

GLOSSAIRE

CSRM: Central Satellite Resource Management

DA: Dedicated Access

DCAS: Dynamic Call Allocation Server

DPS: Data Protocol Server

DRPP: Data Remote Protocol Processor

DTH: Direct To Home

DVB: Digital Video Broadcasting

FDMA: Frequency Division Multiple Access

FEC: Forward Error Correction

FSK: Frequency Shift Keying

GA: Guaranteed Access

GEO: Geostationary Earth Orbit

GPS: Global Positioning System

GSM: Global System for Mobile Communications

HEO: High Earth Orbit

HRU: Hub Receiver Unit

HSP: Hub Satellite Processor

IDR: Intermediary Data Rate

IPE: IP Encapsulator

LAPU: Link Access Protocol Unbalanced

LEO: Low Earth Orbit

LNB: Low Noise Block

MF-TDMA: Multi Frequency Time Division Multiple Access

MPEG: Moving Picture Experts Group

NMS: Network Management System

PEPs: Performance Enhancing Proxies

PES: Packetized Elementary Stream

PID: Packet Identifier

PO: Polar Orbit

PSK: Phase Shift Keying

PSTN: Public Switched Telephone Network

PVR: Personal Video Recorder

QoS: Quality of Service

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

RA: Random Access

RSP: Remote Satellite Processor

SDH: Synchronous Digital Hierarchy

SIU: Signaling Interface Unit

SSPA: Solid State Power Amplifier

TDMA: Time Division Multiple Access

VoIP: Video over IP

VPP: Voice Packet Processor

VSAT: Very Small Aperture Terminal

TABLE DES MATIERES

Chapitre I : Présentation de la SONATEL	15
1 .1 Présentation de la SONATEL	15
1.2 Présentation de la station terrienne de Gandoul	16
1.2.1 Situation Géographique	16
1.2.2 Trafic passant par Gandoul	16
1 .3 Présentation et problématique du réseau VSAT actuel	17
Chapitre 2 : Concept de base de la transmission par satellite	19
2.1 Généralités.....	19
2.2. Les Orbites	20
2.2.1 Satellite GEO (Geo-Stationnary Earth Orbit).....	20
2.2.2 Satellite MEO (Medium Earth Orbit).....	21
2.2.3 Satellite LEO (Low Earth Orbit).....	21
2.2.4 Liens Inter-Satellites (ISL).....	21
2.2.5 Le Handover (HO)	21
2.2.6 Fonctionnement d'un système satellitaire : Scénarios des Réseaux	22
a. Interconnexions des Lans	23
b) Mode d'accès utilisateur36	23
2.2.7 Les services de communications par satellite	24
2.2.7.1 Les services de diffusion de la radio et de la télévision	24
2.2.7.2 Les services de téléphonie.....	25
2.2.7.3 Accès large bande et services multimédias	26
2.2.8 La station terrienne.....	26
2.2.9 Les bandes de fréquences	29

2.2.10 Les types de modulations	30
2.2.11 Les méthodes d'accès	33
a. AMRF ou FDMA	33
b. Time Division Multiple Access (TDMA ou AMRT).....	34
c. Code Division Multiple Access (CDMA ou AMRC)	34
d. Multi-Frequency Time Division Multiple Access (MF-TDMA).....	34
2.2.12 Techniques d'accès aléatoire.....	35
2.3 Présentation de la technologie VSAT	36
2.5.1 Définition et principe de fonctionnement VSAT	36
2.5.2 Types de topologies.....	36
a. Topologie maillée	36
b. Topologie en étoile.....	37
c. Topologie mixte.....	38
2.5.3 Gestion de la bande passante.....	38
2.5.4 Comparaison entre les bandes de fréquences utilisées.....	40
2.5.5 Les applications.....	40
2.5.6 Les avantages de la technologie VSAT.....	41
2.5.7 Les inconvénients.....	42
Chapitre III Présentation de la technologie 3 G	43
3.1 Généralité	43
3.2 Les services	44
3.3 Architectures et fonctionnements de l'UMTS	45
3.3.1 Station Mobile (UE, User Equipment).....	46
3.3.2. Le sous-système radio (RNS, Radio Network Subsystem).....	46
3.3.3 Le Node B	46
3.3.4 LE RNC.....	47
3.3.5 Le WCDMA (Wideband-CDMA)	48

3.3.6 Présentation de la méthode d'accès CDMA.....	48
3.3.7 Les avantages du W-CDMA.....	49
Chapitre 4 : Mise en œuvre de la solution.....	50
6.1 Etude de l'évolution de la technologie mobile au Sénégal	50
6.2 Description de la solution technique	50
7. Etude de l'architecture et fonctionnement de la plateforme HUB/VSAT SkyEdge I Bande C de la Sonatel	51
Présentation	51
7.1 Architecture du réseau VSAT Bande C	51
7.2 Le segment spatial.....	51
7.3 Les protocoles utilisés	53
7.4 Le HUB Bande C de Gandoul : la partie bande de base	53
a. Le Modulateur	54
b. L'IP Encapsulator (IPE).....	54
d. Le receiver Cage ou Hub Receiver Unit (HRU)	57
e. Le Sync Device.....	58
f. Le Network Management System (NMS)	59
7.5 Le HUB Bande C : les équipements RF.....	60
7.6 Les stations VSATs.....	62
7.7 Les techniques d'accès au support	63
7.7.2 Le Guaranteed Access (GA)	64
7.7.3 Le Dedicated Access (DA).....	64
8. La plateforme HUB/VSAT Bande Ku	65
8.1 Architecture du réseau VSAT Bande Ku	65
8.2 Le segment spatial et les techniques d'accès au support.....	66
8.3 Le HUB Bande Ku de Gandoul : la partie bande de base	66
a. Le Dynamic Call Allocation Server (DCAS).....	67

b. Voice Packet Processor (VPP)	67
a. Le Media Gateway et le SIU	68
b. Le Border Router.....	68
8.4 Le HUB de Gandoul : les équipements RF	69
8.5 Les stations VSATs.....	70
8.6 La téléphonie fixe, le VPN et l'internet sur VSAT	71
8.6.1 La téléphonie fixe sur VSAT	71
4.6.2 L'Internet et le VPN sur VSAT.....	72
9. Mise en œuvre de la solution : la technologie 3G sur VSAT.....	73
9.1 L'intérêt d'utilisation de la technologie satellitaire par la SONATEL.	73
9.2 Etude de l'architecture existant : GSM sur VSAT	74
9.2. 1 .GSM sur VSAT : émission VSAT/réception Hub.	75
9.2 Gestion de la bande passante.....	76
9.3 Les limites de la technologie GSM	77
10.Scénarios d'architecture d'intégration de la Mise en œuvre de la 3G sur le réseau VSAT de la Sonatel.	77
10.1 Présentation	77
10.2 Choix des technologies utilisé.....	78
a. Choix de l'orbite.....	78
Choix de la technologie W-CDMA.....	79
e. Le modem Cisco IP VSAT	79
10.3 Architecture de la mise en œuvre	81
10.3.1 Emission VSAT /réception Hub.....	81
10.3.2 Emission Hub/réception VSAT	82
10.4 Outils de Supervision du réseau et d'analyse de performances	82
10.4.1 Système de configuration NMS	82
10.4.2 Système de supervision SkyMon	84

10.4.3 Système de Gestion de la capacité Satellite SNPU	85
11. Perspective d'évolution du Skyedge I vers le Skyedge 2.....	86
11.1 Module complémentaire Optimiseur de bande passante.....	87
11.2 Topologie MESH	88
11.3 Mini-HUB ou NETDEGE.....	88
.....	88
Conclusion.....	91
BIBLIOGRAPHIE / WEBOGRAPHIE	92

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Les différents types d'orbites	20
Figure 2 Interconnexion des LANs	23
Figure 3 Mode d'accès utilisateur	24
Figure 4 antenne Cassegrain	27
Figure 5 Antenne Grégorien	28
Figure 6 Antenne Prime-focus	28
Figure 7 antenne Offset	29
Figure 8 Modulation Basique	31
Figure 9 Exemple de modulation 8-PSK	33
Figure 10 Topologie maillée	37
Figure 11 Topologie en étoile	37
Figure 12 Topologie mixte	38
Figure 13 Illustration fonctionnement d'accès à la bande passante	39
Figure 14 topologie VSAT utilisant différentes fonctionnalités fournies par le système	41
Figure 15 Architecture de l'UMTS	45
Figure 16 Architecture de référence UMTS	46
Figure 17 Plateforme HUB/VSAT Bande C	51
Figure 18 Répartition du Segment Spatial	52
Figure 19 Protocoles LAPU et BB	53
Figure 20 Principaux composants du HUB Bande	53
Figure 21 le modulateur	54
c. Figure 22 Le CPCI Cage	55
Figure 23 Le Châssis CPCI Figure 15:	55
Figure 24 Procédure Copie Fichiers	56
Figure 25 Inter connectivité du HSP	57
Figure 27 : Inter connectivité du Sync Device	58
Figure 28 Boucle de synchronisation	59
Figure 29 Architecture Client/serveur du NMS	59
Figure 30 Architecture du NMS	60
Figure 31 Chaîne Emission Partie RF	61
Figure 32 Chaîne Réception Partie RF	62

Figure 33 Station VSAT Bande C.....	62
Figure 34 Le Random Access (RA)	63
Figure 35 Plateforme Hub/VSAT bande Ku	65
Figure 36 Principale composant du Hub bande Ku.....	66
Figure 37 Le DCAS et son inter connectivité	67
Figure 38 le VPP et son inter connectivité	68
Figure 39 Le media Gateway et le SIU	68
Figure 40 Chaîne émission partie RF	69
Figure 41 Chaîne réception partie RF	69
Figure 42 Station VSAT Bande Ku.....	70
Figure 43 Téléphonie fixe par VSAT.....	71
Figure 44 Internet et VPN par VSAT.....	72
Figure 45 Le lien A-Bis.....	74
Figure 46 A-Bis GSM sur VSAT (Emission VSAT/Réception HUB)	75
Figure 47 A -Bis GSM sur VSAT (Emission HUB/Réception VSAT).....	76
Figure 48 Module de réseau WAN par satellite Cisco IP VSAT.....	80
Figure 49 Architecture 3G sur VSAT émission VSAT réception Hub	81
Figure 50 Architecture v3G sur VSAT émission Hub réception VSAT	82
Figure 51 Vue de la supervision NMS	83
Figure 52 Graphes de performances des HSP avec Skymon	85
Figure 53 Vue de l'outil de gestion capacitaire SNPU	86
Figure 54 Mini HUB SE II ou NetEdge	88

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, le monde de la téléphonie et de l'internet est devenu un véritable phénomène de société. Le téléphone portable connaît un succès inimaginable. Depuis 2004 le nombre d'abonnés est passé de deux milliards à plus de cinq milliards en 2012. Ce développement rapide a bouleversé notre manière de communiquer.

C'est dans ce contexte que la SONATEL, pionnière et leader de la téléphonie mobile et de l'internet au Sénégal, s'est doté d'un vaste réseau de transmission constitué de plusieurs type de support : de la fibre optique, du faisceau hertzien, des liaisons xDSL et le satellite.

Ce réseau de transmission très vaste permet à la SONATEL de fournir des services télécoms à la majorité de la population du Sénégal. Cependant la couverture globale du territoire national n'est pas encore assurée.

Pour permettre aux populations des zones les plus reculées du Sénégal de pouvoir communiquer, SONATEL s'est dotée en 2006 de deux plateformes HUB/VSAT lui permettant de déployer le réseau partout où le besoin se fait sentir et dans des délais records.

Ce réseau VSAT fournit essentiellement du GSM (plateforme en bande C), de l'internet, du VPN et de la téléphonie fixe (plateforme en bande Ku).

