour éviter que certains nœuds consomment plus de bande passante que ce qui est prévu.[34]

2. Fonctionnement :

Le MIR est strictement appliqué pour le trafic sortant, garantissant que la bande passante allouée ne dépasse jamais ce seuil. Pour le trafic entrant, le MIR peut être dépassé si de la bande passante libre est disponible.[34]

3.5.5 Free Bandwidth

1. Définition :

il désigne la bande passante non utilisée qui peut être allouée de manière équitable entre les nœuds.[34]

2. Fonctionnement :

Elle permet aux nœuds de recevoir plus de bande passante que leur CIR configuré si des ressources sont disponibles.[34]

3.5.6 Profils de Filtrage

1. Définition :

Les Filter Profiles permettent de contrôler le trafic en appliquant des règles de filtrage spécifiques sur les données entrantes ou sortantes. Ils sont essentiels pour réduire la charge du réseau, sécuriser les communications et améliorer la gestion de la QoS.[34]

2. Rôles :

- Bloquer le trafic indésirable à l'entrée du réseau.
- Éviter l'acheminement de flux inutiles vers les interfaces OTA (Over-The-Air).
- Protéger les ressources du système contre les flux non prioritaires ou suspects.
- Garantir que seuls les flux nécessaires (VoIP, HTTP, etc.) accèdent à la bande passante satellitaire.

3. **Structure d'un filter profile** : Un Filter Profile est composé d'un ensemble de règles de filtrage (Filter Rules), chacune définissant une action (autoriser ou bloquer) selon des critères précis. Un seul Filter Profile peut être appliqué par direction (uplink ou downlink) à un remote donné.[\[34\]](#)

4. **Critères de filtrage disponibles** : Les règles de filtrage peuvent être basées sur :

- Adresse IP (source et destination)
- Plage de ports TCP/UDP
- Adresse MAC .
- VLAN ID ou QinQ
- Protocole (TCP, UDP, ICMP...)
- DSCP / TOS / Precedence
- PCP (IEEE 802.1p)

5. Exemple de cas d'utilisation :

- Générer du trafic UDP sur le port 5005 avec `udpblood`.
- Observer le trafic avec iMonitor.
- Créer un filtre pour bloquer ce port spécifique.
- Réappliquer et vérifier l'impact sur le remote concerné.

3.5.7 Groupes de services d'applications (Application Service Groups)

1. Définition :

Les Groupes de Services d'Applications (ASG) regroupent plusieurs applications partageant une même politique de gestion de la QoS. Chaque groupe se voit attribuer des ressources (CIR, MIR, priorité) selon la criticité des services qu'il contient. Cette structure permet de rationaliser l'allocation de bande passante tout en assurant une expérience utilisateur homogène.[\[34\]](#)

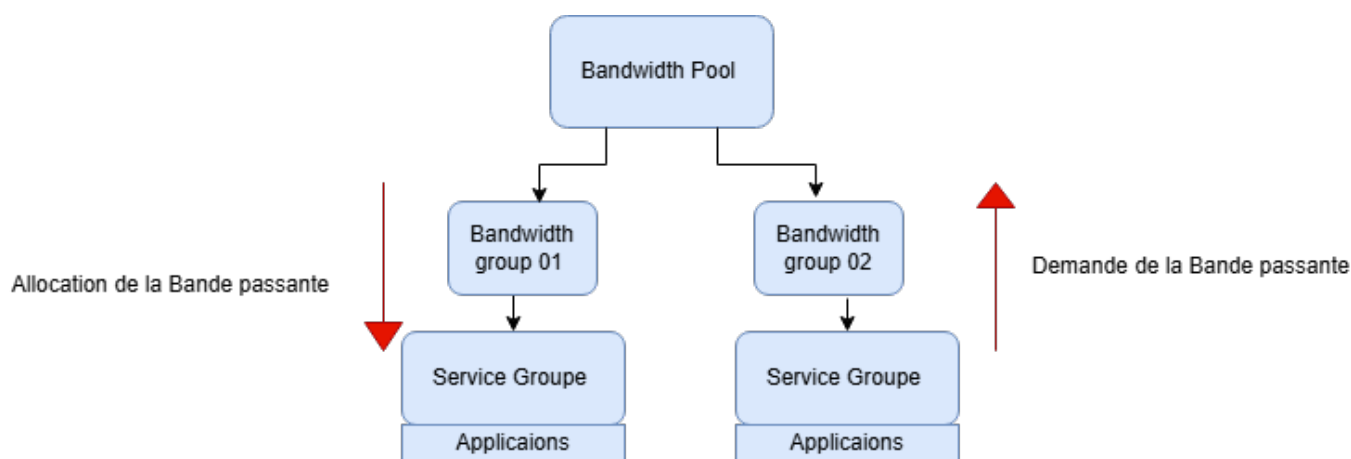


FIG. 3.9: Architecture en arbre intégrant les services d'applications.

2. **Importance opérationnelle** : Dans un environnement multiservice, la coexistence d'applications critiques (VoIP, vidéoconférence) et non critiques (mises à jour logicielles) exige une gestion différenciée. L'utilisation des ASG permet de :

- Prioriser les flux critiques pour éviter la dégradation de service.
- Prévenir la saturation du lien satellite.
- Optimiser l'usage global des ressources réseau.

3.5.8 Profils de services applicatifs (Service Profiles)

1. **Définition et rôle** : Un profil de service applicatif définit les conditions d'allocation de la bande passante pour une application donnée. Il intègre les paramètres CIR, MIR, priorité et permet de classer les paquets associés à cette application.^[34]

2. **Composants clés** :

- Règles de service : Elles identifient les paquets appartenant à une application (par port, protocole, IP, etc.).
- Priorité : Influence la file d'attente et l'ordre de traitement.
- Allocation de bande passante : Définie par les niveaux CIR et MIR.

3.5.9 Surveillance et optimisation

1. **Suivi en temps réel** : La surveillance des performances est essentielle pour garantir l'efficacité de la QoS. Des outils comme **Wireshark** ou **tcpdump** permettent :

- L'analyse du trafic par type d'application.
- La détection des congestions ou pertes.
- Le contrôle du respect des règles de QoS configurées.

2. Ajustement dynamique :

En fonction de l'observation du trafic, les paramètres des ASG ou des profils de services peuvent être modifiés afin de :

- Renforcer les garanties pour les applications critiques.
- Réduire les ressources attribuées aux flux secondaires.
- Maintenir un équilibre global selon les priorités métier.

3.5.10 Groupe de services distants (Remote Services Groups)

Définition et rôle :

Un Remote Service Group est un sous-ensemble d'un groupe de bande passante qui regroupe plusieurs terminaux distants (remotes physiques). Il permet de centraliser la gestion QoS appliquée à ces remotes, avec des paramètres communs comme la priorité, le coût, le CIR, le MIR et le MODCOD nominal.

Cette configuration permet une gestion indépendante, souple et optimisée de la bande passante.[34]

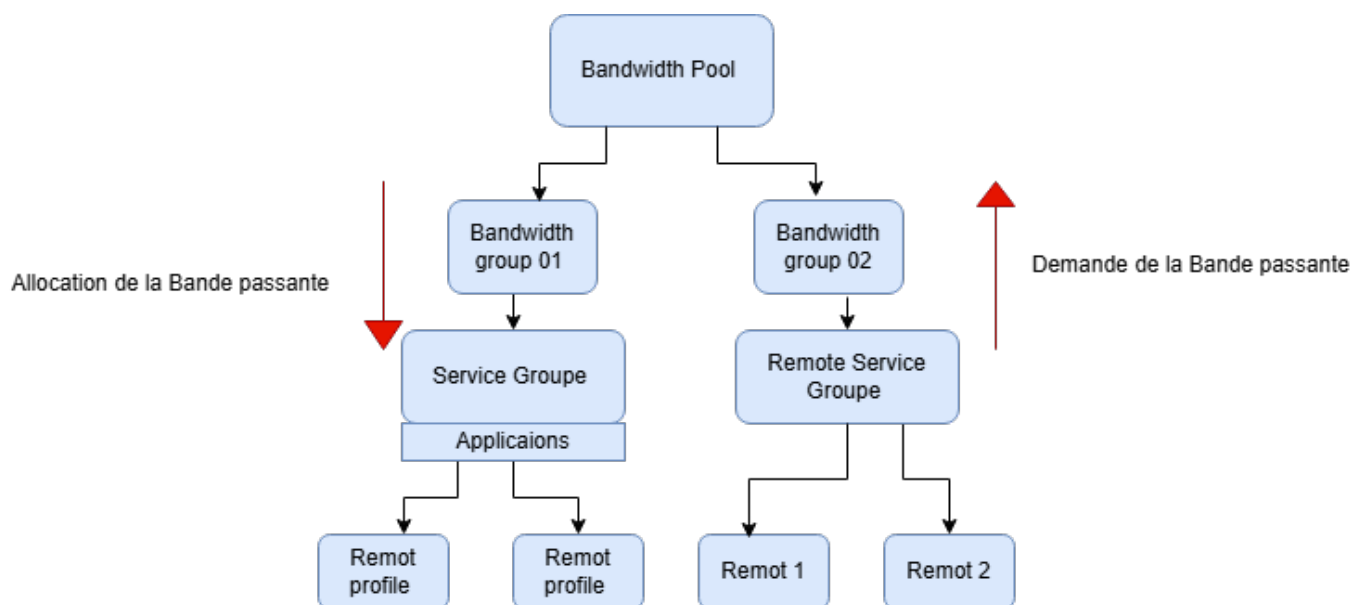


FIG. 3.10: Remote Services Groupe.

3.5.11 Profils distants (Remote Profiles)

Définition : Un profil distant est une configuration QoS appliquée à un terminal physique ou à un groupe de terminaux. Il définit les ressources allouées à chaque application présente sur le remote. Le profil contient une ou plusieurs applications, chacune associée à un ou plusieurs profils d'application.[34]

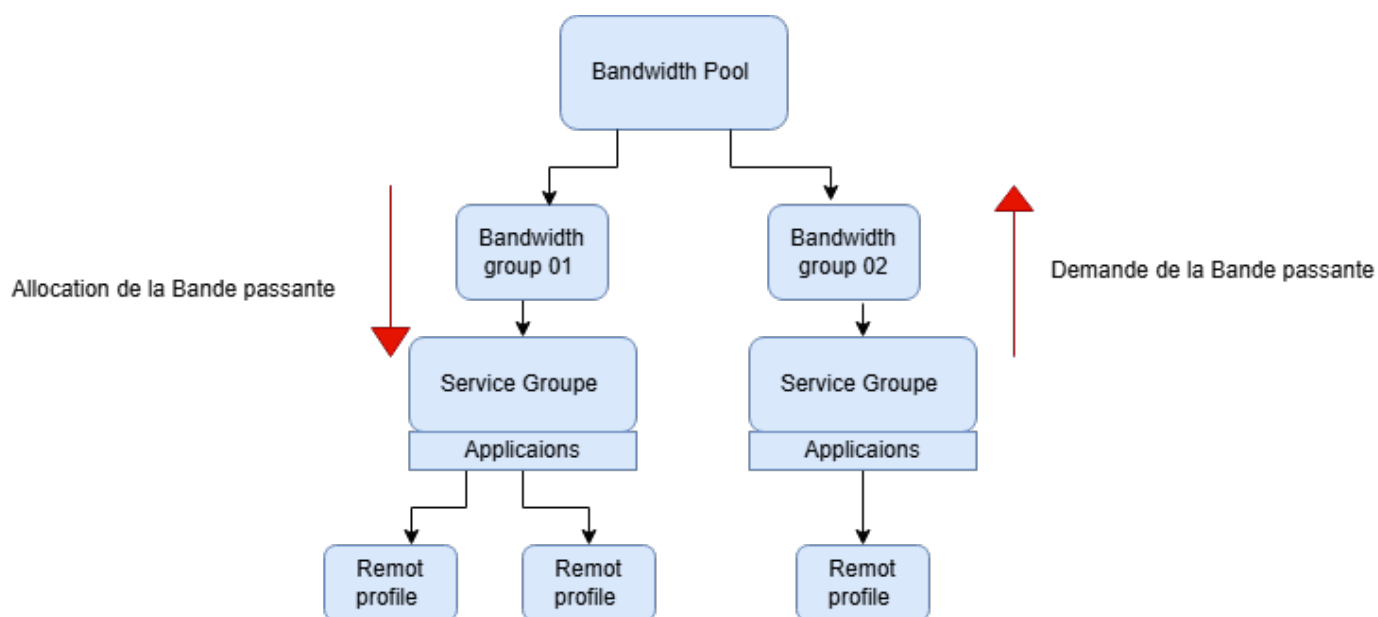


FIG. 3.11: Hiérarchie d'un profil distant.

Création des profils distants

1. **Création des profils d'application** : Chaque profil contient des règles de détection spécifiques à un type de trafic (VoIP, HTTP, etc.). Ils sont stockés dans le dossier QoS de l'outil iBuilder et organisés par direction [34] :

Downstream : Trafic du réseau vers le remote.

Upstream : Trafic du remote vers le réseau.

2. **Création du profil distant** : Par défaut, deux profils préconfigurés existent (Default Downstream et Default Upstream). Chaque application au sein du profil est configurée avec ses propres niveaux de service (CIR, MIR, priorité).
3. **Restrictions de configuration** :
 - Maximum 16 applications par profil distant.
 - Maximum 32 niveaux de service.
 - Maximum 64 règles de QoS.
 - Un même profil d'application ne peut être utilisé qu'une seule fois.
 - Le dernier profil d'application doit être un profil par défaut.
4. **Attribution au terminal distant** : Lorsqu'un profil distant est affecté à un équipement, un remote virtuel est automatiquement créé pour chaque application du profil.[34]

Étapes et mise en place de la QoS de GQoS iDirect

1. Pool de bande passante

Le seul paramètre configurable est l'équité d'allocation basée sur le CIR (Committed Information Rate). Cette option répartit équitablement la bande passante entre les groupes enfants proportionnellement à leur CIR configuré.

2. Groupe de bande passante

Ce groupe contient des groupes de services. Il peut être configuré avec les paramètres suivants : Priorité, Coût, MIR (Maximum Information Rate), CIR, Sticky CIR et équité d'allocation relative au CIR, permettant un contrôle précis de la distribution de bande passante.

3. Groupe de services distants

Situé sous le groupe de bande passante, il regroupe des équipements distants physiques. Il utilise les mêmes paramètres QoS que les groupes précédents, avec en plus la possibilité de configurer le MODCOD nominal pour adapter dynamiquement la gestion de bande passante selon les performances des terminaux.

4. Équipement distant physique

Enfant du groupe de services distants, il est lié à des applications via des profils distants. Il utilise des paramètres QoS tels que le MIR, CIR et surtout la Minimum Information Rate (Min. IR). Cette dernière garantit une bande passante minimale même sans trafic, mais peut engendrer un gaspillage si mal utilisée. Il est donc conseillé de la configurer avec prudence, notamment pour les équipements mobiles ou utilisant des modulations de retour exigeantes (comme le 8PSK).

5. Application

Une application représente un service accessible à l'utilisateur final. Elle est créée à partir d'un ou plusieurs *profils d'application*, et définie lors de la création du Remote Service Profile, permettant une classification du trafic par type (VoIP, NMS, etc.).[34]

3.6 Conclusion

La gestion de la Qualité de Service (QoS) dans les réseaux satellitaires iDirect constitue une solution avancée face aux défis inhérents aux communications spatiales. En combinant classification du trafic, régulation de bande passante et allocation hiérarchisée des ressources, ces réseaux offrent des performances optimisées, même pour des usages exigeants. L'exploitation judicieuse de paramètres comme le CIR, le MIR, ainsi que les profils de services et d'applications, permet de rendre l'infrastructure plus fiable, adaptable et efficace. Ainsi, la QoS devient un levier central pour assurer la continuité et la qualité des services numériques via satellite.

CHAPITRE 4

Mise en Place de la Qualité de Service (QoS) avec la Technologie iDirect



4.1 Introduction

La qualité de service (QoS) constitue un enjeu majeur dans les réseaux de télécommunications modernes, particulièrement dans les environnements satellitaires où les contraintes de latence, de bande passante et de fiabilité sont critiques. La technologie iDirect, reconnue pour son efficacité dans la gestion des transmissions par satellite, propose des solutions avancées pour la mise en oeuvre d'une QoS adaptée. Ce chapitre présente une analyse approfondie de l'intégration de la QoS au sein d'un réseau basé sur iDirect, en évaluant son impact sur les performances réseau et la satisfaction des utilisateurs.

4.2 Objectif d'étude

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'impact de l'implémentation de la QoS sur les performances des réseaux iDirect, en comparant les résultats obtenus avant et après son déploiement. Cette analyse permettra de mettre en lumière les améliorations en termes de latence, de bande passante et de fiabilité des services critiques. En outre, nous examinerons comment ces changements influencent la satisfaction des utilisateurs et la qualité globale des services offerts par ATS.

4.3 Contexte d'étude

Dans le cadre de ce mémoire, nous proposons une architecture de gestion optimisée de la qualité de service (QoS) dans un réseau satellitaire basé sur la technologie iDirect, mise en oeuvre par Algérie Télécom Satellite (ATS). Cette architecture vise à assurer une répartition intelligente de la bande passante et une performance constante pour les services critiques.

Le réseau VSAT étudié s'appuie sur un **pool global de bande passante** fourni par ATS, d'une capacité totale de :

- **72 Mbps en réception (Downstream)**
- **40 Mbps en émission (Upstream)**

Pour une gestion efficace, la bande passante globale est subdivisée en deux Bandwidth Groups (BG) :

- **BG1 ATS internes** : 32 Mbps (Rx) / 8 Mbps (Tx). Ce groupe est dédié aux directions internes d'ATS et intègre des services spécialisés appelés **Group Remote Services**, notamment :

1. GTM (Groupe de Trafic Multimodal)-Partagés :

réservé aux remotes disposant d'un accès hybride (fibre, ADSL, Wi-Fi et satellite). La bande passante est partagée et allouée dynamiquement selon l'activité de chaque site. Les ressources non utilisées par les sites inactifs sont automatiquement redistribuées vers les sites actifs.

- Réception (CIR/MIR) : 16 Mbps / 64 Mbps
- Émission (CIR/MIR) : 4 Mbps / 16 Mbps

Ce groupe comprend la Direction Générale, Alger, Oran et Constantine et leurs paramètres proposés :

- Réception (CIR/MIR) : 4Mbps / 16 Mbps
- Émission (CIR/MIR) : 1 Mbps / 4 Mbps

2. GTSE (Groupe de Trafic Satellite Exclusif)-Dédies :

réservé aux sites connectés uniquement par satellite. Ces sites critiques bénéficient d'une bande passante entièrement dédiée, avec CIR = MIR, assurant un service constant.

- Réception (CIR/MIR) :16 Mbps / 16 Mbps
- Émission (CIR/MIR) :5 Mbps / 5 Mbps

Ce groupe comprend :

- Ouargla : CIR/MIR = 10 Mbps (Rx) / 3 Mbps (Tx)
- Béchar : CIR/MIR = 6 Mbps (Rx) / 2 Mbps (Tx)

BG2 Clients ATS :

40 Mbps (Rx) / 32 Mbps (Tx), avec une QoS simplifiée et adaptée aux clients commerciaux ou institutionnels.

Dans le cadre de cette étude, nous nous concentrons exclusivement sur le Bandwidth Group 1 (BG1 – ATS internes) et les mécanismes associés aux services GTM et GTSE.

le hub central héberge plusieurs applications sensibles à la QoS :

Ip Phone

Video Conference Endpoint

ERP (Sage)

Transfert des données

4.3.1 Topologie de Groupe QoS

Dans le cadre de l'amélioration du réseau satellitaire d'Algérie Télécom Satellite (ATS), nous avons conçu une architecture GQoS complète englobant à la fois les flux en émission (upstream) et en réception (downstream).

A. Architecture de la gestion de la bande passante en Upstream

Cette architecture gère le trafic montant (upload) depuis les sites ATS vers le réseau central. Nous avons structuré l'allocation de la bande passante (40 Mbps) entre les groupes internes (BG1) et les clients (BG2), en appliquant une priorisation des applications et une différenciation des sites.

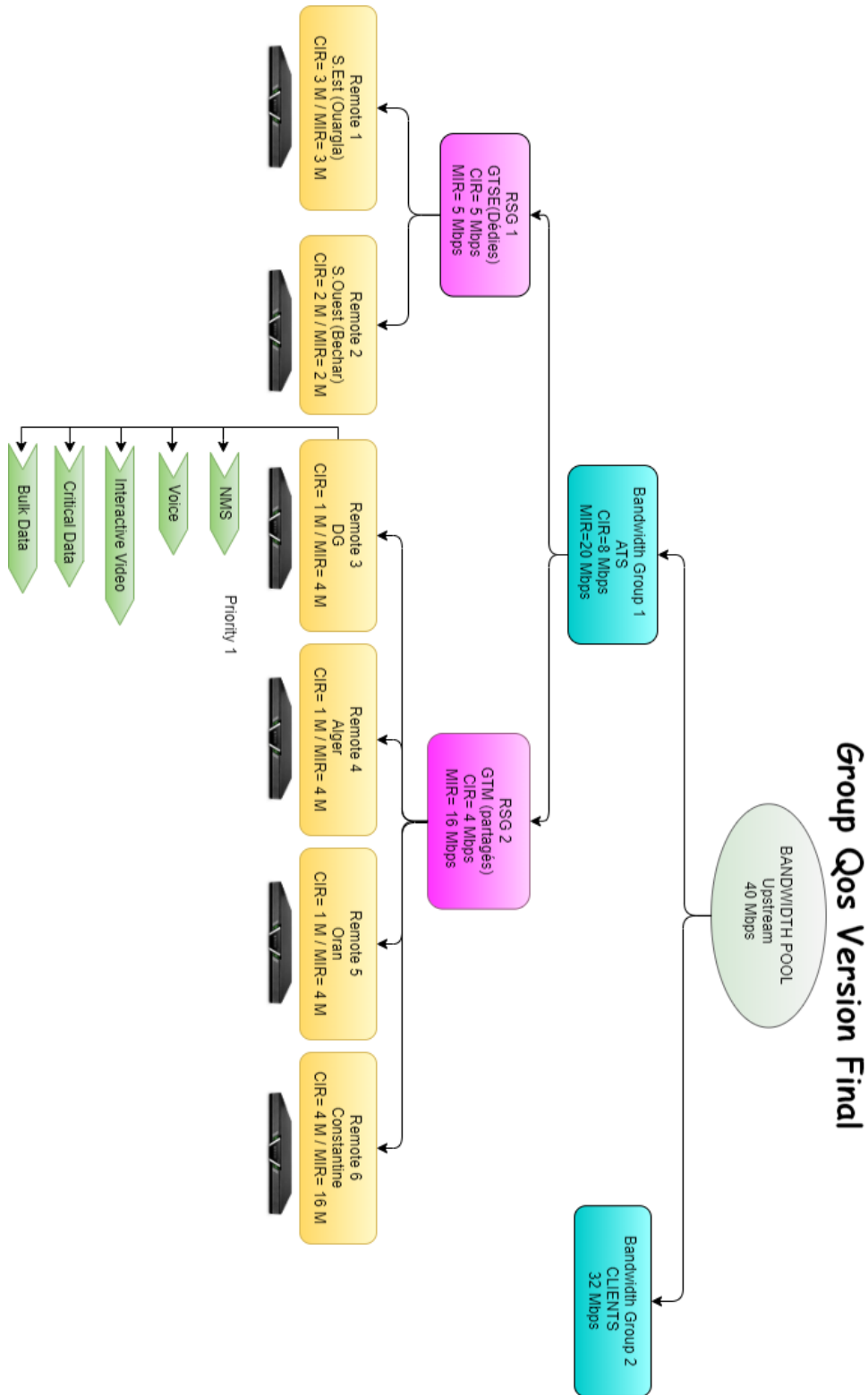


FIG. 4.1: Architecture GQoS Upstream

B. Architecture de la gestion de la bande passante en Downstream

Cette architecture concerne le trafic descendant (download) vers les sites ATS. La bande passante globale (72 Mbps) est répartie entre BG1 et BG2, avec une gestion optimisée .