Et depuis 2006, le nombre de VSATs ne cesse d'augmenter et les clients deviennent de plus en plus exigeants. Il est important alors d'étudier le mode de fonctionnement de ce réseau VSAT pour pouvoir apporter des solutions d'amélioration de la qualité de service mais aussi intégrer de nouveaux services pour fournir aux populations en zone rurale les nouvelles technologies de données mobiles tel que 3G.

Le but de ce présent document est de permettre à la SONATEL d'avoir les éléments nécessaires sur la stratégie à adopter dans le moyen et long terme concernant son réseau VSAT. Ainsi, nous proposons une évolution technologique qui permettra :

- ✚ d'intégrer les nouvelles technologies de navigation mobile (3G) dans les zones rurales ou les zones à difficile accès
- ✚ Assurer un système de supervision du réseau
- ✚ Perspective d'évolution du Skedge I vers le skyegde 2

Pour l'atteinte de ces objectifs, nous adopterons la démarche suivante :



- ✚ Rappel des concepts de base de la transmission par satellite
- ✚ Etude de l'architecture et du fonctionnement du réseau 3G de la SONNATEL
- ✚ Etude de l'architecture et du fonctionnement du réseau Hub/VSAT de la SONATEL
- ✚ Mise en œuvre de la solution (3G sur VSAT)
- ✚ Evolution technologique du réseau VSAT du SkyEdge I vers le Skyedge II

Chapitre 1 : Présentation de la SONATEL

1.1 Présentation de la SONATEL

Opérateur historique des télécommunications au Sénégal créé en 1985 par la fusion de l'Office des Postes et Télécommunications et de Télé Sénégal, le groupe Sonatel est devenu une Société Anonyme en 1997 en s'alliant à un partenaire stratégique, France Telecom, qui possède depuis lors 42,33 % de son capital. Pour satisfaire la demande en lignes téléphoniques et rendre accessible le meilleur des nouvelles technologies au plus grand nombre, Sonatel couvre l'ensemble du territoire sénégalais avec plus de 2 200 km de fibre optique. Son développement se poursuit avec notamment l'extension du réseau d'accès et la sécurisation du réseau transmission via le réseau de boucles SDH (Synchronous Digital Hierarchy) ceinturant tout le pays. Sur le plan international, Sonatel dispose de liaisons téléphoniques directes, utilisant la transmission par satellite et la transmission par câbles sous-marins, avec des opérateurs de télécommunications de 35 pays étrangers pour permettre à ses clients de communiquer dans les meilleures conditions avec le monde entier.

Pionnière et leader de la téléphonie mobile et de l'Internet au Sénégal, Sonatel offre une gamme riche de services simples, accessibles et innovant à travers sa marque commerciale Orange. Depuis le 1er août 2002, Sonatel, appuyée par son partenaire stratégique France Telecom, a obtenu une 2ème licence d'opérateur global à Bamako. Avec plus de 1 million de clients, Orange Mali est leader sur le segment du mobile. Le Groupe Sonatel s'est aussi installé dans deux autres pays limitrophes : Guinée Conakry et Guinée Bissau. Le réseau Sonatel permet aux entreprises des échanges de données fructueux et hautement sécurisés, couvrant l'ensemble du

territoire national, via la technologie IP. Orange Business Services leader dans le conseil, la location, la vente, l'installation et la maintenance de matériels et logiciels de réseaux de Télécommunications d'entreprises, offre à ses 25 000 usagers des solutions globales, performantes et fiables, faciles à déployer et simples à utiliser. Les 8 grandes agences commerciales et 40 accueils Sonatel répartis sur l'ensemble du territoire offrent un nouveau parcours client simplifié et convivial.

La direction de la SONATEL est composée d'une direction générale, d'une direction générale adjointe, des directeurs des filiales (Orange Mali, Orange Conakry, Orange Bissau, etc.) et de

15 directions opérationnelles composées chacune de plusieurs départements, services et centres

techniques. Le domaine de la technique est regroupé dans une entité dénommée Direction des Réseaux et Plateformes de Services (DRPS). La DRPS est composée de 04 Pôles :

- ✚ Le pôle Exploitation des réseaux (DEX)
- ✚ Le pôle Intervention (DINT)
- ✚ Le pôle Ingénierie(DI)
- ✚ Le pôle planification (DEP)

1.2 Présentation de la station terrienne de Gandoul

1.2.1 Situation Géographique

La station terrienne de Gandoul est un site technique abritant l'essentiel des équipements de transmission par satellite de la SONATEL. Le nom « Gandoul » se justifie par le fait que la station terrienne se trouve à proximité du village de Gandoul se trouvant à 50 Km de Dakar. Gandoul se trouve dans une cuvette qui lui offre un isolement radio adéquat et une protection éolienne convenable (protection des antennes contre les vents violents). Les coordonnées de Gandoul sont :

Longitude : 17 degré 07 mn 54 s ouest.

Latitude : 14 degré 43 mn 08 s nord.

1.2.2 Trafic passant par Gandoul

La station terrienne de Gandoul véhicule la totalité du trafic satellite de la SONATEL. En plus des liaisons IDR Internationales avec 11 pays, on y trouve aussi deux antennes qui servent de déport pour les filiales Orange Guinée et Orange Mali. Pour assurer une couverture globale du territoire national, SONATEL a mis en place une plateforme HUB/VSAT pour permettre aux populations du milieu rural d'avoir le téléphone et l'internet à partir du lien satellite. Par ailleurs, dans le but de sécuriser le trafic de la région de Kédougou qui passe globalement par une liaison FH Tamba-Kédougou, SONATEL a installé un lien satellite entre Gandoul et Kédougou qui permet d'avoir une continuité de service en cas de problème sur le lien

terrestre. Au total, la station terrienne de Gandoul travaille avec 03 Satellites d'Intelsat : IS-905 (Bande C) et IS-14 (Bande C et Bande Ku).

Le tableau 1 ci-après montre en détail la répartition des liens satellites passant par Gandoul.

Satellites	Equipements	Services	Nombre
SAT IS-905 335.5° E	HUB/VSAT C-Band	Voix (GSM et CDMA)	-37 BTS GSM -08 BTS CDMA
	IDR Internationales C-Band	Voix Internationale	-11 Liaisons IDR
	Liaison Secours Kédougou C-Band	Voix (GSM)	- 02 BTS GSM
		Voix (Tél. Fixe)	- UR Kédougou (02 E1 backup)
SAT IS-14 315° E	HUB VSAT Ku-Band	Voix (Tél. fixe) Et Internet	- 07 VSATs Entreprises
		LS IP	- 50 VSATs VPN
	Déport Orange Guinée C-Band	Voix et Données	1 lien vers FT 1 lien vers CTI SONATEL

Tableau 1 Interconnexion des LANs

1.3 Présentation et problématique du réseau VSAT actuel

Le réseau VSAT de la Sonatel est une plate-forme convergente multiservice. Il peut acheminer tout type de trafic data et téléphonique, en provenance ou destiné aux réseaux publics de la Sonatel. Ce réseau est constitué de Hub installé à la station terrienne de télécommunication par satellite de Gandoul, et une famille de stations distantes VSAT pouvant être installée partout sur le territoire sénégalais plus particulièrement dans les zones où il est impossible de déployer de la fibre optique ou du faisceau hertzien.

Le HUB est donc constitué d'une intégration de deux plateformes (1 Hub pour la Bande C et 1 Hub pour la bande Ku), chacune d'entre elles possédant sa propre antenne dirigée vers le satellite.

La plateforme Bande Ku supporte les services Internet et Téléphonie fixe par VSAT alors que la plateforme en bande C supporte les services de backhauling de GSM et CDMA.

Ce réseau, mis en place depuis 2006, présente des points perfectibles mais aussi il exige des pistes d'amélioration comme :

Intégration de nouveaux services mobiles

Avec la couverture universelle que la SONATEL doit satisfaire, les clients en zone rurale doivent avoir le même confort que les clients en zones urbaines. La plateforme bande C actuelle n'offre que le trafic voix au niveau des BTS GSM. Avec l'avènement de la 3G qui permet d'avoir Internet sur les téléphones mobiles, la demande devient de plus en forte en zone rurale. Il est donc nécessaire d'upgrader le réseau afin d'intégrer de nouveaux services comme la data mobile

Assurer un système de Supervision du SkyEdge

Afin d'assurer la bonne gestion du trafic échangé au niveau de la plateforme Hub/VSAT, il est nécessaire de mettre en place des outils de supervision permettant à la Sonatel de suivre et de contrôler de façon centralisé l'ensemble du réseau VSAT.

Mutualisation des plateformes Bande C et Bande Ku /Perspective d'évolution du skyedge I vers le Skyedge II

Avec les deux réseaux VSAT en Bande C et en Bande Ku, SONATEL loue auprès d'Intelsat deux bandes de fréquences différentes sur deux satellites différents. La mutualisation permettra de réduire les charges d'exploitation liées à la location de bande passante. Mais aussi, elle

permettra de réduire considérablement la consommation d'énergie à la station terrienne où sera implantée la nouvelle plateforme.

Chapitre 2 : Concept de base de la transmission par satellite

2.1 Généralités

Un satellite de télécommunication est un relai hertzien placé dans l'espace. Son rôle est de régénérer le signal qu'il a reçu et de le retransmettre amplifié en fréquence à la station réceptrice.

De nos jours, l'utilisation des satellites devient de plus en plus importante et présente plusieurs avantages grâce à leur zone de couverture géographique étendue outre leur capacité de servir un grand nombre d'utilisateurs en même temps. D'où une rentabilité, en particulier dans les régions à faible ou à moyenne densité de population, ne possédant pas d'infrastructure terrestre ou encore dans les pays en voie de développement. En effet les satellites permettent une desserte géographique très étendue notamment pour les utilisateurs mobiles.

Les systèmes satellites ont une grande capacité de diffusion, un déploiement rapide et une reconfiguration possible et efficace. Ils offrent un accès multiple pour un grand nombre de stations terrestres et jouent un rôle primordial en cas de catastrophes naturelles.

Les systèmes satellites offrent des services de téléphonie vocale et de transmission de données (fax, courrier électronique, transfert de fichiers, etc...) à destination d'équipements terminaux mobiles (de poche ou montés sur véhicule) ou fixes, ils offrent aussi de nouvelles fonctions tels que le multicast et le broadcast. Etant donné la place importante que connaissent la communication et les multimédias de nos jours, avoir un service continu sans contraintes, n'importe où et n'importe quand à une échelle globale est devenu une nécessité. D'où l'intérêt des systèmes de communications par satellites.

Dans ce chapitre, plusieurs aspects des réseaux satellites seront présentés. A savoir les différentes catégories de satellites, en fonction de leur altitude. Des techniques d'accès au canal satellite seront décrites. Ainsi que la configuration d'un scénario de réseaux satellitaires avec les différents services et la configuration de la station terrestre.

2.2. Les Orbites

Il existe différentes catégories de satellites en fonction de leur orbite. Une orbite, représente le chemin parcouru par un satellite qui tourne autour de la terre. Les orbites permettent de définir à tout moment les caractéristiques du satellite pour établir des transmissions (figure1). On distingue les orbites basses (LEO), les orbites moyennes MEO) et les orbites géostationnaires (GEO). Nous allons voir dans cette partie comment les orbites fixent certaines limites ou contraintes dans les transmissions ou les équipements.