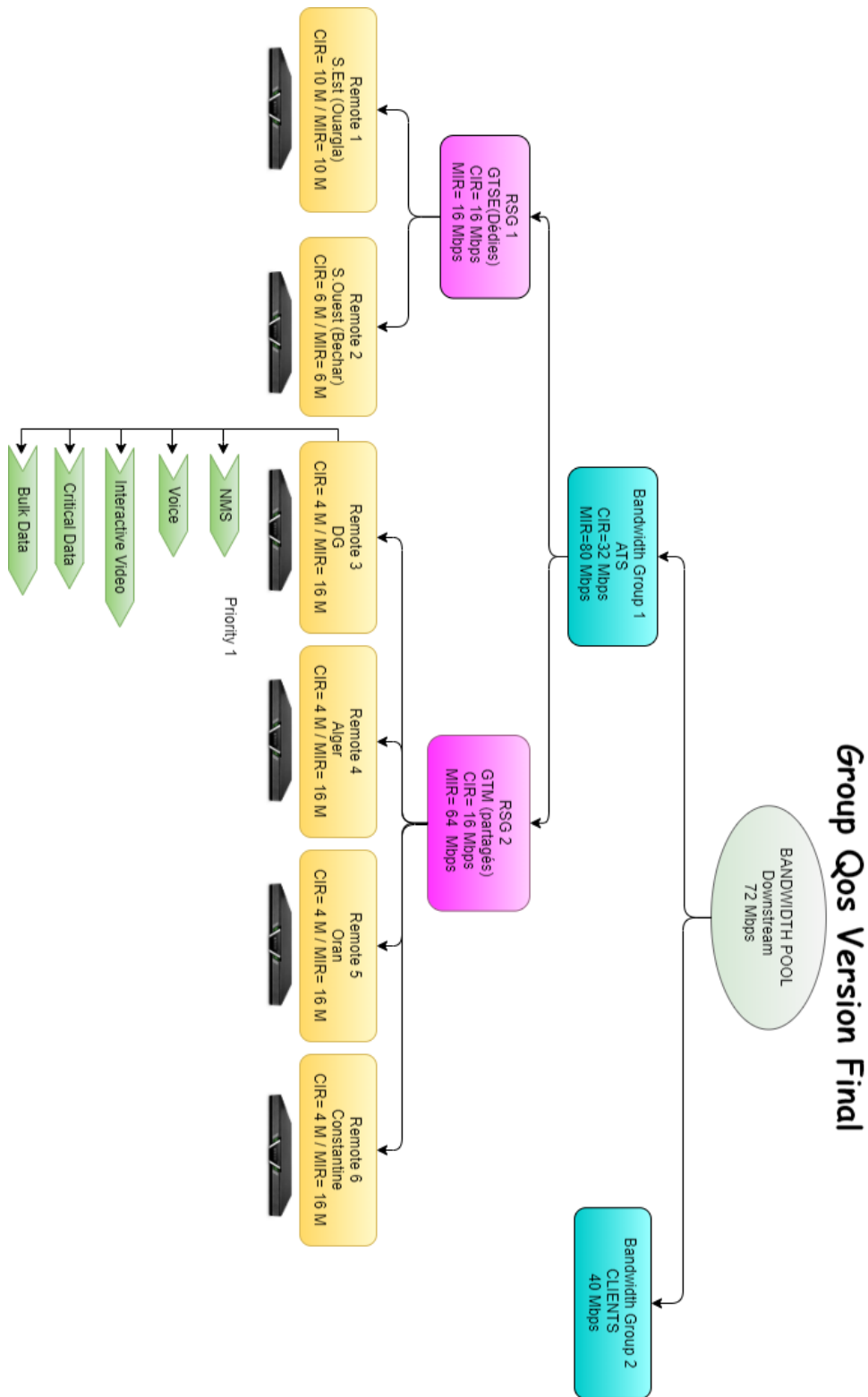


FIG. 4.2: Architecture GQoS Downstream

4.3.2 Classification du trafic et choix de la QoS par application

Dans le but d'assurer une qualité de service (QoS) adaptée à chaque type d'application sur le réseau, il est nécessaire de classer les flux selon leurs caractéristiques techniques et leurs exigences en matière de performance. C'est pourquoi nous avons établi ce tableau, qui regroupe les principales applications réseau (IP Phone, visioconférence, ERP, transfert des données), les protocoles utilisés, les plages de ports concernés, ainsi que les niveaux de priorité définis par les marqueurs DSCP. Pour chaque profil distant, une classification des données est réalisée en utilisant un ensemble de niveaux de service et de règles selon le tableau ci-dessous :

Remote profil	Applications	Service level	Protocole	Ports	DSCP
	Ip Phone	SL-Voice	UDP (RTP / CRTP)	16384–32767	46 (EF)
	Video Conference Endpoint	SL-Interactive video	UDP/RTP	5004	32 (CS4)
	ERP (Sage)	SL-Critical Data	TCP	SQL: 1433	18/20/22/23/24 (AF2x)
	Transfer des données	SL-Bulk Data	TCP	FTP: 20/21	10/12/14 (AF1x)

FIG. 4.3: Classification des applications-modèles à 4 classes.

Niveaux de Service : Les 04 services level qui serviront à différencier les données qui transitent par les terminaux sont :

- Voice
- Interactive video
- Critical Data
- Bulk Data

1. Ip Phone

- **UDP** est choisi permet une transmission rapide sans contrôle de réception, ce qui est essentiel pour la voix en temps réel où la rapidité prime sur la fiabilité absolue..
- **RTP (Real-time Transport Protocol)** est utilisé pour transporter les flux audio.
- **CRTP (Compressed RTP)** permet de réduire la charge sur le réseau.

- Les **ports 16384–32767** sont les plages standard pour RTP dans VoIP (notamment avec SIP).
- Le **DSCP 46 (EF)** (Expedited Forwarding) indique que ces paquets de voix doivent être prioritaires sur le réseau, afin de garantir une bonne qualité de service (QoS) en réduisant la latence et la perte de paquets.

2. Video Conference Endpoint

- **UDP/RTP** est également utilisé ici pour la vidéo temps réel, permettant une transmission fluide sans attendre les accusés de réception.
- Le port **5004** est une valeur typique pour RTP vidéo (selon les standards IETF).
- Le **DSCP 32 (CS4)** fournit une priorité élevée (juste en dessous de la voix), suffisante pour la vidéo interactive sans interruption.

3. ERP (Sage)

- **TCP** est également utilisé ici pour la vidéo temps réel, permettant une transmission fluide sans attendre les accusés de réception.
- **SQL Server** : TCP/1433

DSCP AF2x reflète une priorité importante, mais pas critique en temps réel. Ces applications ne tolèrent pas la perte, mais peuvent gérer un peu de délai.

4. Transfert des données

- **TCP** est essentiel pour garantir l'intégrité des fichiers transférés.
- **FTP** : utilise
 - **Port 21** pour la commande
 - **Port 20** pour le transfert des données
- Le **DSCP dans la gamme AF1x** correspond à un trafic non-urgent. Le transfert peut être retardé sans impact critique, donc priorité faible. [15]

4.4 Infrastructure du réseau

4.4.1 Topologie du réseau

La topologie adoptée pour l'infrastructure réseau est de type étoile, dans laquelle un hub central connecté via satellite interagit avec plusieurs sites distants. Ce schéma permet une centralisation de la gestion du trafic, facilite l'implémentation de mécanismes de qualité de service (QoS) et renforce la sécurité des échanges.

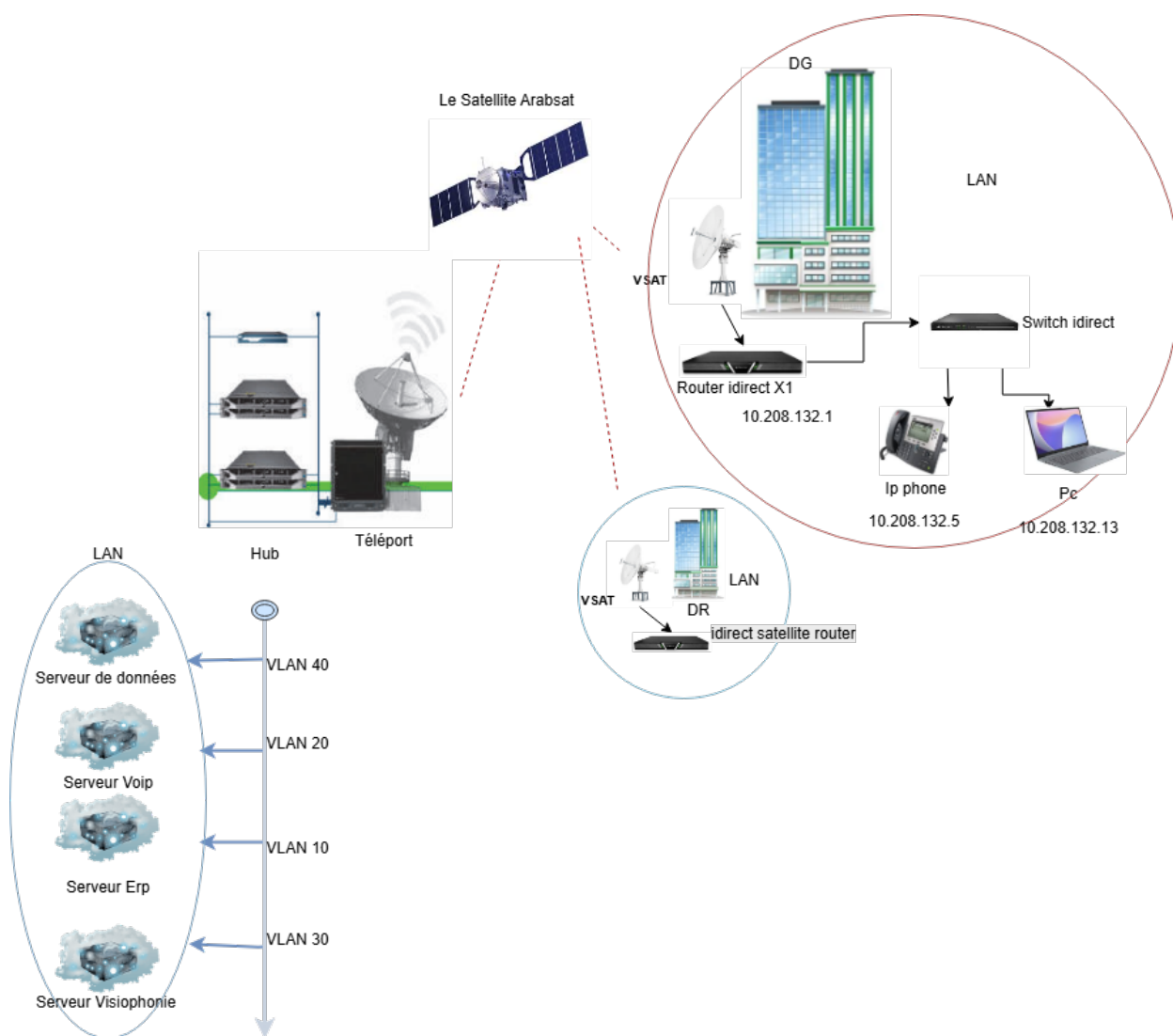


FIG. 4.4: Architecture du réseau .

4.4.2 Plan d'Adressage IP du Réseau

Le réseau VSAT repose sur un adressage structuré en deux volets : un adressage LAN spécifique à chaque site distant, et un adressage WAN point-à-point pour les liaisons satellite vers le hub. Les adresses WAN sont extraites de la plage **10.0.0.0/8** et configurées en /30.

Le réseau interne du hub est basé sur le sous-réseau **192.168.0.0/24**, où l'adresse **192.168.0.1** est attribuée à l'interface LAN du routeur principal. Ce réseau relie les équipements du centre de gestion (commutateurs, pare-feu, serveurs, etc.).

Les serveurs applicatifs sont segmentés en VLANs logiques selon leur fonction.

Site	Interface	Adresse IP	Masque
DG Remote 3	Routeur LAN local	10.208.132.1	255.255.255.0
	WAN vers Hub	10.0.1.10	255.255.255.252
	PC utilisateur (LAN)	10.208.132.13	255.255.255.0
	Téléphone VoIP (LAN)	10.208.132.5	255.255.255.0
Autres DR (Bechar, Alger, Oran, Constantine...)	Configurations similaires	...	...
Hub Central (VSAT)	LAN interne (vers serveurs)	192.168.0.1	255.255.255.0
	WAN vers DG	10.0.1.9	255.255.255.252
	WAN vers Autres DR	...	...
Serveurs (au Hub)	ERP (VLAN 10)	172.16.10.10	255.255.255.0
	VoIP (VLAN 20)	172.16.20.10	255.255.255.0
	Visioconférence (VLAN 30)	172.16.30.10	255.255.255.0
	Partage de fichiers (VLAN 40)	172.16.40.10	255.255.255.0

TAB. 4.1: Plan d'adressage IP du réseau .

4.4.3 Équipements et logiciels utilisés

A. Équipements matériels

Hub central (Téléport) :

- * Une antenne parabolique de 3 à 11 mètres ;
- * Un modem Hub iDirect ;
- * Un serveur NMS pour la supervision du réseau ;
- * Deux commutateurs réseau (switchs) ;
- * Un routeur principal ;
- * Un serveur de gestion de la politique de priorisation (serveur PP) ;
- * Quatre serveurs métiers dédiés aux services critiques : VoIP, ERP, visioconférence et transfer des données.

Stations VSAT :

- * Une antenne parabolique de **1,8 m** installée sur un support non pénétrant ;
- * Un parafoudre pour la protection contre la foudre ;
- * Un système de soufflage (Rain Blower) pour maintenir l'antenne propre en cas d'intempéries ;
- * Un bloc ODU incluant :
 - Un BUC de **6 W** (uplink) ;
 - Un LNB de type PLC (downlink) ;
- * Des câbles coaxiaux IFL de type **RG6** reliant l'ODU à l>IDU ;
- * Une unité intérieure intégrant le modem/routeur iDirect modèle **X1** ;
- * Un commutateur local (switch 24 ports) ;
- * Un réseau LAN représentatif du site (DG), composé d'un **téléphone IP** et d'un **ordinateur**, tous deux connectés au switch local.

B. Logiciels (Gestion du hub)

1. **iBuilder** : Configuration des profils de trafic, des règles de routage et des politiques QoS ;
2. **iMonitor** : Supervision en temps réel des performances et de l'état du réseau.

4.5 Configuration de la QoS

L'ensemble de la configuration a été appliqué au niveau du terminal VSAT du site DG (Remote 3), afin de mettre en œuvre la QoS sur le trafic applicatif. Les étapes suivantes décrivent la procédure de configuration réalisée via la plateforme iBuilder.

4.5.1 Création du Bandwidth Group

La première étape consiste à définir un **Bandwidth Group** (groupe de bande passante), permettant de répartir la capacité totale disponible entre les différents sites VSAT. Ce groupe établit les limites minimales (CIR) et maximales (MIR) de bande passante pour les communications montantes et descendantes.

- **Downstream** : CIR = 32 Mbps, MIR = 80 Mbps
- **Upstream** : CIR = 1 Mbps, MIR = 4 Mbps

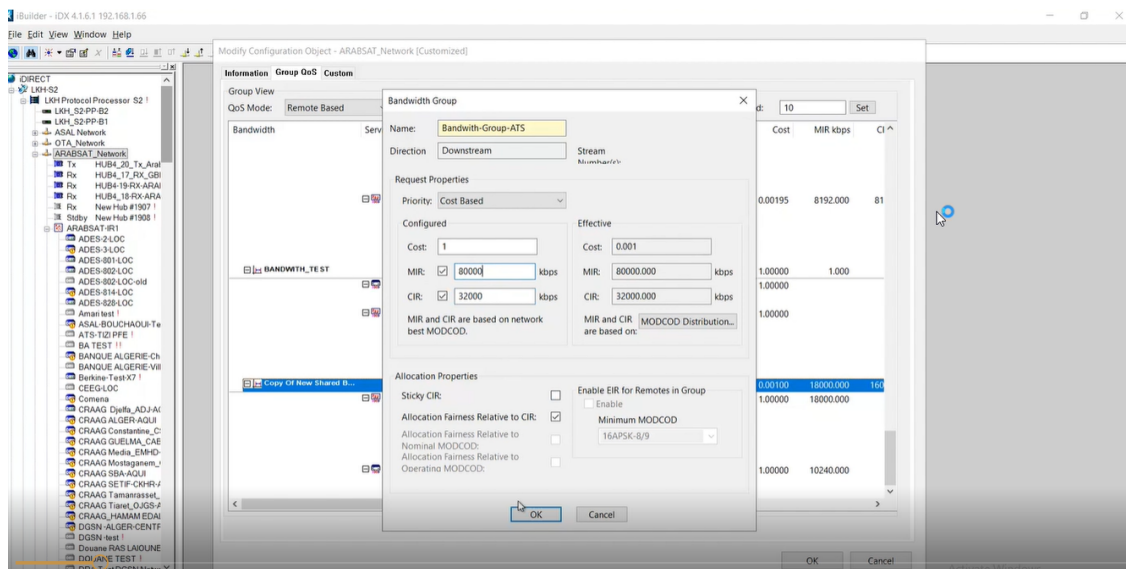


FIG. 4.5: Création du Bandwidth Group (ATS) définissant les taux CIR et MIR pour la direction générale.

4.5.2 Création des Remote Service Group

Les Remote Service Groups sont utilisés pour regrouper les remotes selon leurs profils d'utilisation. Cela facilite l'attribution de politiques QoS cohérentes. Dans notre cas, deux groupes ont été créés : GTM pour les sites principaux, et GTSE pour les sites secondaires ou spécifiques.

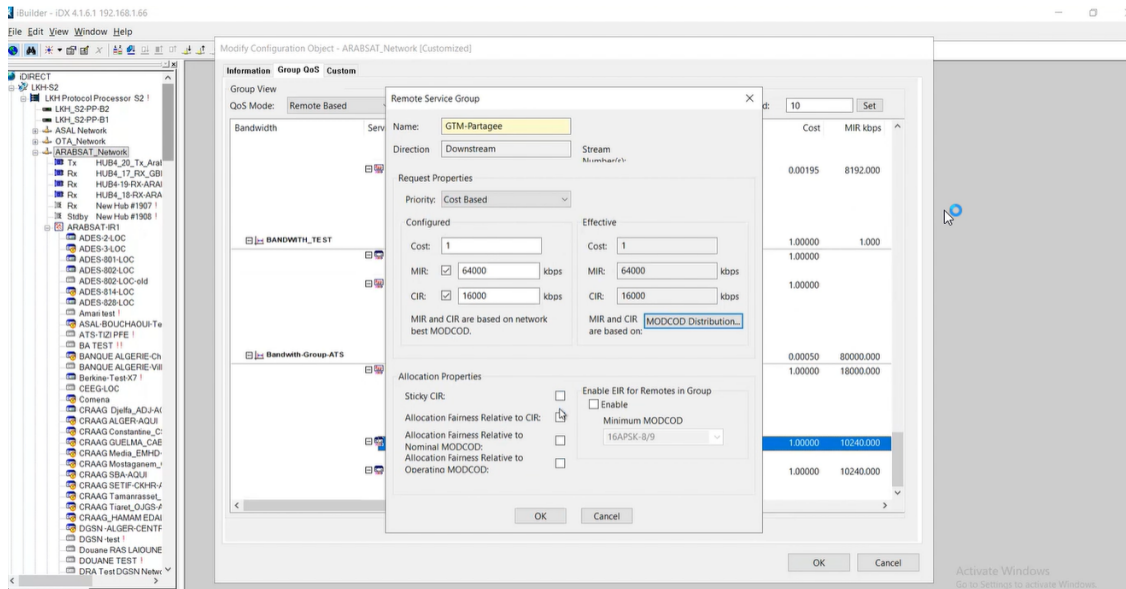


FIG. 4.6: Création du groupe de service distant GTM, regroupant des remotes avec des besoins similaires.

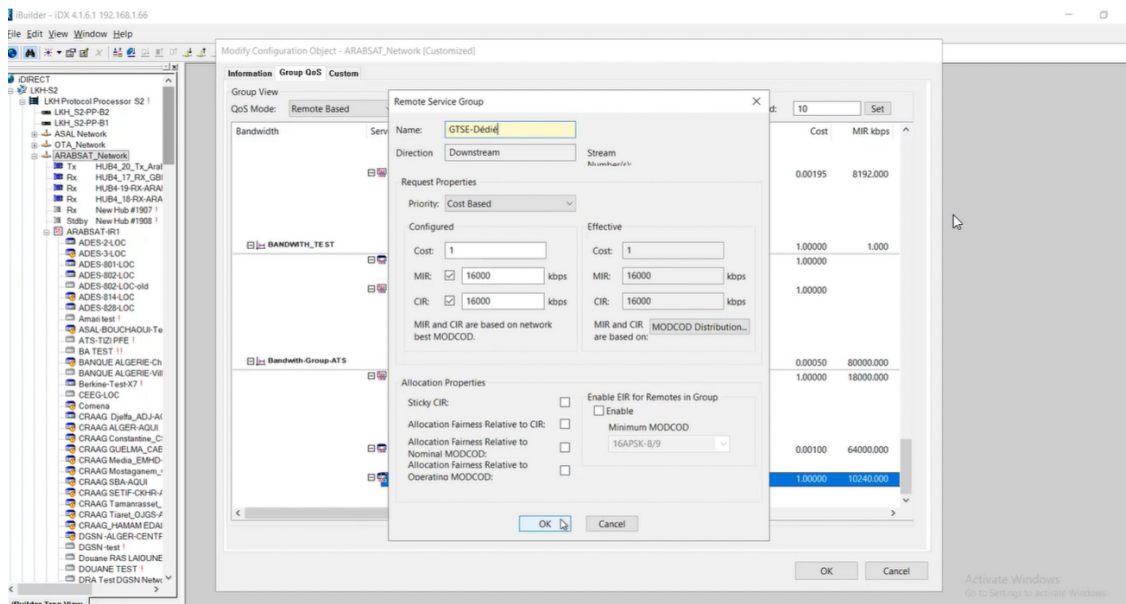


FIG. 4.7: Création du groupe de service distant GTSE, destiné à d'autres catégories de sites.

4.5.3 Définition des Application Profiles

Les **Application Profiles** permettent d'identifier et de classer le trafic réseau selon l'application (VoIP, ERP, FTP, etc.), afin de lui appliquer des règles spécifiques de priorité et de bande passante. Chaque profil est associé à un Service Level et à une file d'attente adaptée.

Profil VoIP :

Ce profil est destiné aux communications téléphoniques IP (IP Phone), très sensibles à la latence et à la gigue. Il est donc configuré avec la plus haute priorité.

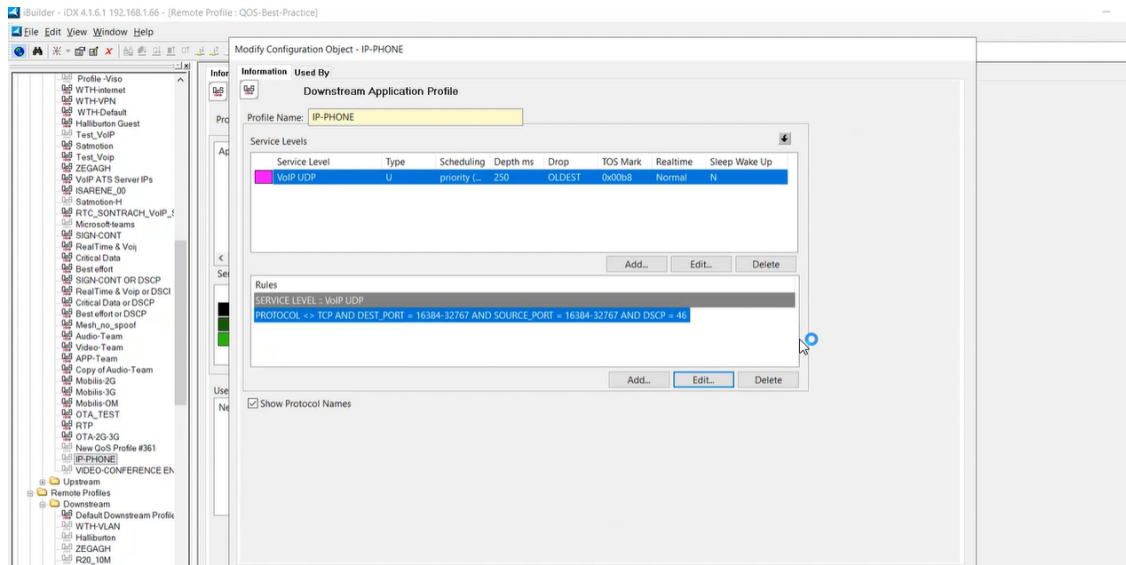


FIG. 4.8: Définition de l'Application Profile pour les communications IP Phone.

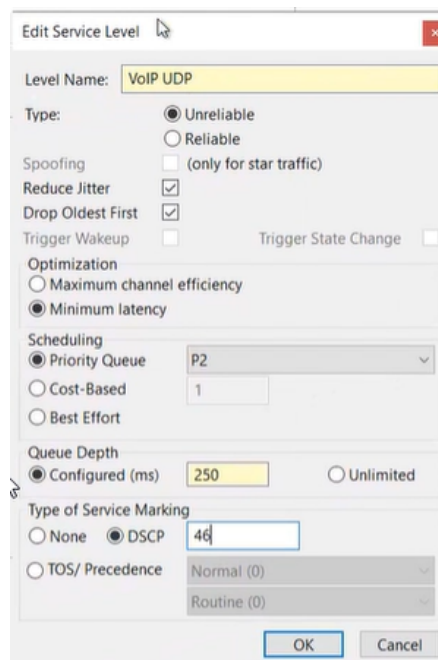


FIG. 4.9: Service Level associé au profil VoIP, lui attribuant une priorité élevée.

Profil Vidéoconférence :

La vidéoconférence nécessite une bonne qualité de service pour garantir la fluidité audio/vidéo. Elle est placée en priorité juste en dessous de la voix.