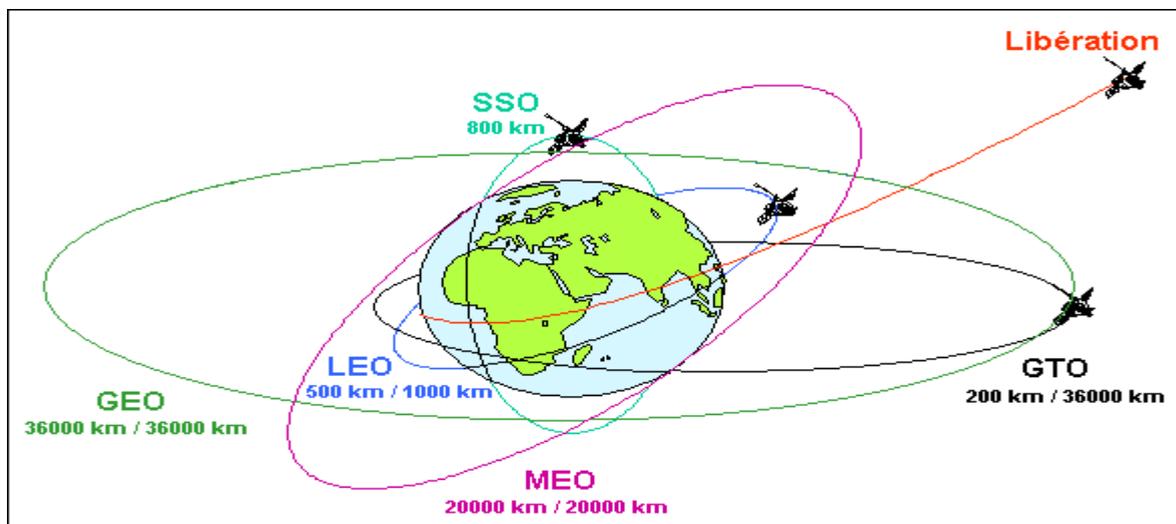


Figure 1 Les différents types d'orbites

2.2.1 Satellite GEO (Geo-Stationary Earth Orbit)

Les satellites géostationnaires se situent à une altitude de 36.000km par rapport à la terre, ce qui explique leur délai de propagation ou RTD (Round Trip dealy) très élevé de l'ordre de 250ms. Ce qui n'est pas pratique pour le trafic à fortes contraintes temporelles, telle que la voix. La grande distance, par rapport à la terre, impose l'utilisation de terminaux ayant une grande puissance et une grande capacité, entraînant une augmentation de leur coût. Par ailleurs le satellite GEO présente plusieurs avantages, dont une zone de couverture très importante. Le satellite GEO paraît relativement fixe par rapport aux utilisateurs. En conséquence les techniques de hand-off ne sont pas prises en compte dans ce type de satellite,

ce qui présente un grand avantage dans leur utilisation. En plus des caractéristiques citées ci-dessus, le satellite GEO présente une facilité de déploiement et une grande durée de vie. Ces satellites sont les mieux adaptés pour les communications maritimes.

2.2.2 Satellite MEO (Medium Earth Orbit)

Le satellite MEO se situe entre 5000 – 10000 km. Il présente un intermédiaire entre l'orbite basse et le géostationnaire. Les satellites MEO décrivent des orbites circulaires ayant une période orbitale d'environ 6 heures. Un système de transmission globale utilisant ce type d'orbite nécessite un nombre de satellites moins élevés que dans le cas des satellites à basses orbites. La gestion du « handover » dans ce type de constellation n'est souvent pas nécessaire, 2 à 3 plans orbitaux sont suffisants pour atteindre une couverture globale de la terre.

2.2.3 Satellite LEO (Low Earth Orbit)

Le satellite LEO ou encore satellite à basse orbite (plusieurs centaines de Km) offre le grand avantage d'un délai de propagation réduit (10ms), il présente un bon candidat pour les systèmes temps réels. Les terminaux utilisés pour ce genre de satellite sont de petite taille et de faible poids. L'inconvénient majeur des satellites LEO est leur mouvement continu autour de la terre en plus de leur surface de couverture réduite. D'où la nécessité de développer des techniques de Hand-off assez complexes afin d'assurer la continuité du service.

2.2.4 Liens Inter-Satellites (ISL)

Les ISL (Inter Satellite Link) permettent l'interconnexion entre plusieurs satellites se trouvant dans une constellation. Des satellites peuvent alors échanger et acheminer les informations entre eux par des liens inter-satellites afin de réaliser un réseau spatial avec une large couverture terrestre et une grande capacité en terme de bande passante ; la constellation utilisant ces liens peut alors se passer des réseaux terrestres et être complètement indépendante des opérateurs nationaux. Deux types de liens inter-satellites existent : intra-orbite (reliant des satellites situés sur la même orbite) et inter-orbite (reliant des satellites situés dans des orbites adjacentes)

2.2.5 Le Handover (HO)

Dans les systèmes terrestres, quand un utilisateur passe d'une cellule à une autre, un processus de hand-off est lancé. Les stations de base sont fixes et c'est l'utilisateur qui se déplace d'une

cellule à une autre. Le transfert d'une communication active d'un canal à un autre doit se faire sans interruption d'une part et doit être transparent pour l'utilisateur d'autre part.

Dans les réseaux satellites, il existe plusieurs types de handover, un handover inter-satellite entre deux satellites qui bougent, un handover intra-satellite, c'est le handover d'un utilisateur entre spot-beams sur un même satellite et enfin un handover d'un utilisateur d'un satellite à un autre. Il est très important de noter que le handover est influencé par la technologie des faisceaux utilisée :

- ✚ EFC cellules rattachées au sol : fixées au sol avec un système d'antennes orientées à bord du satellite et pointées vers la même cellule.
- ✚ SFC cellules rattachées au satellite : le système d'antenne est fixe et les cellules bougent avec le mouvement du satellite.

D'autre part, le HO est influencé par la présence ou non de liens ISL, il est aussi influencé par la technique d'accès multiple employée au niveau de l'interface radio (avec la technique CDMA il est plus facile de faire du « soft HO »). Le HO est aussi influencé par des paramètres géométriques, tels que la distance entre l'orbite du satellite et la surface de la terre (orbite GEO, HEO, MEO, LEO), la vitesse relative du satellite par rapport à la terre et la surface de la cellule terrestre. Enfin, la fréquence du HO ne dépend que de la vitesse du satellite.

2.2.6 Fonctionnement d'un système satellitaire : Scénarios des Réseaux

Les réseaux satellites peuvent être déployés pour servir des terminaux individuels ou alors plusieurs communautés professionnels à la fois. Au début les terminaux étaient passifs récepteurs uniquement de diffusion de certaines applications comme la vidéo et l'audio.

Le système de réseau satellitaire est constitué d'un segment spatial et un nombre de stations terrestres responsables du multiplexage de trafic et du contrôle des liens terrestres.

L'interactivité des terminaux a été introduite grâce aux réseaux VSAT (Very Small Aperture Terminal). Par la suite le développement rapide aussi bien dans le segment terrestre que spatial a élargi d'une part le nombre des applications offertes et la topologie ainsi que les composants des systèmes de communication par satellite d'autre part. Les satellites communiquent avec

différentes stations terrestres en utilisant les liens GSLs, (ground to satellite link) .On distingue alors deux modes opérationnels dans les réseaux par satellites :

a. Interconnexions des Lans

L'interconnexion des LANs (Local Area Network) à travers les liens satellitaires présente un aspect très important dans ces réseaux (Figure 2). En effet dans ce type de configuration plusieurs LAN accèdent aux liens satellitaires à travers une Gateway, ou station terrestre, qui joue le rôle d'une interface qui adapte les protocoles LAN à l'environnement radio.



Figure 2 Interconnexion des LANs

Les systèmes appliquant ce type de configuration sont mieux utilisés pour interconnecter différents sites d'une entreprise internationale par exemple, ou une large institution, ou alors leur fournir un accès direct à une base de données confidentielle les concernant.

b) Mode d'accès utilisateur 3G

Dans cette configuration (figure 3), le réseau satellite offre un accès large bande à l'utilisateur final à travers l'interface réseau/utilisateur (UNI). Le terminal a en général une taille réduite et est peu complexe, il est uniquement responsable de l'envoi et la transmission de son propre trafic (petit volume de trafic par terminal et faible débit de transmission).

Ce mode de connexion a été récemment utilisé afin de fournir des services personnels universels ainsi que des applications interactives pour une grande population d'abonnés dans un cadre professionnel ou autre en accédant à des sites lointains. La liaison montante est partagée entre les utilisateurs des différentes applications et un multiplexage de trafic se fait au niveau de l'interface radio, c'est le NCC qui est responsable de la décision d'allocation.

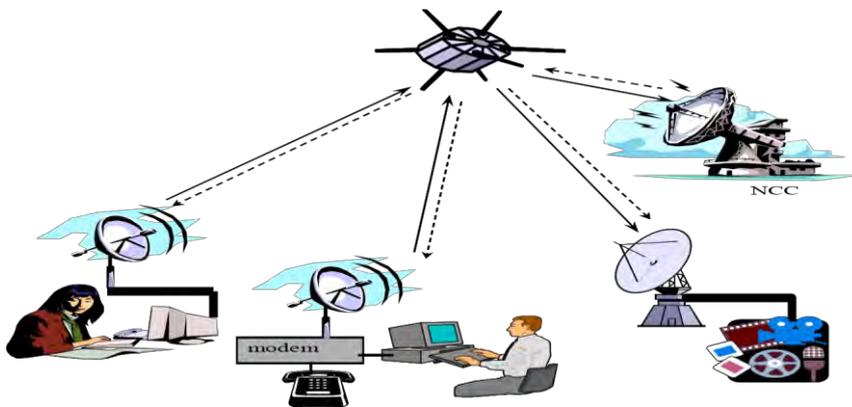


Figure 3 Mode d'accès utilisateur

2.2.7 Les services de communications par satellite

Les services de communication par satellite nous permettent d'accéder à des outils de communication même si le réseau traditionnel ne fonctionne pas. Cela veut dire si nous sommes en mer, désert, en brousse ou n'importe quel endroit où le GSM ne reçoit pas un bon signal nous pouvons faire appel aux services de communication par satellite. Le satellite est capable de prendre en charge beaucoup d'application tel que :

La téléphonie, la télévision et radio, la météorologie, la localisation ou GPS (Global Positioning System), l'imagerie satellitaire, la collecte de données environnementales, etc.

Ces champs d'application se sont diversifiés en prenant compte la mobilité, l'inclusion des services de type donné comme l'accès internet et les services multimédias. Parmi les services fournis on a :

2.2.7.1 Les services de diffusion de la radio et de la télévision

L'application satellitaire la plus répandue reste la diffusion de la télévision, avec des offres des opérateurs satellite partout dans le monde comme Intelsat, Eutelsat, ASTRA, etc. Le nombre de chaînes TV disponibles à l'heure actuelle est important, de l'ordre de 900 chaînes

TV et 560 chaînes radio pour Eutelsat ce qui représente un réel atout pour les réseaux satellitaires. Cette capacité importante a été possible grâce aux avancées technologiques permettant de prendre en charge une plus grande charge utile à bord des satellites. Les opérateurs de satellites essaient toujours de faire évoluer leurs services, en essayant de répondre à l'évolution des services dans les réseaux terrestres (de type triple-play).

Ainsi, on retrouve parmi les dernières nouveautés dans les domaines des applications TV, la vidéo à la demande qui permet à un utilisateur de choisir à un moment donné le programme qu'il désire. Un autre service proposé est le PVR (Personal Video Recorder), permettant de stocker un contenu sur son disque dur. Le service ITV (ITV en international et TV en français diffusion) permettait aussi de transmettre des signaux vers des petites antennes de réception (de 60 à 110 cm en Europe) situées directement chez les particuliers. En général les fréquences utilisées étaient dans la bande K (Ku, 10.70 à 12.75 GHz, Ka de 20 à 30 GHz). Et maintenant avec l'évolution de la technologie on n'est capable de faire une diffusion en bande C (de 3.7 à 4.2 GHz) vers les particuliers : c'est le cas du bouquet canal Horizon en Afrique. On parle aussi de diffusion DTH (Direct-To-Home) c'est-à-dire directement c'est les particuliers.