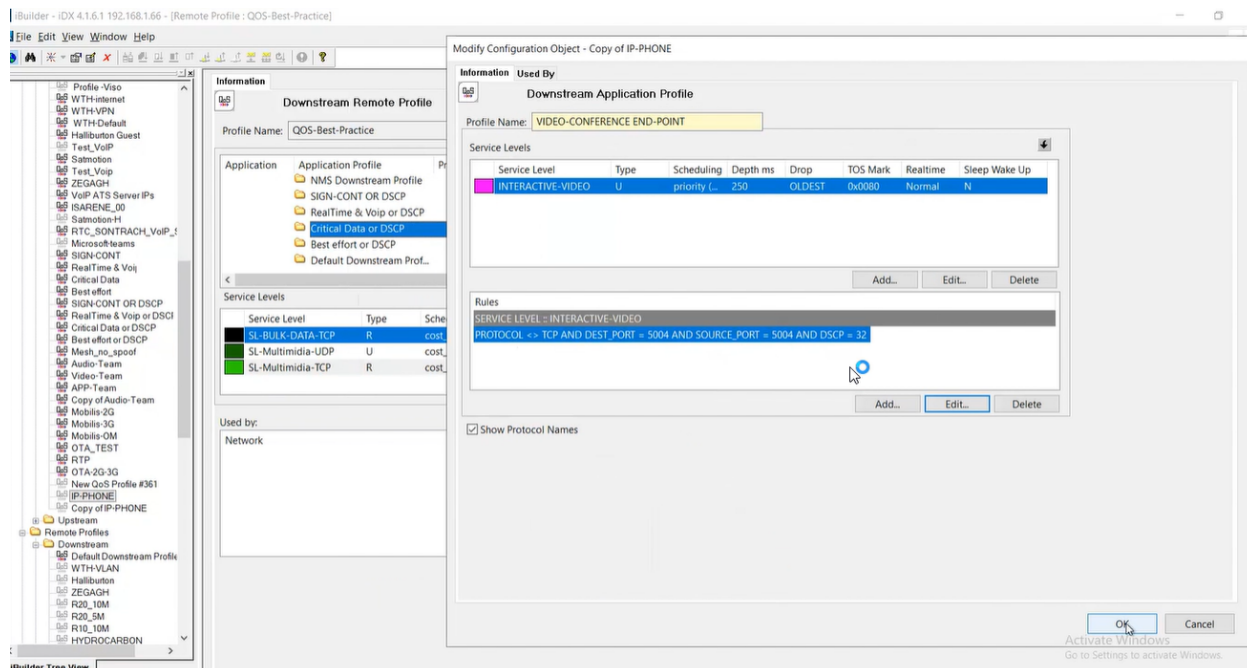


FIG. 4.10: Profil Vidéoconférence avec matching basé sur les ports UDP utilisés par les applications de conférence.

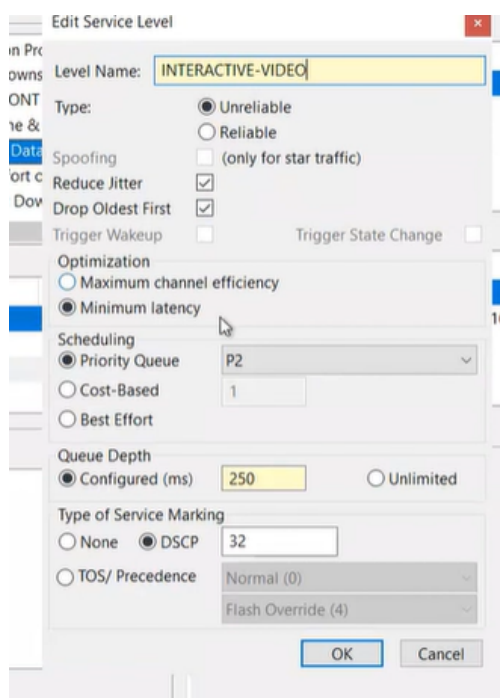


FIG. 4.11: Service Level de la Vidéoconférence, avec une priorité élevée mais inférieure à celle de la VoIP.

Profil ERP (Sage) :

L'ERP est une application métier critique mais moins sensible à la latence que la voix ou la vidéo. Elle est traitée avec une priorité moyenne.

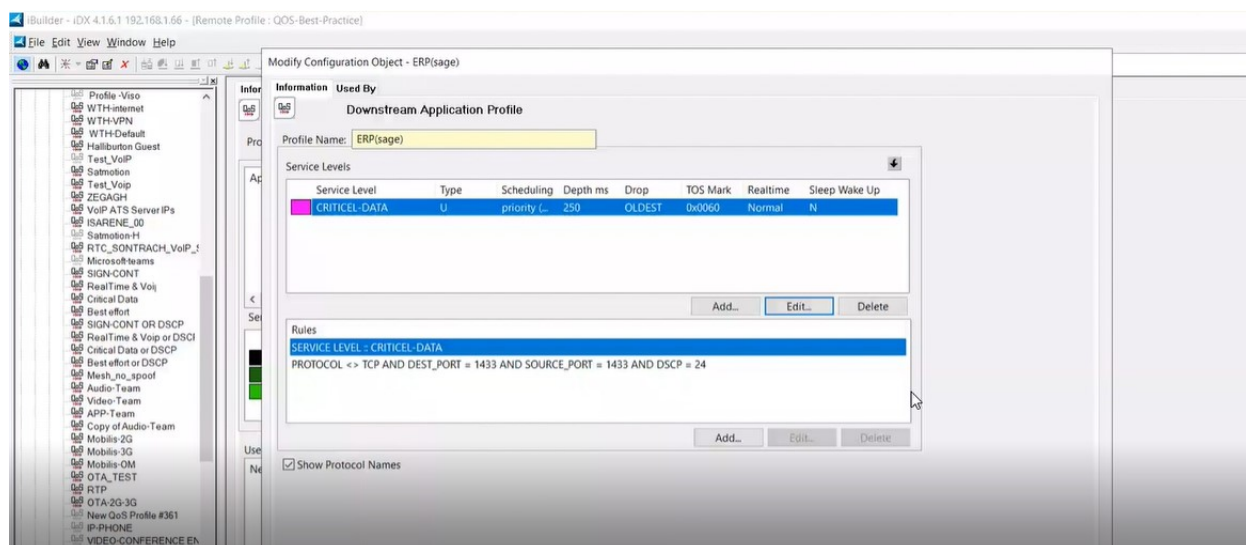


FIG. 4.12: Application Profile pour l'ERP (Sage), basé sur l'adresse IP du serveur et le port d'application.

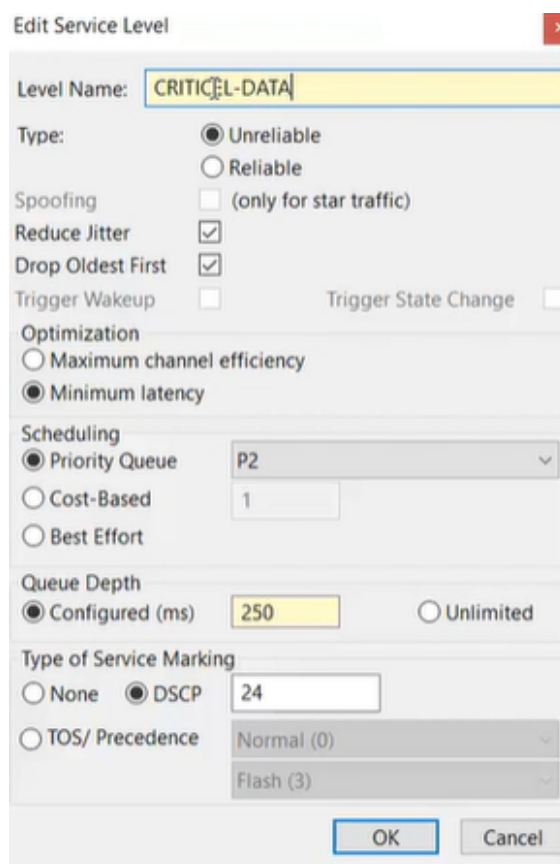


FIG. 4.13: Niveau de service attribué à l'ERP : priorité moyenne, garantissant stabilité et performance.

Profil tansfert de fichiers :

Le transfert de données (FTP, partages de fichiers, mises à jour) n'est pas prioritaire. Il est configuré en mode Best Effort.

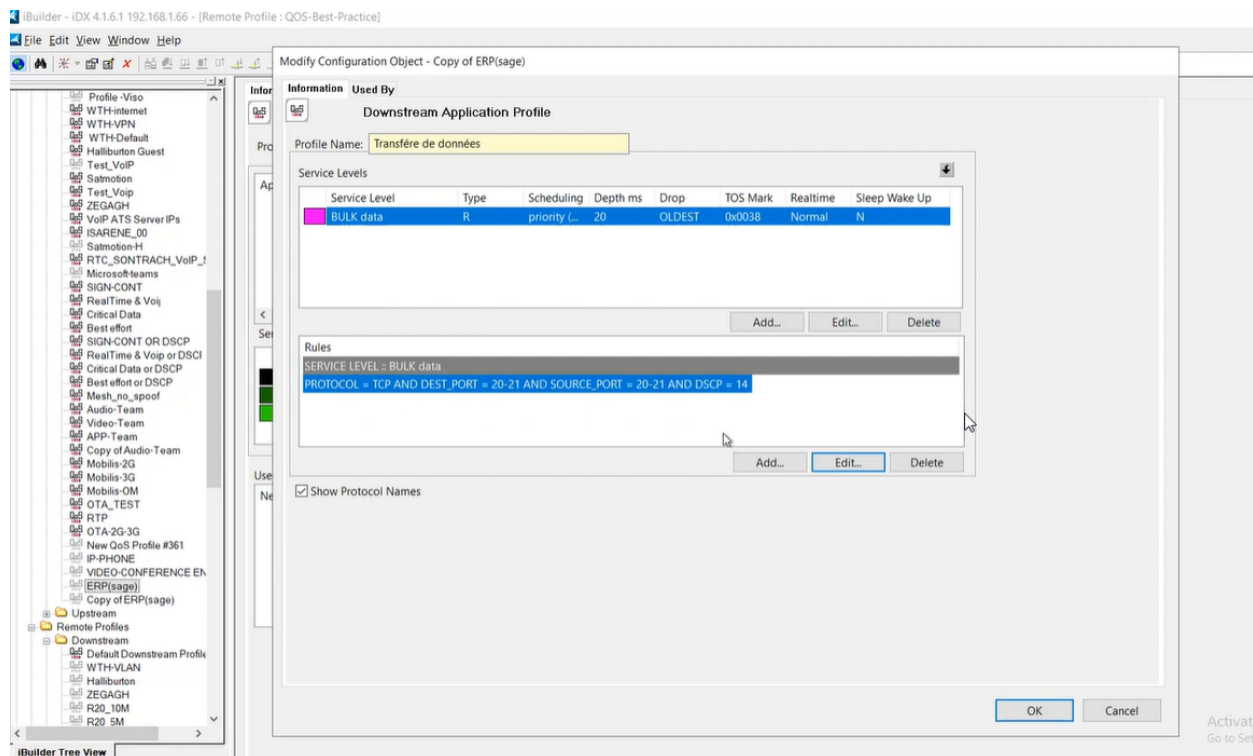


FIG. 4.14: Profil pour les transferts de fichiers, avec une priorité basse afin de ne pas perturber les services critiques.

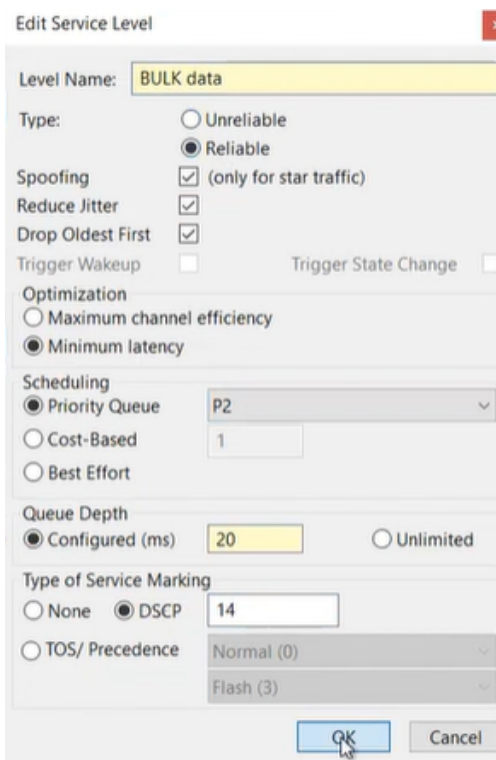


FIG. 4.15: Service Level des transferts : file d'attente de type Best Effort.

4.5.4 Création du Remote Profile : Remote-DG

Les différents application profiles sont regroupés dans un **Remote Profile** appliqué au terminal du site DG (Direction Générale). Ce profil permet de centraliser la configuration QoS appliquée à ce site.

Downstream (réception) :

- CIR = 4 Mbps
- MIR = 16 Mbps
- Applications : IP Phone, Vidéoconférence, ERP, Transfert de données

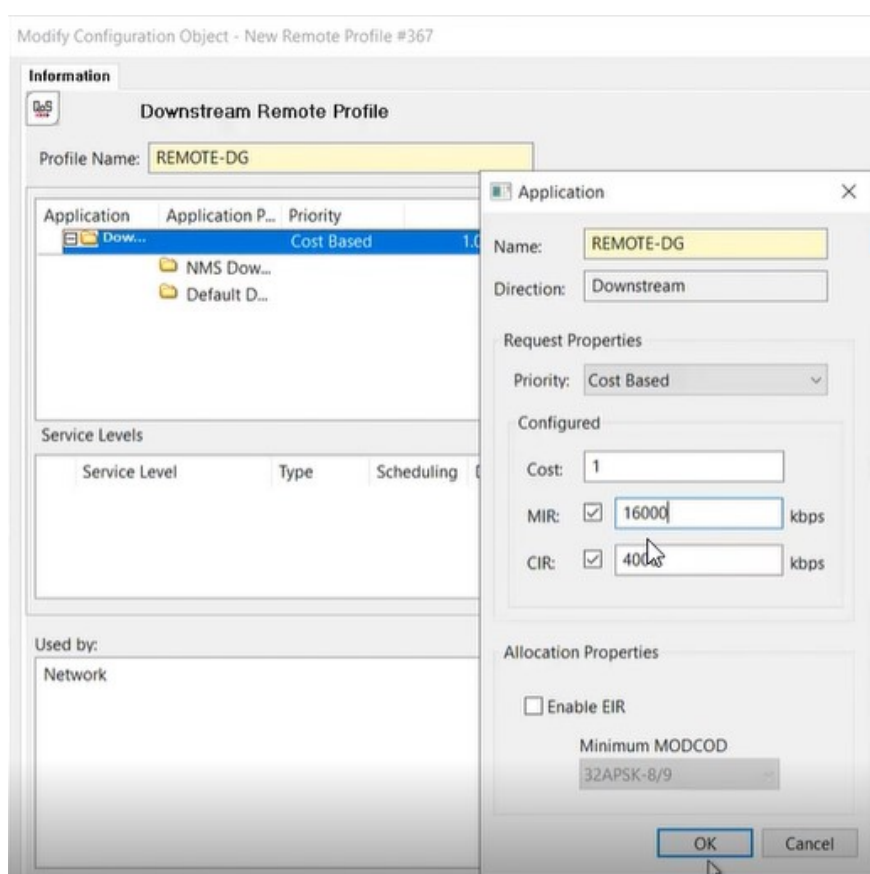


FIG. 4.16: Création du Remote Profile Remote-DG pour le flux descendant.

Upstream (émission) :

- CIR = 1 Mbps
- MIR = 4 Mbps
- Applications : mêmes profils, adaptés à la montée

4.5.5 Configuration du modem VSAT sur iBuilder

Le profil QoS est ensuite appliqué au modem du site DG à travers iBuilder. Il est important d'y configurer également les paramètres IP, la localisation géographique et les interfaces RF.

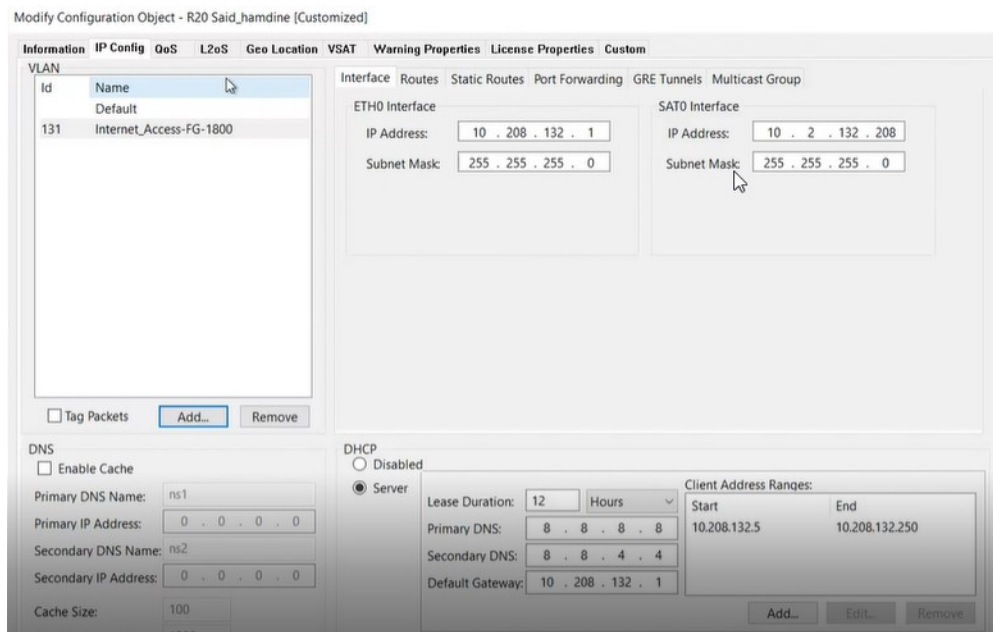


FIG. 4.17: Configuration IP du modem, incluant l'adresse IP, le masque, et la passerelle.

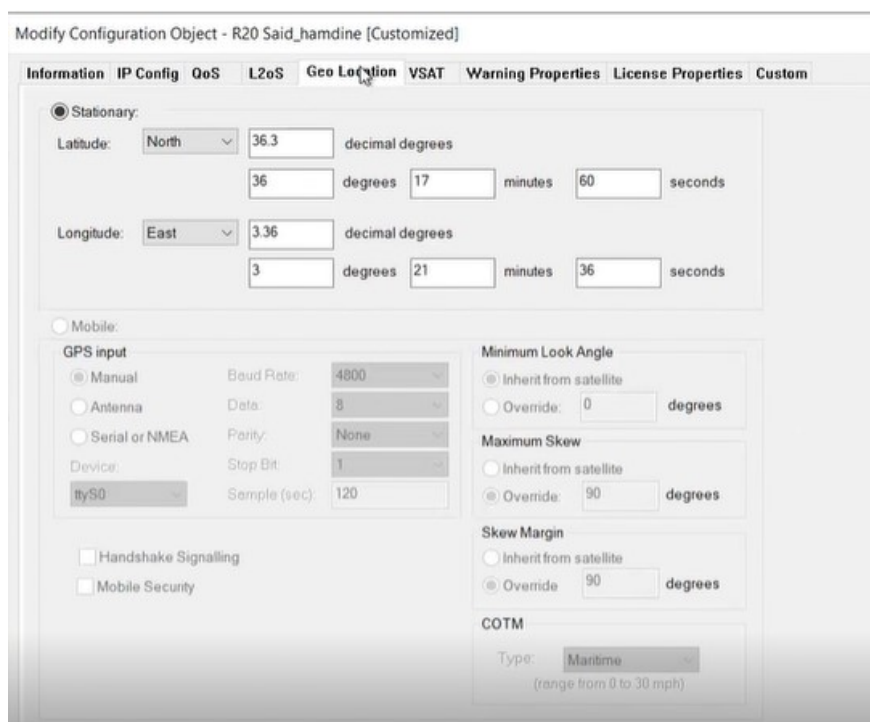


FIG. 4.18: Géolocalisation précise du site distant pour le calcul automatique des paramètres satellite.

Modify Configuration Object - R20 Said_hamdine [Customized]

Information IP Config QoS L2oS Geo Location VSAT Warning Properties License Properties Custom

Remote Antenna

IFL: None

BUC: iDirect 3W Ku-Band

Reflector Mount: None

Reflector: None

LNB: iDirect Ku-Band PLL

☐ Boost LNB Voltage for Long Cable

Approx. Cable Length: 0 m

IFL BUC Reflector Mount Reflector LNB

IFL

Manufacturer: None

Manufacturer Part Number:

iDIRECT Part Number:

Loss: 0 dB

DC Resistance: 0 ohm

FIG. 4.19: Paramètres du terminal VSAT, incluant le type de BUC et de LNB utilisés.

4.5.6 Association des Application Profiles au remote profile

L'étape suivante consiste à insérer les Application Profiles dans le Remote Profile. Chaque profil est associé à une file d'attente et à une priorité bien définie :

1. **NMS** : priorité maximale (supervision du réseau) ,
2. **VoIP** : priorité très haute
3. **Vidéoconférence** : priorité haute,
4. **ERP** : priorité moyenne
5. **Transfert des fichiers** : Best Effort

Information

Downstream Remote Profile

Profile Name: REMOTE-DG

Application	Application P...	Priority	Cost	MIR kbps	CIR kbps	EIR Min Mod...	ID
REM...		Cost Based	1.00000	16000	4000		
NMS Dow...							1957
IP-PHONE							1958
VIDEO-CO...							1959
ERP(sage)							1960
Transfère ...							1961
Default D...							1962

Service Levels

Service Level	Type	Scheduling	Depth ms	Drop	TOS Mark	Realtime	Sleep Wake Up

Used by:

Network Remote

FIG. 4.20: Insertion des Application Profiles dans le Remote Profile Remote-DG.

4.5.7 Application finale de la QoS sur le modem

La dernière étape consiste à affecter l'ensemble des composants QoS au modem correspondant. Cette opération active la QoS sur le terminal VSAT.

- **Bandwidth Group** : ATS
- **Remote Profile** : Remote-DG
- **Remote Service Group** : GTM-Partagée

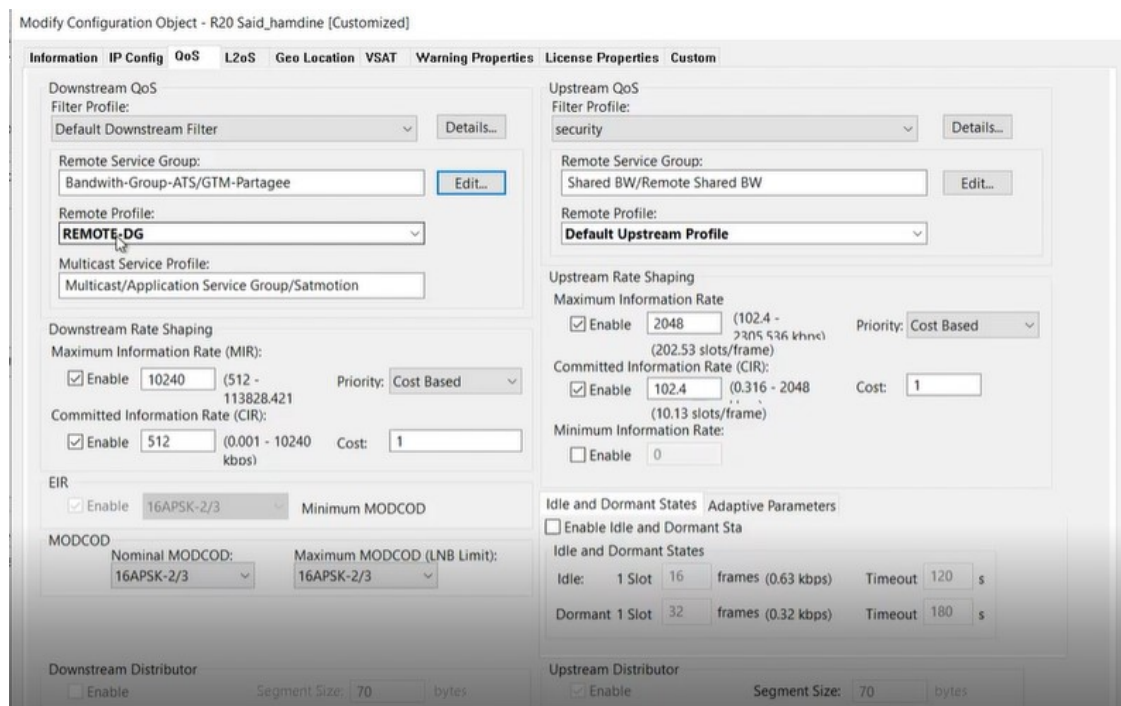


FIG. 4.21: Application de la configuration QoS complète sur le modem de la direction générale.