Le service de diffusion par radio n'est rien d'autre qu'une liaison de A vers B ou de A vers B, C, D... avec un nombre limité de récepteurs (cas du multilatérale). A l'origine, ces services utilisaient la bande C et la moitié inférieure de la bande Ku

2.2.7.2 Les services de téléphonie

La téléphonie satellitaire est concurrencée par les câbles optiques sous-marins. Le cas le plus utilisé pour les satellites de communication est la téléphonie internationale. Les centraux locaux transportent les appels jusqu'aux stations terrestres appelées téléports qui émettent à leur tour en direction d'un satellite géostationnaire qui ensuite retransmet vers une autre station qui assure la réception et l'acheminement final.

La téléphonie satellitaire a un délai d'environ de 250 ms qui est important ce qui fait que cette application est concurrencée par des supports comme les câbles et les réseaux téléphoniques satellitaires.

Ce système permet aussi d'assurer la téléphonie mobile dans les zones où le réseau filaire est difficile à déployer. Un exemple d'un tel réseau est représenté par les satellites Inmarsat

offrant des services de téléphonie et d'autres services partout où l'on a en besoin en utilisant des satellites géostationnaires.

2.2.7.3 Accès large bande et services multimédias

Les satellites ont été utilisés depuis longtemps pour les réseaux terrestres et permettent d'avoir un réseau multimédia capable de prendre en charge beaucoup d'applications comme le transfert des images, des vidéos, etc. Aujourd'hui toute donnée peut être transmise en utilisant des paquets qui sont ensuite transmis sur plusieurs types de support (hertzien, câble, etc.). Les réseaux VSAT (Very Small Aperture Terminal) permettent de mettre en place un réseau dédié entre différentes filiales d'entreprises ou institutions. La technologie VSAT permet à une entreprise de communiquer avec des bureaux situés à différents endroits dans le monde à travers un hub central. Facile à installer, et extensible à un coût moindre, les réseaux VSAT sont adaptés à la transmission de données, de la vidéo, etc. L'accès Internet large bande n'a pas été considéré comme une solution viable tant que l'interactivité n'était pas garantie. Avec une voie de retour terrestre, ordinairement à travers le réseau téléphonique standard ou avec un retour par satellite désormais disponible, l'interactivité dans un réseau satellitaire est devenue une réalité. Ainsi les caractéristiques intrinsèques des réseaux géostationnaires sont utiles pour des applications de type multicast, et, en coordination avec des techniques de cache, permettent de réaliser un équilibre entre la latence engendrée et l'étendue de ce réseau.

2.2.8 La station terrienne

Le secteur terrien est constitué de l'ensemble des stations terriennes. Elles sont le plus souvent raccordées aux terminaux des usagers par un réseau terrestre. La liaison est directe, dans le cas de petites stations (VSAT : Very Small Aperture Terminal) et de stations mobiles. Les stations terriennes sont composées de plusieurs types d'antennes afin de pouvoir capter les signaux en provenance des satellites. Ainsi on distingue :

Antenne Cassegrain

Le montage de type Cassegrain permet de rendre plus compact une antenne de grande focale comme dans les télescopes. Dans ce montage, le cornet d'alimentation se trouve au centre du réflecteur principal et envoie les ondes vers le réflecteur secondaire qui les retourne vers le réflecteur principal. L'antenne Cassegrain est aussi une antenne "rear-fed" qui fournit un emplacement commode pour le système d'alimentation intégral. Le réflecteur secondaire ou

sous réflecteur peut avoir une forme plane ou hyperbolique convexe avec un point focal arrière qui coïncide avec le point focal du primaire qui peut être parabolique. Ce type d'antenne permet également d'obtenir une directivité plus importante. Ces antennes sont utilisées en télécommunications (faisceaux hertziens), liaisons avec les satellites, radars, liaisons radio-amateurisme, transmissions en Wi-Fi et ISM à longue distance et en radioastronomie.

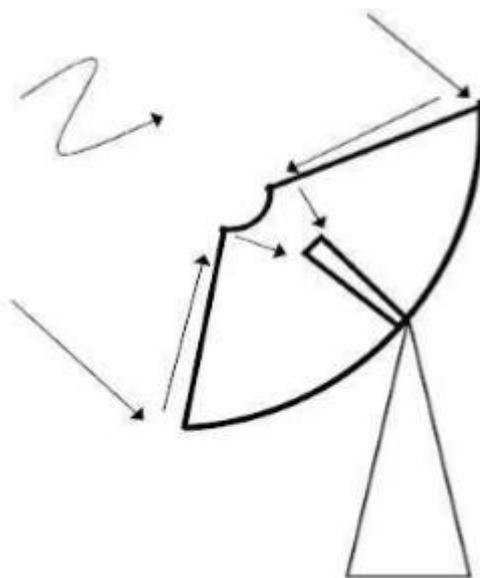


Figure 4 antenne Cassegrain

✚ Antenne Grégorien

Ce type d'antenne utilise un sous réflecteur ellipsoïdal à la place du sous réflecteur hyperbolique d'antenne Cassegrain. Ce sous-réflecteur présente une face concave du côté réflecteur, alors qu'en Cassegrain nous avons la face utile en Cassegrain

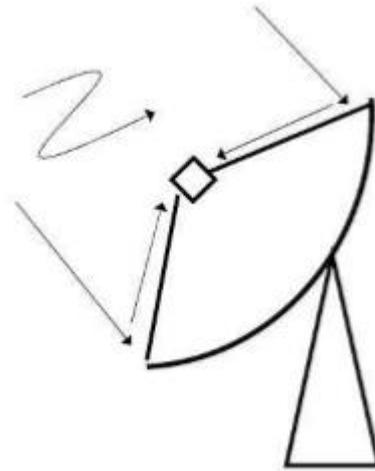


Figure 5 Antenne Grégorien

✚ Antenne Prime-Focus

C'est une antenne satellitaire de forme parabolique parfaitement ronde et symétrique. Son foyer se trouve au milieu de l'antenne, un convertisseur fixé directement au milieu où il captera tous les signaux entrant. Une telle antenne à un diamètre typique de plus 1 m 20.

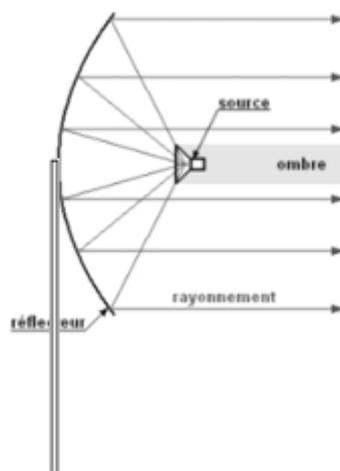


Figure 6 Antenne Prime-focus

Antenne Offset

C'est une antenne satellitaire dont la surface est constituée par une section ovale d'un paraboloïde. Les antennes Offset sont typiquement utilisées pour une faible puissance, petite et micro antenne de station. Elles sont symétriques et leur surface est ovale ou elliptique, le Fed n'est plus monté au centre mais décalé (offset). Ceci présente l'avantage que la surface vu n'est pas ombragée par le Fed. Une antenne offset ne regarde pas directement le satellite contrairement à une antenne prime

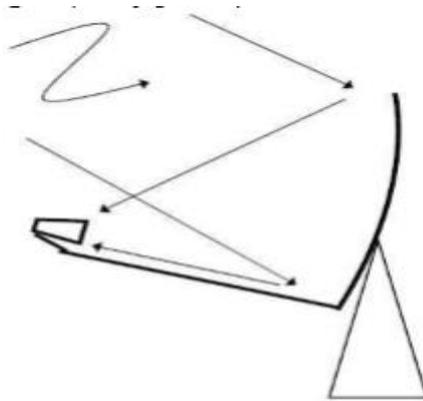


Figure 7 antenne Offset

2.2.9 Les bandes de fréquences

Les bandes de fréquences utilisées par les communications par satellite sont réglementées par l'ITU - International Télécommunication Union. La régulation permet un cadre efficace pour le déploiement des communications dans le spectre radio, cadre nécessaire pour un support partagé. Une allocation de bandes de fréquences a été ainsi réalisée par l'ITU comme le montre le tableau ci-dessous avec les services satellitaires spécifiques. L'évolution de l'utilisation des bandes de fréquences est la suivante : la première bande utilisée a été la bande C, suivie par la bande Ku et dernièrement par la bande Ka. La bande C requiert des antennes de dimensions importantes (jusqu'à 20 m de diamètre) pour les services fixes et 10 m de diamètre pour les services mobiles. La bande Ku nécessite des terminaux plus petits ce qui a permis le déploiement des réseaux VSAT d'environ 8 m de diamètre.

BANDE	SENS MONTANT/DESCENDANT	LARGEUR DE GAMME
Services fixes par satellite	6/4 GHz	1100 MHz
Bande x	8/7 GHz	500 MHz
Bande c	11/14 GHz	1000 MHz
Bande Ku	14/12 GHz	250 MHz
Bande ka		
Services mobiles par satellite	30/20 GHz	2500 MHz
Bande L	1,6/1,5 GHz	29 MHz
Service de radiodiffusion par satellite		
Bande k	17/12 GHz	800 MHz

2 : Fréquences des services satellite dans la Région 1 (Europe, Afrique et Asie d Nord)

2.2.10 Les types de modulations

La modulation peut être définie comme étant une technique qui consiste à faire adapter le signal dans le canal de transmission en faisant varier les paramètres d'amplitude et d'argument (phase/fréquence). Les fréquences des canaux et des messages ne coïncident pas forcément (il faut adapter la fréquence du signal au mode transmission) et, d'autre part, il s'agit surtout de pouvoir transmettre plusieurs messages sur un même réseau.

De plus, le signal doit être amplifié d'où la nécessité de moduler le message à l'aide d'un signal porteur afin de l'adapter au canal (l'émetteur fonctionne efficacement avec un signal de forme sinusoïdale c'est pourquoi, on transforme des 0 et des 1 en fréquences). A la réception, il faut effectuer l'opération inverse: la démodulation. Ainsi nous distinguons les modulations

basiques et les techniques de modulations qui sont couramment utilisés au niveau de la transmission satellitaire

Les modulations basiques sont principale ASK (Amplitude-shift keying), FSK (Frequency-Shift keying) et le PSK (Phase-shift keying). Ces types de modulations permettent de coder respectivement des signaux numériques en signaux analogique avec une variable d'amplitude, de fréquence ou de phase. Le tableau ci-dessous illustre les différents types de modulation basique.

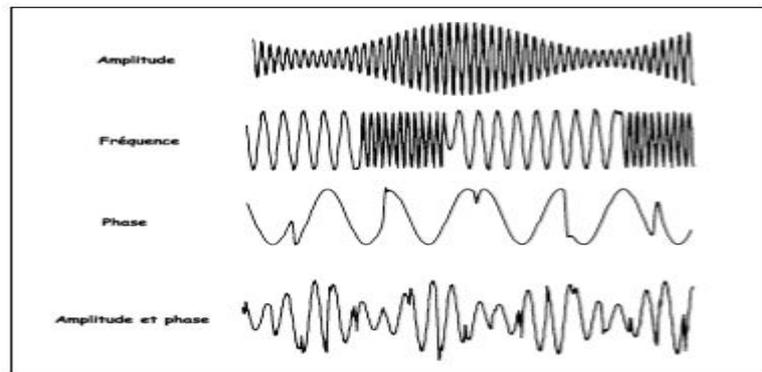
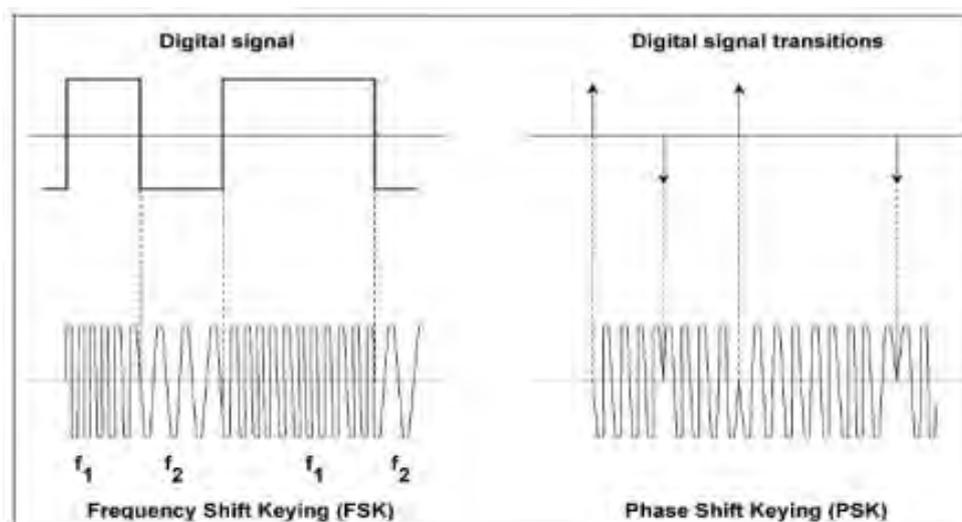


Figure 8 Modulation Basique

FSK (frequency shift keying Cette technique de modulation consiste à produire deux fréquences porteuses f_1 et f_2 pour représenter les deux états, Phase Shift Keying (PSK) consiste à changer la phase entre les deux états.



Méthodes de modulation

Dans la théorie, le FSK est plus commode, car le récepteur peut toujours distinguer les deux fréquences et identifier par conséquent correctement l'état du chiffre reçu (0 ou 1). Par contre, avec PSK le récepteur ne peut pas identifier le chiffre reçu à moins qu'il ne connaisse la nature de la phase. Cependant, dans la pratique il est plus difficile de mettre en application FSK, alors que l'ambiguïté de phase peut être résolue, si tous les systèmes numériques de transmission utilisent des horloges.

Modulations couramment utilisé au niveau de la transmission satellitaire

Les modulations BPSK, QPSK et 8PSK sont couramment utilisé au niveau de la transmission par satellite. La modulation Binary Phase Shift Keying (BPSK), avec un changement de phase de 180° , est la forme basique de PSK. (Etant donné qu'il n'y a que deux symboles à coder 0,1). Cela renforce les réussites du détecteur d'amplitude et de phase face au bruit qui est susceptible d'altérer le signal. La capacité de charger de l'information d'un BPSK modulé sur le canal est limitée à un bit par symbole. Cette contrainte est surmontée avec Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), dans lequel les données binaires sont converties en symboles de deux bits, pour des raisons de limitation de puissances dans les communications via satellites c'est la technique de QPSK qui est utilisée dans le standard DVB-RCS. Les caractéristiques de DVB pour QPSK utilisent une amélioration en changeant les configurations binaires qui sont codées dans l'émetteur et décodées dans le récepteur. L'amélioration s'appelle Gray coded QPSK, parce qu'il emploie le codage de Gray, (Robert M. Gray est un professeur d'université de Stanford au début des années 70). Ce code améliore la résistance au bruit, en réduisant au minimum le nombre de bit d'erreurs par symbole. Son principe est que chaque transition d'un symbole à l'autre se fait en ne changeant qu'un seul bit, ce qui simplifie la détection des erreurs tout en réduisant la proportion de bit mal transmis. Et comme exemple on peut noter la modulation 8PSK. Ce dernier est utilisé au niveau des transmissions DVB-S2 pour la diffusion de vidéo HD car la haute définition est plus gourmande en débit et avec le 8PSK on peut coder 3 bits car on a 8 phases différentes. $2^3 \text{ bits} = 8 \text{ phases}$.

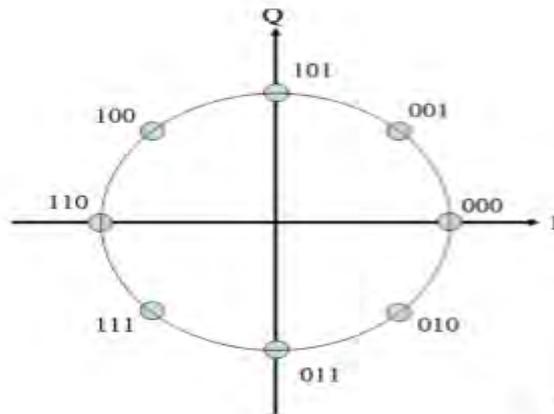


Figure 9 Exemple de modulation 8-PSK

2.2.11 Les méthodes d'accès

Les méthodes d'accès regroupent toutes les méthodes permettant aux stations terrestres d'accéder au lien satellitaire et d'envoyer des données en même temps. Il existe plusieurs méthodes d'accès multiple au support dans la littérature, tels que l'accès multiple temporel ou TDMA, l'accès multiple fréquentiel ou FDMA et l'accès multiple par codes ou CDMA. Chaque technique a ses propres avantages et une technique peut s'avérer plus appropriée que les autres dans certains cas de figure.

a. AMRF ou FDMA

L'AMRF ou FDMA découpe toute la bande de fréquence en m sous bandes. Ainsi chaque source a sa propre bande de fréquence où elle peut émettre indépendamment des autres liaisons. Parmi les applications utilisant la FDMA se trouve la téléphonie, les systèmes VSAT, et les terminaux mobiles.

Cette méthode souffre de problème d'inter modulation qui se croise rapidement avec la puissance utile. On peut perdre jusqu'à la moitié de la capacité de transmission par rapport à un accès unique. Pour éviter ce phénomène, on laisse des "trous" entre les bandes pour améliorer l'atténuation d'autres fréquences.

Etant statique, cette méthode d'accès ne permet pas aussi la réutilisation de la bande: si un émetteur est silencieux, sa bande passante n'est pas utilisée par d'autres.

L'avantage de cette méthode d'accès sur la répartition en temps est qu'elle n'a pas de besoin de synchronisation temporelle.

b. Time Division Multiple Access (TDMA ou AMRT)

Dans l'AMRT on définit un cycle (encore appelé trame), découpé en tranches, dans chaque cycle, chaque source transmet pendant une tranche de temps prédéterminée. Pour pouvoir allouer une bande passante différente à des sources distinctes, on définit aussi l'AMRT généralisé : une source peut transmettre pendant plus d'une tranche par cycle.

L'AMRT est une méthode d'accès très répandue dans les communications satellitaires. Par exemple les satellites GEO de EUTELSAT utilisent cette méthode avec une tranche de 2cm; Iridium utilise une méthode qui combine l'AMRF et l'AMRT.

Les inconvénients de l'AMRT par rapport à l'AMRF sont d'abord la nécessité d'une synchronisation temporelle entre les sources, puis le fait que cette méthode demande des puissances instantanées moyenne donnée et que la transmission n'est possible que pendant une fonction de temps, il est clair qu'il faut transmettre pendant cette période une puissance supérieur (à la moyenne). Dans l'AMRF, par contre on peut se contenter de transmettre tout le temps à la puissance moyenne.

c. Code Division Multiple Access (CDMA ou AMRC)

Dans l'AMRC, tous les usages peuvent utiliser toute la bande passante tout le temps. Le signal transmis à une bande passante très supérieure à sa bande passante initiale. L'AMRC est utilisé dans la constellation de satellites Globastar. L'intérêt de cette technique est qu'elle permet une transmission simultanée de plusieurs stations tant dans le domaine fréquentiel que dans le domaine temporel. L'inconvénient est qu'elle offre un débit faible et n'est pas adaptée à une transmission large bande sur satellite.

d. Multi-Frequency Time Division Multiple Access (MF-TDMA)

La technique TDMA utilise une seule fréquence, partagée entre les stations terrestres pour la réception et transmission des données indifféremment de la localisation des stations. Un tel mécanisme entraîne une utilisation non efficace de la puissance. Avec la technique MF-TDMA, la dimension des antennes est réduite et permet une augmentation de la capacité du système. La technique MF-TDMA représente une combinaison entre les deux techniques

présentées auparavant (FDMA et TDMA), plusieurs fréquences porteuses sont définies et sont partageables entre les stations ; à son tour chaque fréquence porteuse est partagée par plusieurs stations en mode TDMA. Les ressources sont découpées en temps et en fréquence, les unités portant le nom de slots, une station pouvant transmettre en slots appartenant à différentes fréquences porteuses. C'est la technique MF-TDMA qui est utilisée aujourd'hui comme technique d'accès multiple dans les réseaux satellitaires géostationnaires notamment dans le cadre de la norme DVB RCS.

2.2.12 Techniques d'accès aléatoire

Les techniques d'accès aléatoires sont conçues pour permettre une approche décentralisée pour l'accès au canal de communication, lorsqu'une source utilise le canal seulement en cas de besoin quand elle a vraiment des informations à transmettre. Contrairement à l'AMRF et l'AMRT, quand le canal n'est pas utilisé par une source, il est complètement disponible pour d'autres sources. Dans le cas où un grand nombre de source sont souvent inactives, l'accès aléatoire permet une utilisation beaucoup plus efficace du canal. En ajoutant à cela la simplification de la mise en œuvre due à la décentralisation de protocoles d'accès aléatoires, on peut comprendre l'importance de ces techniques, aussi bien dans les réseaux terrestres (dont Ethernet), que les réseaux satellitaires. Dans les techniques d'accès aléatoire, plusieurs sources peuvent tenter de transmettre des paquets en même temps, ce qui peut provoquer des collisions et une retransmission ultérieure. Dans les réseaux satellitaires, on peut utiliser les techniques d'accès aléatoire soit directement pour transmettre des informations, soit pour faire des réservations pour demander l'allocation d'une bande de fréquence fixe. Les techniques d'accès aléatoires utilisées dans les transmissions satellitaires sont:

- ✚ Aloha
- ✚ Aloha en tranches

Il y a aussi les variantes de Aloha comme:

- ✚ Aloha avec résolution de collision
- ✚ Accès aléatoire avec écoute de la porteuse (CSMA : Carrier Sense Multiple Access)
- ✚ CSMA/CD : CSMA avec détection des collisions
- ✚ CSMA/CA : CSMA with Collision Avoidance

2.3 Présentation de la technologie VSAT

2.5.1 Définition et principe de fonctionnement VSAT

VSAT (Very Small Aperture Terminal « terminal à très petite ouverture ») désigne une technique de communication par satellite bidirectionnelle qui utilise des antennes paraboliques dont le diamètre est inférieur à 3 mètres. Le système VSAT repose sur le principe d'un site principal (le hub) et d'une multitude de points distants (les stations VSAT).

Le hub est le point le plus important du réseau, c'est par lui que transite toutes les données qui circulent sur le réseau, c'est aussi lui qui gère tous les accès à la bande passante. De par son importance, sa structure est conséquente: une antenne avec un diamètre inférieur à 3 mètres et, plusieurs baies remplies d'appareils.

Les stations VSAT quant à eux, permettent de connecter un ensemble de ressources au réseau. Dans la mesure où tout est géré par le hub, les points distants ne prennent aucune décision sur le réseau ce qui a permis de réaliser des matériels relativement petits et surtout peu coûteux. Dans la plupart des cas, une antenne d'environ 1 mètre permet d'assurer un débit de plusieurs centaines de Kb/s. Une station VSAT n'est donc pas un investissement important et l'implantation d'un nouveau point dans le réseau ne demande quasiment aucune modification du réseau existant. Ainsi une nouvelle station peut être implantée en quelques heures et ne nécessite pas de gros moyens. (Il suffit d'un technicien spécialisé). Il existe aussi plusieurs types de topologies VSAT.

2.5.2 Types de topologies

a. Topologie maillée

Dans cette architecture (figure 10) les VSATs sont reliés par le biais du canal satellite. Malheureusement dans le contexte de satellites géostationnaires (donc une distance de 35786 Km), les réseaux VSATs maillés subissent une atténuation de puissance de 200 dB sur la voie montante et sur la voie descendante. Dans cette topologie, deux VSAT quelconques pris dans le réseau sont interactifs.