4.6 Tests et Validation

L'évaluation des performances a été réalisée sur le site **Remote 3 (DG)**, qui regroupe des services critiques tels que la VoIP, l'ERP et la navigation web. Deux configurations réseau ont été testées :

1. **Sans QoS** : tous les flux sont traités en mode Best Effort.
2. **Avec QoS** : une hiérarchisation du trafic est appliquée via la fonctionnalité GQoS

4.6.1 Vérification Initiale de la Connectivité

Avant de lancer les campagnes de tests, une vérification de la connectivité IP a été effectuée via ICMP (ping) afin de s'assurer le bon fonctionnement des liaisons satellitaires :

- 10.208.132.13 : poste utilisateur
- 10.208.132.5 : téléphone IP
- 10.208.132.1 : modem iDirect

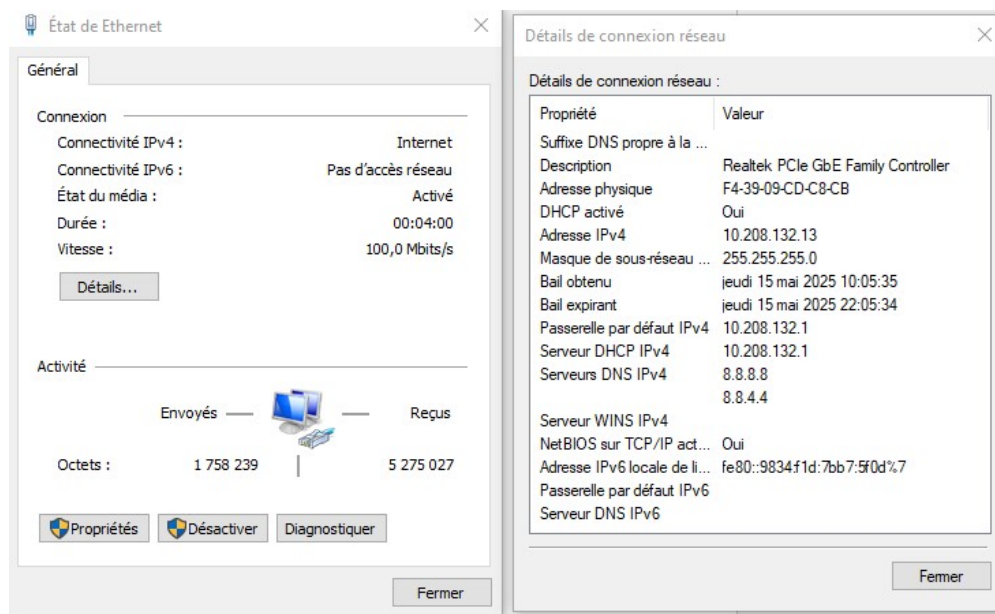


FIG. 4.22: Paramètres réseau du poste utilisateur

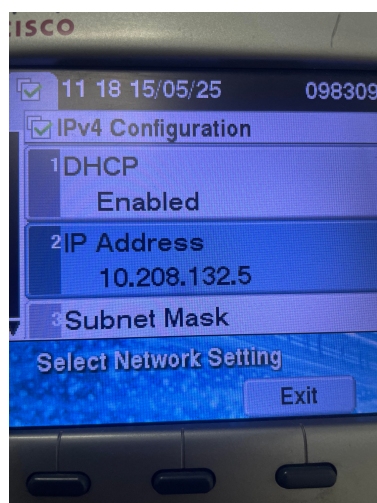


FIG. 4.23: Adresse IP attribuée au téléphone IP

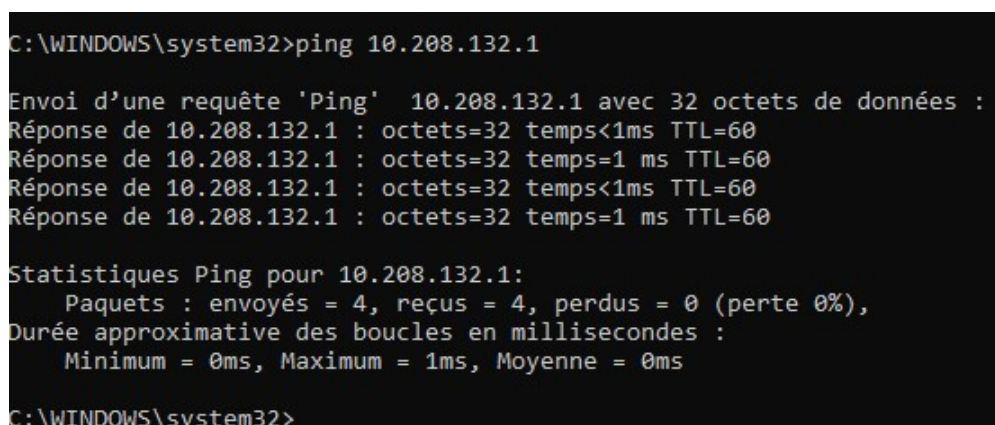


FIG. 4.24: Test de connectivité ICMP vers le modem iDirect

4.7 Étude des Cas de Test (d'après les résultats d'iMonitor)

4.7.1 Cas de Test 1 : VoIP – Avant et Après QoS

Critère	Sans QoS	Avec QoS
Latence moyenne	> 600 ms	200 ms
Gigue (Jitter)	Jusqu'à 120 ms	< 30 ms
Pertes de paquets	3 à 5%	< 1%
MOS (Mean Opinion Score)	2.1 (mauvais)	4.0 (bon)

TAB. 4.2: Comparaison des performances VoIP avec et sans QoS

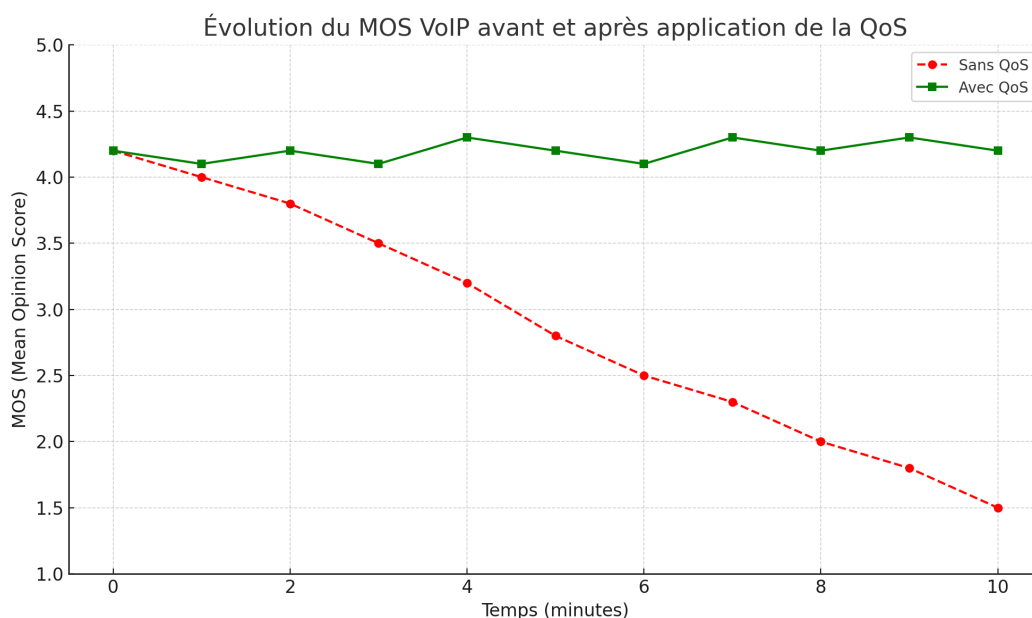


FIG. 4.25: Évolution du score MOS VoIP – sans et avec QoS

Analyse de la Figure 4.25 : Cette figure illustre l'impact direct de la QoS sur la qualité de la voix mesurée par le score MOS (Mean Opinion Score). Avant la mise en œuvre, la qualité perçue des appels est médiocre (MOS = 2.1). Après application de la QoS, grâce à la priorisation du trafic voix et à la réduction de la latence, le MOS dépasse 4, correspondant à une excellente qualité de communication VoIP.

4.7.2 Cas de Test 2 : Applications critiques – Avant et Après QoS

Applications	Sans QoS	Avec QoS
Vidéoconférence	Gigue > 150 ms, image pixelisée, désynchronisation A/V	Gigue < 30 ms, image HD fluide, bonne synchronisation
ERP (Sage)	Temps de réponse > 4 s, requêtes échouées = 10%	Temps de réponse 1.2 s, requêtes réussies > 99%
FTP (Transfert de fichiers)	Débit instable (250 kbps), congestion fréquente	Débit stable (1.2 Mbps), transfert optimisé

TAB. 4.3: Comparaison des performances applicatives avec et sans QoS

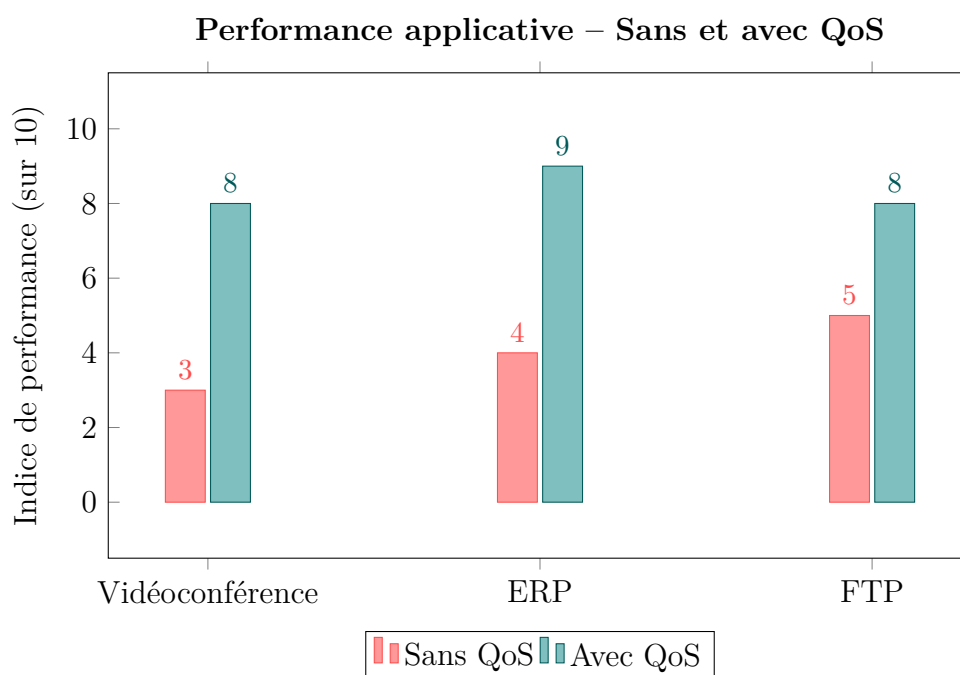


FIG. 4.26: Comparaison des performances des applications critiques avant et après application de la QoS

Analyse de la Figure 4.26 : Ce graphique compare l'indice de performance des applications critiques (visioconférence, ERP, FTP). L'introduction de la QoS améliore drastiquement les performances, avec un gain de fluidité pour la visioconférence, une meilleure réactivité des logiciels ERP, et une stabilité accrue des transferts FTP.

4.7.3 Cas de Test 3 : VoIP + FTP – Avant et Après QoS

Critère évalué	Sans QoS	Avec QoS
Priorité du trafic VoIP	Aucune	Classe EF (priorité maximale)
Saturation du lien	Oui (FTP dominant)	Contrôlée (régulation active)
Latence VoIP moyenne	> 700 ms	< 200 ms
Pertes de paquets VoIP	> 12%	1–2%
Score MOS	1.5	4.0
Impact du FTP sur la VoIP	Fortement perturbateur	Négligeable
Utilisation de la bande passante	FTP monopolise	VoIP garantie; FTP relégué

TAB. 4.4: Test combiné VoIP + FTP en cas de congestion – sans et avec QoS

VoIP + FTP : Effet de la QoS sur les performances combinées

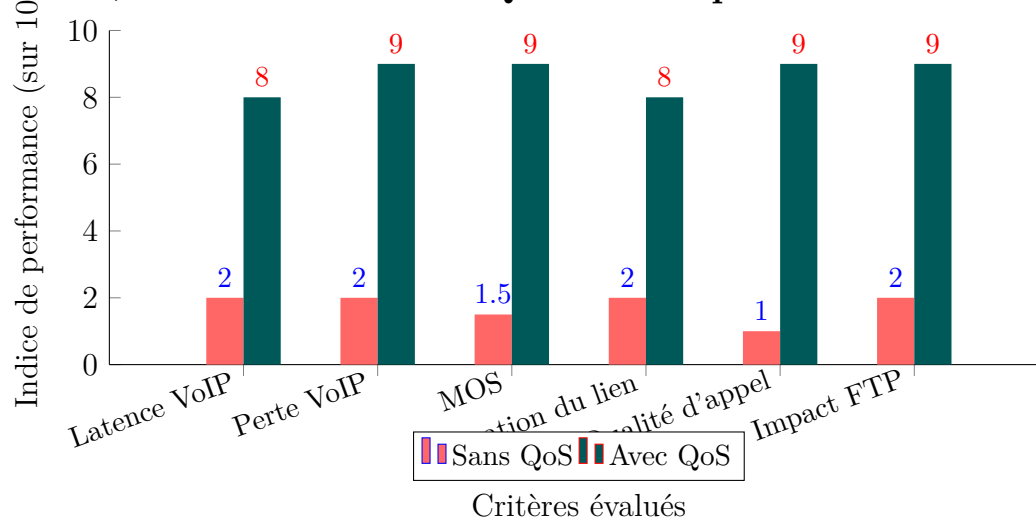


FIG. 4.27: Comparaison des performances combinées VoIP + FTP avec et sans QoS

Analyse de la Figure 4.27 : Ce graphique synthétise les effets de la QoS dans un scénario de congestion : les appels VoIP souffrent gravement sans mécanisme de gestion (latence, MOS, pertes). Une fois la QoS appliquée, le trafic FTP est contenu et la voix est traitée avec priorité maximale, assurant une excellente qualité de service.