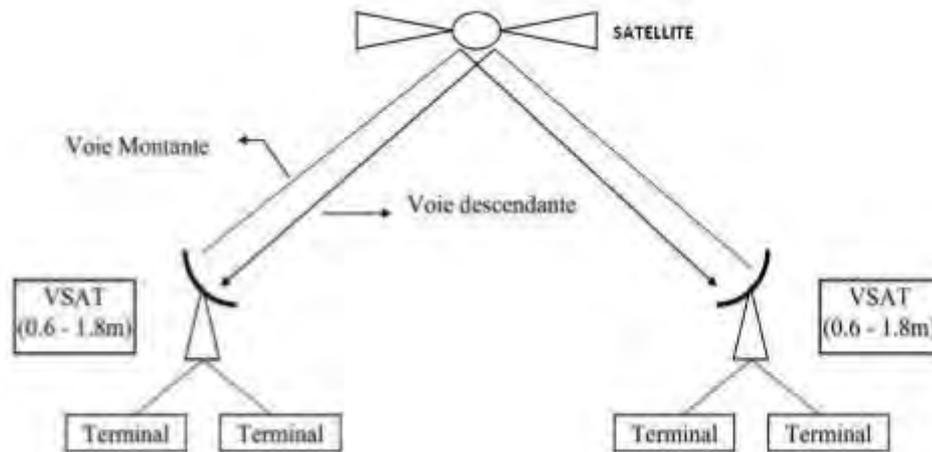


Figure 10 Topologie maillée

b. Topologie en étoile

L'architecture d'un réseau en étoile comporte deux éléments : le Hub et les stations distantes (figure9). Les stations distantes n'étant pas à mesure de communiquer entre elles, il importe donc de doter le Hub d'une antenne à fort gain pour amplifier et relier le trafic d'un VSAT à un autre. L'ensemble de la voie montante et la voie descendante allant du VSAT émetteur vers le HUB est appelé 'Inbound link' tandis que l'ensemble de la voie montante et la voie descendante allant du HUB vers le VSAT récepteur est appelée 'Outbound link'.

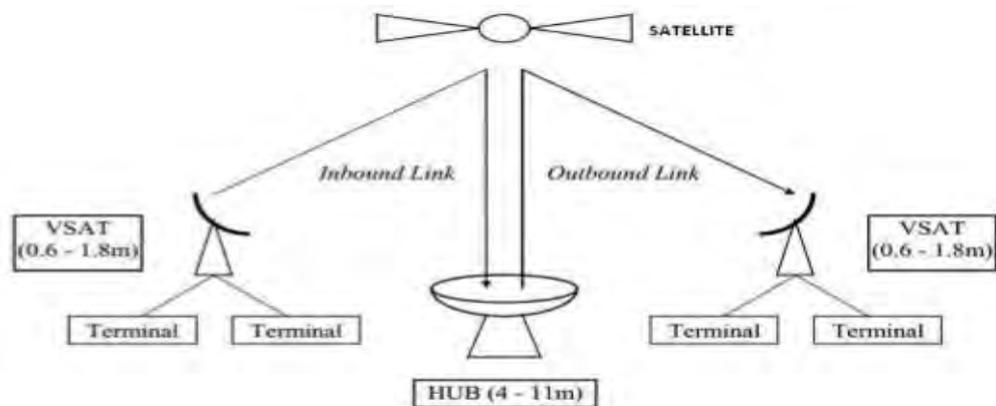


Figure 11 Topologie en étoile

c. Topologie mixte

Elle n'est rien d'autre que l'association des deux topologies précédemment énoncées au sein d'un même réseau. Ainsi, dans ce type de réseau, on distingue deux catégories d'utilisateurs qui sont : les utilisateurs à faible trafic et les utilisateurs à fort trafic dont les VSAT interagissent entre eux en configuration maillée (figure 10).

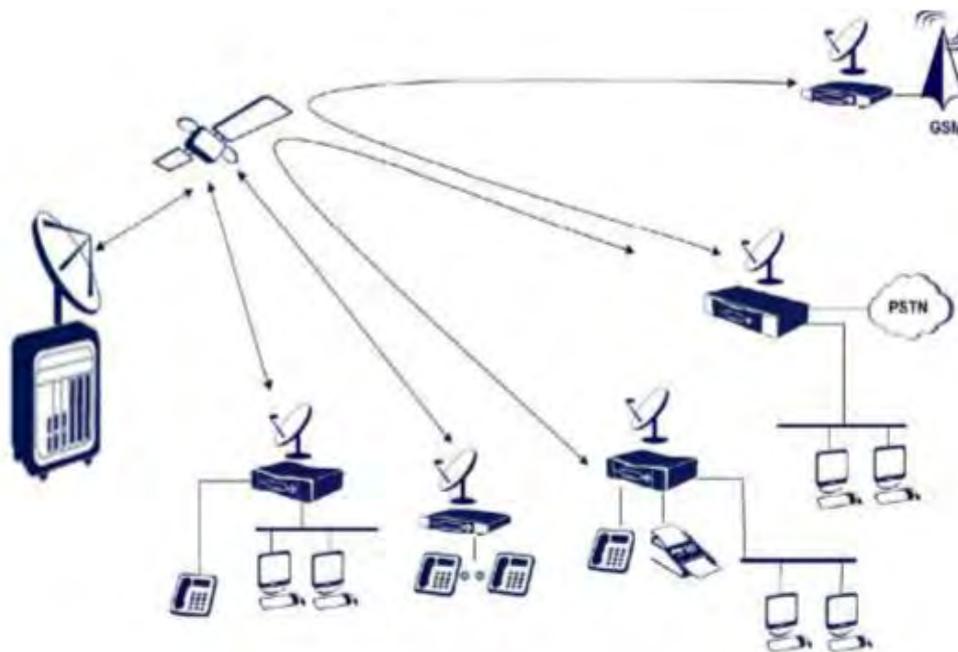


Figure 12 Topologie mixte

2.5.3 Gestion de la bande passante

Dans le cas des liaisons par satellites, la gestion de la bande passante est un élément très important car ce média est encore relativement cher. Si l'on loue un segment de 2 Mhz et que l'on se rend compte qu'en moyenne on ne consomme que 1 Mhz et bien on gaspille de la bande et par conséquent, on perd de l'argent. Certains types de liaisons comme les liaisons point à point (s) sont des systèmes où l'on ne peut gérer la bande correctement. Mais ce n'est pas le cas du VSAT. Comme seul le point central gère l'accès au segment satellite, il est capable d'optimiser la gestion de la bande par un système de doubles multiplexages temporels et fréquentiel.

Voici un schéma qui représente un segment spatial divisé en différents canaux. La taille des canaux est fixée selon les débits qui sont désirés sur les stations VSAT:

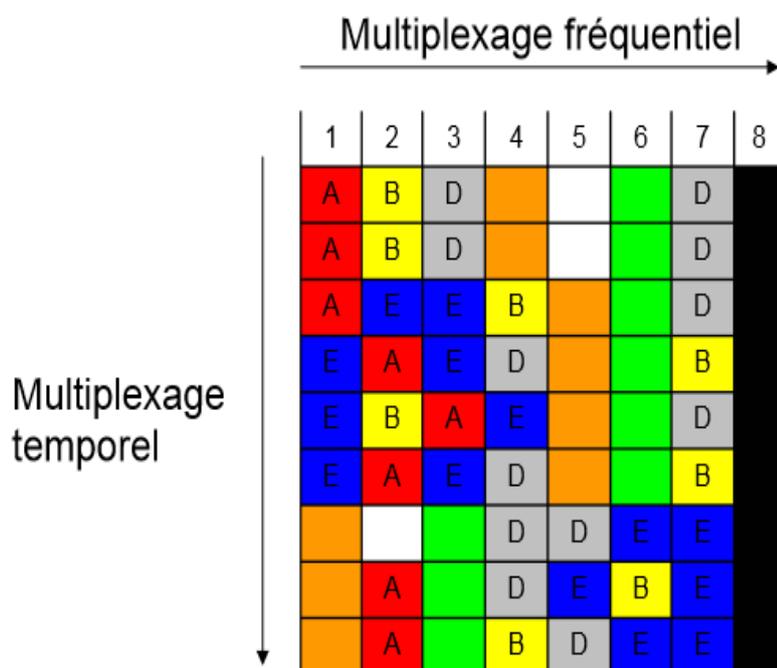


Figure 13 Illustration fonctionnement d'accès à la bande passante

Dans le schéma ci-dessus, il y a huit canaux. Le dernier canal est un canal de signalisation qui permet aux stations de demander un canal un hub pour envoyer des données et qui permet un hub de dire aux stations sur quel canal écouter pour recevoir des données. La gestion de la bande est propriétaire à chaque constructeur et chacun se garde bien de présenter sa méthode pour l'optimisation de la bande.

Le principe global est le suivant: lorsqu'une station veut avoir accès à une ressource, par exemple une requête sur une base de données se trouvent sur le site central, elle envoie une requête au hub pour que celui lui donne un canal pour envoyer les données. Et lorsque la base renvoie la réponse, le hub envoie un message à la station pour lui dire de prendre tel canal pour recevoir les données. Selon le débit défini, un point peut avoir accès à plusieurs canaux en même temps (multiplexage fréquentiel). Comme on peut voir sur le schéma, un canal peut être partagé par plusieurs stations (multiplexage temporel). Comme l'adresse de destination figure dans le paquet, chaque station sait si les données qu'elle reçoit lui sont destinées ou pas (comme avec un hub sur un réseau Ethernet). Ce système permet ainsi une forte optimisation de la bande passante ce qui réduit le coût du segment spatial à louer.

2.5.4 Comparaison entre les bandes de fréquences utilisées

La bande C et la bande Ku sont les principales bandes de fréquences utilisées dans les réseaux VSAT. Le tableau ci-dessous montre les avantages et inconvénients de chaque bande.

Bande de Fréquence	Avantages	Inconvénients
Bande C	<ul style="list-style-type: none"> • atténuations atmosphériques très faibles • faibles pertes dans les guides d'onde • bande très utilisée 	<ul style="list-style-type: none"> • interférences possibles avec des liaisons terrestres
Bande Ku	<ul style="list-style-type: none"> • la station peut en général être à proximité de l'utilisateur • bande peu occupée 	<ul style="list-style-type: none"> • atténuations atmosphériques notables, très sensible à la pluie

Tableau 2 : Comparaison entre la bande Ku et la bande C

2.5.5 Les applications

VSAT est un système qui était prévu pour mettre en place des réseaux de données. Mais depuis son apparition dans les années 80, des améliorations ont été apportées au système et les constructeurs ont réussi à augmenter considérablement le nombre d'applications possible avec un réseau de ce type. Les terminaux VSAT possède actuellement des Slots permettant d'accueillir des cartes de différentes natures:

- ✚ Cartes réseaux : X25, FR, ATM, Ethernet, ...
- ✚ Cartes multimédia: Visioconférence, Streaming vidéo
- ✚ Cartes de communication: lignes analogiques, lignes numériques, ports séries

Grâce à toutes ces cartes, un réseau VSAT n'est plus seulement un réseau de données, mais il peut devenir un réseau téléphonique, un réseau de diffusion vidéo. Ces différentes technologies peuvent fonctionner en même temps ce qui accroît encore la modularité du système. Voici un exemple possible de topologie VSAT utilisant différentes fonctionnalités fournies par le système:

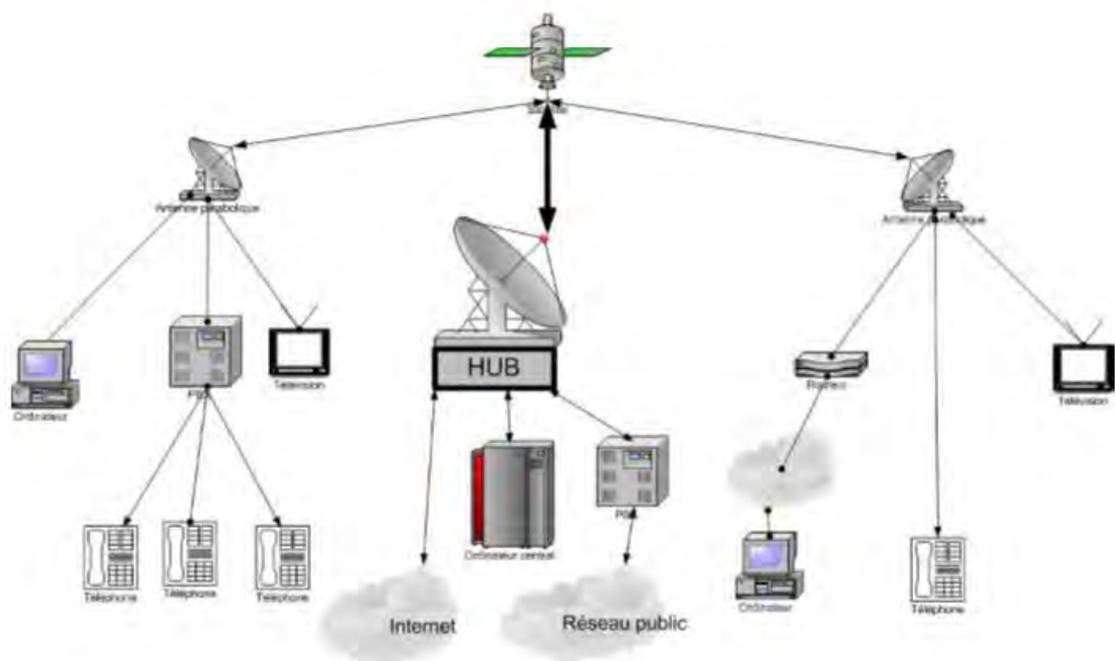


Figure 14 topologie VSAT utilisant différentes fonctionnalités fournies par le système

2.5.6 Les avantages de la technologie VSAT

Le VSAT est un système qui permet de connectés 10 000 points simultanément au réseau. Cette technologie permet aux grands groupes de mettre en place un global intranet sur plusieurs continents totalement privé sans avoir à traiter avec les opérateurs de chacun des pays dans lequel le groupe est implanté. L'évolutivité est aussi un des gros avantages de ce système. En effet, connecter un nouveau point, ne demande pas de gros moyens techniques et financiers. En moyenne, une station VSAT coûte dans les 4 000 € et il ne faut pas plus de quelques heures à un technicien pour mettre en place la connexion. Ce système permet également d'installer une station sur une unité mobile; une fois que le modem VSAT est configuré, il faut juste pointer l'antenne dans la bonne direction.

Comme il est déjà été dit, le hub est le point central de tout le réseau, et en assure la gestion complète. Ceci permet donc de gérer et superviser l'ensemble du réseau d'un seul et même point.

Dans la mesure où toutes les connexions sont du même type, on se retrouve avec un réseau homogène. Ceci permet d'utiliser toujours le même type de matériel et ainsi de n'avoir que peu de pièces de rechange et d'être sûr d'avoir les bonnes pièces ce qui n'est généralement pas le cas avec les réseaux filaires.

Le fait d'utiliser un satellite géostationnaire pour la couverture permet d'avoir une large couverture (en moyenne presque un hémisphère). Ceci rend possible la création de réseaux global intranet à une échelle intercontinentale très rapidement.

2.5.7 Les inconvénients

Le principal inconvénient du VSAT est son prix. En effet, le hub qui est l'élément central du réseau impose un investissement de base important: environ 1 M€. Cette barrière financière relativement importante limite l'accès à la technologie. En effet, actuellement seul de gros groupes peuvent investir de telles sommes en un seul coup. La couverture d'un satellite géostationnaire à quelques exceptions près est fixe. Ceci veut dire que lorsqu'on a choisi un satellite, si une zone où un point doit être connecté prochainement n'est pas couverte, elle ne le sera jamais avec ce satellite. Alors que les réseaux filaires évoluent régulièrement ce qui laisse possible l'expansion d'un réseau dans des zones qui actuellement ne sont pas desservies.

Le fait que tous les communications passent par le hub veut dire que si le hub tombe en panne tout le réseau est paralysé et plus une communication ne peut se faire. Pour pallier à cet inconvénient, le hub a été conçu avec des matériels de spécial pour le système continu à fonctionner même si un équipement tombe en panne.

Chapitre 3 : Présentation de la technologie 3 G

3.1 Généralités

C'est grâce à de grande révolutionne de la téléphonie mobile qu'on parle de téléphonie de troisième génération ou 3G. Au début il y'avait la téléphonie radio-mobile ou téléphonie 1G. Ce derniers se basé sur des téléphones analogiques très gourmande en terme d'énergie et nécessite une antenne de près de 1 m de long avec un débit un peu faible. Ainsi la 1G a évolué pour donner naissance à la 1G permettant le maintien du hand-over grâce à la signalisation numérique. Le système reste embarqué dans les voitures avec une transmission analogique de la voix.

En 1987 le GSM ou réseau téléphonique de 2ème génération vu le jour mais ce n'est que bien plus tard, à la fin du 20ème siècle, que la technologie GSM va être exploitée. Ceci est une évolution de la 1G vers le réseau analogique au réseau numérique (GSM). Ensuite, vinrent se greffer à cette technologie, des améliorations qui ont exploitées au maximum la 2G, tant au point de vue équipement, qu'au point de vue débits. Le premier exemple est le GPRS (General Packet Radio System), qui permet d'obtenir des débits théoriques de l'ordre de 114 kbit/s, plus proche de 40 kbit/s dans la réalité (2,5G). Le deuxième exemple est la norme EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution, présentée comme 2.75G, qui quadruple les améliorations du débit de la norme GPRS en annonçant un débit théorique de 384 Kbps, ouvrant ainsi la porte aux applications multimédias (en réalité la norme EDGE permet d'atteindre des débits maximum théoriques de 473 kbit/s, mais elle a été limitée afin de se conformer aux spécifications (IMT-2000 et de l'ITU).le Seul bémol avec la technologie 2G est les droits de licence qui ont couté cher.

Ces améliorations nous a conduit à l'UMTS ou téléphonie de 3eme génération. Pour l'UMTS la bande est plus large que le GSM et elle fournit un débit de 384 kbps en réception et 64 kbps en émission dans les conditions optimales, en mouvement le débit tombe à 144 kbps, le débit théorique maximal est de 2 Mbps en situation fixe. Cette technologie est représenté par la norme Universal Mobile Télécommunications System(UMTS) et CDMA2000 et permet d'aller plus loin en proposant des services dépassant le cadre consultation WAP ou de la réception d'emails et se rapproche a ceux utilisés dans les ordinateur c'est-à-dire des services

multimédias d'où l'importance de changer l'architecture. La technologie 3G s'est améliorée dans le temps et parmi les améliorations on peut noter :

- ✚ La première évolution de la 3G est la 3G+. Basée sur la norme HSPA (High Speed Packet Access), la 3G+ permet de passer à des débits d'échanges supérieurs à ceux de la 3G.
- ✚ La dernière évolution des réseaux 3G, parfois appelé HSPA+, 3G++ ou THDM (Très Haut Débit Mobile), permet de tripler la vitesse des réseaux 3G+ avec un débit allant de 21 à 42 Mbit/s.

3.2 Les services

L'UMTS offre quatre différents types de services en fonction des quatre catégories de qualité de service (QOS):

✚ **Catégorie conversationnelle (voix, visiophonie)**

La voix : ce type de communication est le fondement de la téléphonie. Sans voix, il n'y aurait pas de téléphone.

La visiophonie : ce type de communication permet de voir le correspondant à travers son combiné tout en discutant. La visiophonie nécessite néanmoins un débit assez important comparé au débit de la voix.

✚ **Catégorie de flux continu ou Streaming (multimédia, vidéo à la demande, webcast)**

Multimédia : ce service permet d'accéder à des contenus de types audio, vidéo en streaming. Cela permet de regarder la TV, des films sans avoir à les télécharger sur le mobile puis à les regarder ; ces flux sont mise en mémoire tampon et sont lu directement.

VoD (Vidéo à la Demande) : ce service permet à l'utilisateur, à n'importe quel moment, de pouvoir regarder le film de son choix.

Webcast : ce service n'est autre que l'envoi des services multimédia en streaming. Il est difficilement gérable de son mobile. Le flux provient de serveurs WEB. Ce service n'est autre que du monitoring.

✚ **Catégorie interactive (WEB/WAP, jeu de vidéo en ligne, accès aux bases de données)**

WEB/WAP : ce service permet d'accéder à l'internet mobile et l'internet PC.

Jeux vidéo en ligne : ce service permet de jouer contre ou avec d'autres adversaires en ligne. Ce service est similaire aux services développés pour les salles de jeux en réseaux.

Accès aux bases de données : ce service permet d'accéder aux bases de données du monde entier depuis son mobile.

🚩 Catégorie arrière-plan (email, SMS, téléchargement)

Email : ce service permet d'envoyer et de recevoir ses emails depuis votre mobile. Il est nécessaire de disposer d'un compte messagerie internet pour pouvoir y avoir accès.

SMS : pour Short Message Service, ce service permet d'envoyer de petits messages à n'importe quel numéro mobile, et, depuis quelque temps, à n'importe quel numéro fixe aussi mobile.

Téléchargement : ce service permet d'obtenir n'importe quel fichier depuis le WEB ou le WAP pour l'enregistrer sur votre mobile.

3.3 Architecture et fonctionnement de l'UMTS

Le réseau UMTS est composé de deux sous réseaux comme l'illustre la figure ci-dessous : le Core Network (réseau Cœur) et le UMTS Radio Access Network (réseau d'accès).