4.8 Conclusion

La mise en oeuvre de la Qualité de Service (QoS) dans un réseau satellitaire basé sur la technologie *iDirect* s'est révélée être une approche efficace pour répondre aux exigences croissantes en matière de performance et de fiabilité des communications. Grâce à une configuration minutieuse des éléments tels que les Bandwidth Groups, les Application Profile et les Remotes Profiles, nous avons pu hiérarchiser les flux de données, garantir une allocation équitable de la bande passante et prioriser les applications critiques telles que la VoIP ou la visioconférence.

Les différents cas de test réalisés ont mis en évidence des améliorations significatives en matière de latence, de stabilité des communications, ainsi que de qualité perçue par les utilisateurs (notamment à travers le score MOS pour la VoIP). Ces résultats confirment que, dans un environnement satellitaire souvent contraint par la latence et les limitations de bande passante, une stratégie de QoS bien structurée permet de compenser ces défis et d'assurer une expérience utilisateur optimale.

Ainsi, la plateforme iDirect, avec ses outils de configuration avancés et sa flexibilité, constitue une solution robuste pour l'implémentation de la QoS dans les réseaux VSAT. Elle permet non seulement d'optimiser les performances réseau, mais aussi de répondre aux besoins spécifiques des organisations opérant dans des zones isolées.

Conclusion Générale

Ce mémoire a permis de conduire une étude complète sur l'implémentation de la **qualité de service (QoS)** dans les réseaux satellitaires reposant sur la technologie **iDirect**, une solution largement adoptée pour fournir de la connectivité dans des zones dépourvues d'infrastructure terrestre. Dans un environnement où les ressources sont limitées et la bande passante précieuse, garantir une distribution équitable et efficace des flux constitue un enjeu central.

Les travaux réalisés ont d'abord permis d'acquérir une compréhension approfondie des **fondamentaux des télécommunications par satellite**, des architectures de réseaux **VSAT en étoile**, et des composants spécifiques de la solution iDirect, notamment le *hub*, les modems distants, et les plateformes logicielles de gestion *iBuilder* et *iMonitor*. Cette base théorique a ensuite été mise à profit dans une phase pratique de configuration et de test sur un réseau réel, déployé au sein de l'opérateur **Algérie Télécom Satellite (ATS)**.

La configuration de la QoS a été réalisée de manière méthodique, en créant des profils d'applications spécifiques, en définissant des groupes de services distants selon les priorités métier, et en allouant de façon rationnelle les ressources réseau à travers des groupes de bande passante (*Bandwidth Groups*). L'ensemble de ces paramètres a été appliqué sur des modems opérationnels, dans un environnement réel, en tenant compte des exigences propres à chaque type de trafic.

Les résultats issus des campagnes de test ont montré une amélioration nette des performances réseau, notamment :

- une **réduction significative de la latence** et du **jitter** pour les services VoIP ;
- une **meilleure stabilité des flux critiques**, tels que les systèmes ERP ;
- une **gestion optimisée de la bande passante** lors des périodes de forte sollicitation.

Cette étude a ainsi démontré que la technologie iDirect, lorsqu'elle est exploitée avec une politique QoS bien conçue, constitue une solution robuste et adaptable pour la **gestion fine du trafic dans un environnement satellitaire contraint**. Elle permet non seulement de hiérarchiser les flux selon leur criticité, mais aussi d'assurer un usage plus équitable et plus performant des ressources réseau.

En définitive, ce projet a été l'occasion de mettre en œuvre des compétences avancées en **architecture de réseau**, en **gestion de trafic**, en **analyse de performance**, et en **administration de solutions VSAT**, tout en contribuant à la réflexion sur l'optimisation des réseaux hybrides dans le contexte algérien et au-delà.

Limites et perspectives de recherche

Contraintes rencontrées :

- **Sensibilité aux conditions atmosphériques** pouvant impacter la stabilité du lien VSAT
- **Bande passante limitée** nécessitant une allocation fine des priorités
- **Absence d'automatisation de certains tests extrêmes**
- **Supervision en temps réel non prédictive**

Pistes futures d'amélioration :

- Intégration d'algorithmes **d'intelligence artificielle** pour une QoS adaptative
- Étude de **scénarios multi-satellitaires** (GEO/LEO) pour plus de résilience
- **Comparaison multi-plateformes** VSAT (iDirect, Hughes, Newtec)
- Développement d'une **allocation dynamique intelligente** selon les profils d'usage
- Implémentation d'une **supervision QoS centralisée multi-sites**

Bibliographies

- [1] Douglas, A. A. M. E. H. O. A. J. B. G. (2000). *Introduction to Telecommunications*. Prentice Hall.
- [2] *Les Satellites*. CNES.fr, 2023. Disponible sur : <https://cnes.fr/dossiers/satellites> (consulté le 18 février 2025).
- [3] *Applications des satellites - Les différents types de satellites artificiels*. Techno-Science.net. Disponible sur : <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Applications-des-satellites-page-2.html> (consulté le 4 mars 2025).
- [4] Global Tel Networks, *Coup d'œil sur les différents types de satellites*. Disponible sur : <https://globaltelnetworks.net/24-coup-d%C593il-sur-les-diff%C3A9rents-types-de-satellites> (consulté le 7 février 2025).
- [5] *Ketinggian Satelit Saat Mengorbit Bumi*. Metrum. Disponible sur : https://metrum.co.id/ketinggian-satelit-saat-mengorbit-bumi/leo-meo-geo_insider (consulté le 5 mars 2025).
- [6] Forouzan, B. A. (2017). *Data Communications and Networking*. McGraw-Hill Education.
- [7] *Généralités*. Université d'Annaba. Disponible sur : https://elearning-facsci.univ-annaba.dz/pluginfile.php/29223/mod_resource/content/1/TF_S4_Chapitre1_G%C3%A9n%C3%A9ralit%C3%A9s.pdf (consulté le 28 mars 2025).
- [8] De Santis, M. (2024). *Latence - Définition, mode d'emploi et applications*. Appvizer. Disponible sur : <https://www.appvizer.fr/magazine/technologie/editeurs/latence-glossaire> (consulté le 1er avril 2025).
- [9] *Voyant ADSL figé sur modem Huawei HG 532*. Huawei Forum. Disponible sur : <https://forum.huawei.com/enterprise/intl/fr/thread/voyant-adsl-fig%C3%A9-sur-modem-huawei-hg-532/696759314322178048> (consulté le 19 mars 2025).
- [10] *Zone de couverture : définition et explications*. Techno-Science.net. Disponible sur : <https://www.techno-science.net/definition/10270.html> (consulté le 22 mars 2025).
- [11] *Régions de l'UIT*. FMUSER. Disponible sur : <https://fr.fmuser.net/wap/content/?7695.html> (consulté le 27 janvier 2025).

- [12] *Qu'est-ce que la gigue ?* Statistics Easily. Disponible sur : <https://fr.statisticseasily.com/glossaire/qu'est-ce-que-la-gigue/> (consulté le 11 mars 2025).
- [13] *Architecture d'un système de communications par satellite.* Techniques de l'Ingénieur, 2024. Disponible sur : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-communication-et-telecommunication-42258210/architecture-d-un-systeme-de-communications-par-satellite-e6160/> (consulté le 9 mai 2025).
- [14] Watkins, M. *Satellite Communication System*. SlidePlayer. Disponible sur : <https://slideplayer.com/slide/5787016/> (consulté le 21 février 2025).
- [15] Singh, R. P. (2005). *Telecommunication Systems*. APH Publishing.
- [16] *Éléments du RADARSAT-1.* Agence spatiale canadienne. Disponible sur : <https://www.asc-csa.gc.ca/fra/satellites/radarsat1/elements.asp> (consulté le 14 mars 2025).
- [17] *Diagramme d'une station VSAT.* ResearchGate. Disponible sur : https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-a-VSAT-station_fig2_220099377 (consulté le 16 mai 2025).
- [18] *Comment fonctionne une station terrestre pour la communication spatiale.* PrimaLuce Space, 2025. Disponible sur : <https://www.primalucespace.com/fr/how-does-a-ground-station-for-space-communication-work/> (consulté le 10 mai 2025).
- [19] *What is Satellite Uplink ?* Electronics Desk. Disponible sur : <https://electronicsdesk.com/satellite-uplink.html> (consulté le 12 mai 2025).
- [20] *What is Satellite Downlink ?* Electronics Desk. Disponible sur : <https://electronicsdesk.com/satellite-downlink.html> (consulté le 12 mai 2025).
- [21] ST Engineering iDirect. *Satellite Communications Solutions*. Disponible sur : <https://www.idirect.net> (consulté le 5 février 2025).
- [22] Wolman, D. (2012). *The Fragile Backbone of the Internet*. Wired Magazine. Disponible sur : <https://www.wired.com> (consulté le 20 mars 2025).
- [23] Haykin, S. et Moher, M. (2016). *Communication Systems*. Wiley.
- [24] *Star Topology - Definition and Core Concept*. Synchronet.net. Disponible sur : https://synchronet.net/star-topology/#Definition_and_Core_Concept (consulté le 18 février 2025).

- [25] *Mesh Topology*. Lenovo. Disponible sur : <https://www.lenovo.com/fr/fr/glossary/mesh-topology/> (consulté le 3 mars 2025).
- [26] *IDirect Technologies Inc.* Sky-Brokers. Disponible sur : <https://sky-brokers.com/supplier/indirect-technologies-inc/> (consulté le 12 mars 2025).
- [27] Ait Bachir, Y. et Tazibt, S. *Étude des Réseaux VSAT*. Mémoire de fin d'études, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie, juillet 2008.
- [28] *iDirect X3 Satellite Router*. NT-VSAT. Disponible sur : <https://nt-vsats.com/indirect-x3-satellite-router/> (consulté le 26 avril 2025).
- [29] iDirect. *iDirect Operation & Maintenance Course (iOM) : Training Guide*. IDX Release 3.3, avril 2016.
- [30] Formip. (2023). *QOS : La qualité de service (QDS) ou Quality of Service (QoS)*. Disponible sur : <https://www.formip.com/pages/blog/qos-qualite-de-service> (consulté le 5 mai 2025).
- [31] Utilisateur Quizlet. (2025). *9 QoS Concepts*. Disponible sur : <https://quizlet.com/555145955/9-qos-concepts-flash-cards/> (consulté le 24 mars 2025).
- [32] *Impact de la QoS sur la gestion du trafic réseau*. ilSoftware.it. Disponible sur : https://www.ilsoftware.it/articoli/Impact-de-la-QoS-sur-la-gestion-du-traffic-reseau_25742.html (consulté le 7 mai 2025).
- [33] iDirect. *iDirect Advanced Operation & Maintenance Course (A. iOM) : Training Guide*. IDX Release 3.3, avril 2016.
- [34] VT iDirect, Inc. *iDirect Quality of Service Boot Camp IQBC Course*. Herndon, VA, USA.
- [35] Sequeira, A. J. (2021). *Routing Technologies and Bandwidth Management*. Pearson IT Certification. Disponible sur : <https://www.pearsonitcertification.com/store/routing-technologies-and-bandwidth-management-9780135308028> (consulté le 17 février 2025).
- [36] Gupta, A., Jain, R. et Singh, S. (2018). *Load balancing techniques in software defined networking : A survey*. Journal of Network and Computer Applications, vol. 131, pp. 34–57. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.01.014>
- [37] Proakis, J. G. et Salehi, M. (2014). *Digital Communication*. McGraw-Hill.
- [38] Cisco Systems. *Policing vs. Shaping [Schéma]*. Cisco Support. Disponible sur : <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/quality-of-service-qos/qos-policing/19645-policevsshape.html> (consulté le 30 mars 2025).

- [39] Kurose, J. F. et Ross, K. W. (2020). *Computer Networking : A Top-Down Approach*. 8^e éd., Pearson, ISBN 978-0136681557.