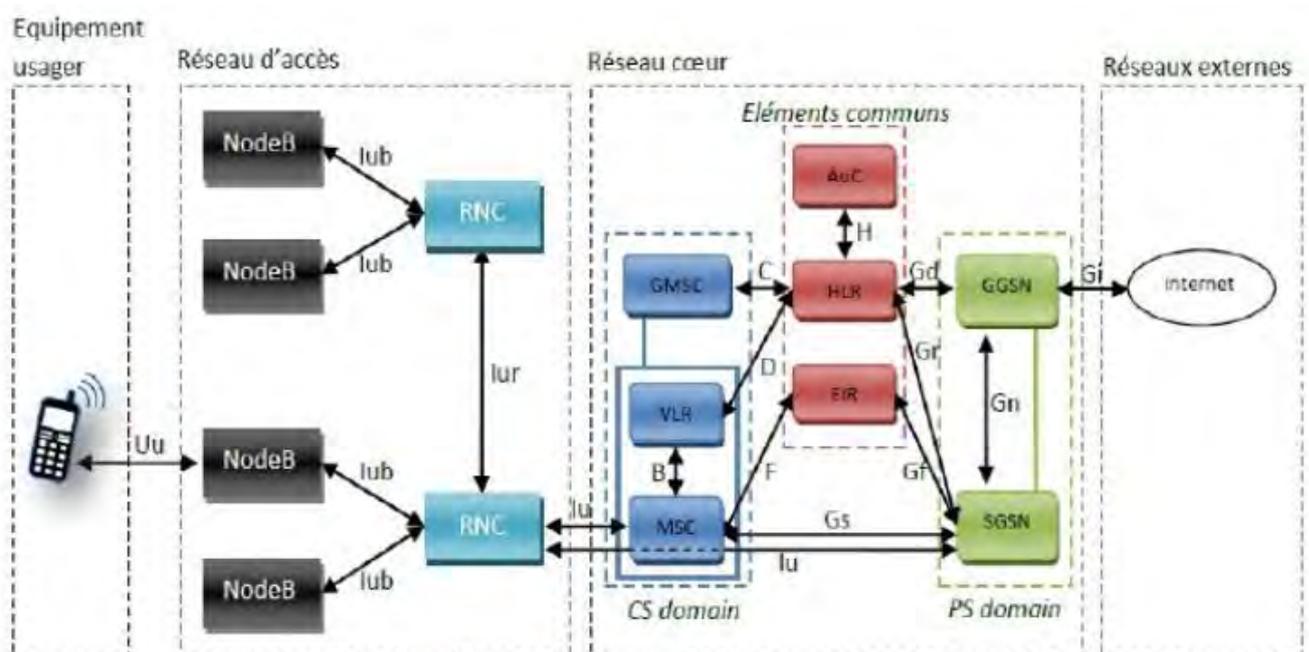


Figure 15 Architecture de l'UMTS

3.3.1 Station Mobile (UE, User Equipment)

L'utilisateur UMTS est équipé d'un UE (User Equipment) qui se compose du Mobile Equipment (ME) correspondant au combiné téléphonique (terminal mobile) et la carte USIM (UMTS Subscriber Identity Module). Le rôle de l'USIM est semblable à celui de la carte SIM en GSM. Elle enregistre les identités de l'abonné telles que IMSI, TMSI, P-TMSI, les données de souscription, la clé de sécurité (Ki) et les algorithmes d'authentification et de génération de clé de chiffrement. L'UE peut se rattacher simultanément aux domaines circuit (MSC) et paquet (SGSN) et peut alors disposer simultanément d'un service GPRS et d'une communication téléphonique, comme un terminal GPRS Classe A.

3.3.2. Le sous-système radio (RNS, Radio Network Subsystem)

Le sous-système radio se compose de deux éléments distincts, à savoir le nœud B (node B) et le contrôleur de réseau radio (RNC, Radio Network Controller) (Figure 16).

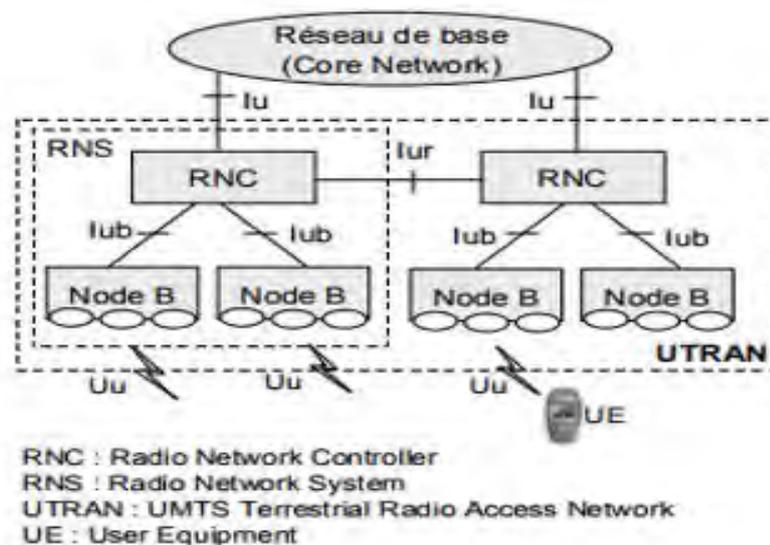


Figure 16 Architecture de référence UMTS

3.3.3 Le Node B

Le Node B est équivalent à la BTS du réseau GSM. Il peut gérer une ou plusieurs cellules. Il inclut un récepteur CDMA qui convertit les signaux de l'interface Uu (Interface Air) en flux de données acheminés au RNC sur l'interface Iub. Dans l'autre sens, le transmetteur CDMA convertit les flux de données reçus du RNC pour leur transmission sur l'interface Air. Il existe

trois types de Node B correspondant aux deux modes UTRA : Node B UTRA-FDD, Node B UTRA-TDD et Node B mode dual, ce dernier pouvant utiliser les deux modes simultanément.

A ce titre, le nœud B assure les fonctions suivantes :

- ✚ Mise au format des données en vue de les rayonner,
- ✚ Codage correcteur d'erreurs (convolutifs ou turbo-code),
- ✚ Adaptation de débit,
- ✚ Étalement /dés étalement WCDMA
- ✚ Modulation QPSK,
- ✚ Amplification, filtrage et rayonnement,
- ✚ Mesure de paramètres physiques propres à assurer le bon fonctionnement des algorithmes de RRM (Radio Ressources Management), soit le contrôle de puissance pour la boucle intérieure (inner-loop)
- ✚ Combinaison des signaux issus de plusieurs secteurs du même Nœud B

3.3.4 LE RNC

Le RNC possède et contrôle les ressources radio des Node B auxquels il est connecté. Le RNC est le point d'accès au service pour tous les services que l'UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) fournit au réseau de base. Le RNC et les Node B sont connectés entre eux et au réseau de base par trois interfaces comme montré à la figure 16. L'interface Iu connecte chaque RNC au réseau de base (similaire aux interfaces A et Gb entre le BSC et le réseau de base) : il s'agit d'une interface ouverte qui sépare donc l'UTRAN, domaine spécifique à la radio, du réseau de base, domaine chargé de la commutation, du routage et du contrôle des services. L'interface Iu peut être de deux types (Figure 16) : IuCs (Iu Circuit Switched) pour le domaine circuit, et IuPs (Iu Packet Switched) pour le domaine paquet. Le RNC assure les mécanismes de handover et de macro-diversité. Le handover est la capacité du réseau à maintenir une communication lorsqu'un mobile change de cellule. La macro-diversité est la phase pendant laquelle la station mobile maintient plusieurs liens radio avec des cellules différentes. Le CDMA utilise la macro-diversité pour obtenir un signal de meilleure qualité. Ainsi, lorsque la station mobile se situe à la limite des cellules, elle va sélectionner le signal de meilleure qualité parmi ceux reçus comme si elle n'avait qu'une seule connexion au réseau. L'avantage de la macro-diversité est que la transmission n'est pas interrompue lors du changement de cellule de l'utilisateur à la différence du handover. Le RNC gère le handover et la macro-diversité à travers l'interface Iub (lorsqu'il s'agit d'un déplacement entre cellules de

différents Node B sous le contrôle du même RNC), à travers l'interface Iur (lorsque les deux cellules sont contrôlés par des RNCs différents) ou à travers l'interface Iu (lorsque par exemple l'interface Iur est absente). Le mécanisme de macrodiversité est aussi appelé soft-handover alors que le handover est nommé hard-handover. Le soft-handover ne s'applique qu'à la technologie W-CDMA. Les technologies HSDPA et HSUPA ne peuvent s'appuyer que sur le hard-handover. Deux rôles de RNC ont été introduits afin de gérer la macro-diversité et le handover interRNC : le Serving RNC et le Drift RNC (un RNC joue l'un ou l'autre des deux rôles pour une communication). Chaque communication met en œuvre un Serving RNC, et passe par 0, 1 ou plusieurs Drift RNC :

- ✚ Le Serving RNC gère les connexions radios avec le mobile et sert de point de Rattachement au réseau de base via l'interface Iu. Il contrôle et exécute le handover.
- ✚ Le Drift RNC, sur ordre du Serving RNC, gère les ressources radios des Node B qui dépendent de lui. Il effectue la recombinaison des liens lorsque du fait de la macrodiversité plusieurs liens radios sont établis avec des Node B qui lui sont attachés. Il "route" les données utilisateur vers le Serving RNC dans le sens montant et vers les Node B dans le sens descendant.

3.3.5 Le WCDMA (Wideband-CDMA)

Dans les différents forums de normalisation, la technique WCDMA s'est révélée être celle qui a été adaptée le plus largement pour l'UMTS. Au sein du GPP (Génération Partnership Project), le WCDMA est appelé UTRA (Universal Terrestrial Radio Access) FDD (Frequency Division Duplex) et TDD (Time Division Duplex), le terme WCDMA étant employé pour couvrir à la fois le mode FDD et TDD.

3.3.6 Présentation de la méthode d'accès CDMA

Le CDMA (Code Division Multiple Access) est une technique d'accès multiple grâce à laquelle les différents utilisateurs peuvent communiquer en même temps dans une même bande de fréquences. La distinction entre chaque utilisateur se fait par codes connus exclusivement de l'émetteur et du récepteur. C'est ce mode, plus précisément le W-CDMA qui est retenu pour le réseau d'accès radio de l'UMTS. Il est dit "à large bande" avec une largeur de bande de 5 MHz.

Le signal passe du débit D_4 au débit D_e et voit ainsi son spectre élargi dans la mesure où on utilise une séquence proche de l'aléatoire. Cette dernière est utilisée de manière périodique, (sa période pouvant être de plusieurs symboles).

3.3.7 Les avantages du W-CDMA

Les avantages du W-CDMA sont :

- ✚ Un gain de traitement plus élevé. En effet, en élargissant la bande, le signal est moins sensible aux interférences. Cela permet aussi d'accroître le nombre d'utilisateurs présents dans une cellule.
- ✚ La possibilité de transmettre des services à haut débit : Avec 5 MHz de largeur de bande, nous pouvons atteindre un débit de 2 Mbps.
- ✚ Meilleures performances pour détecter les trajets multiples. En effet, dans un canal de propagation à trajets multiples, des versions décalées du signal transmis parviennent des intervalles de temps différents. Cette propriété qui était un inconvénient dans d'autres systèmes, va être utilisée dans un système CDMA en combinant les signaux pour diminuer le taux d'erreurs et obtenir ainsi de meilleures performances.
- ✚ La possibilité de déploiement dans un spectre de fréquences déjà utilisé, qui consiste à faire cohabiter un système W-CDMA et un autre système cellulaire sur un même spectre de fréquences. L'inconvénient majeur du W-CDMA est qu'il requiert un support matériel et logiciel plus élaboré qu'un système à bande étroite

Chapitre 4 : Mise en œuvre de la solution

6.1 Etude de l'évolution de la technologie mobile au Sénégal

Dakar se positionne comme l'un des centres technologiques actifs en Afrique de l'Ouest. Avec une croissance de plus de 250% entre décembre 2013 et décembre 2015, le secteur de l'Internet mobile, constitue au Sénégal le principal potentiel de développement du secteur des Tic. Avec un taux de croissance économique de 6,5% en 2015 et estimé, par les autorités sénégalaises, à 7,6% pour 2016.

2010, est l'année du lancement de la 3G au Sénégal. Cinq ans plus tard, le parc d'abonnés est passé de 16% à 94%. Aujourd'hui, 7 millions de Sénégalais ont accès à Internet, soit la moitié de la population totale du pays. En pratique aujourd'hui, un habitant sur deux s'est connecté sur Internet au moins une fois dans les six derniers mois. Mais le fait le plus marquant : 92% des connexions à Internet se font via le téléphone et le taux de pénétration de la mobile dans son ensemble atteint 110%.

Cependant, on note un problème de couverture du réseau 3 G de la sonatel dans certaines zones du pays et plus particulièrement dans les zones les plus reculées. Le réseau 3G bien vrai existant dans ces zones n'est pas stable car il est souvent perturbé par les aléas de la nature telles les perturbations (montagnes, pertes de puissances d'émission) .pour résoudre ce problème, la solution mise en place est de déployer la 3G sur les réseaux VSAT pour avoir un accès garanti.

6.2 Description de la solution technique

Tenant compte de ce qui précède et dans le cadre de l'amélioration de la QoS et la disponibilité du réseau 3G, nous proposons une solution dont la mise en œuvre se basera :

- ✚ Sur l'exploitation du Skyedge 1 de la sonatel en bande C et en bande Ku
- ✚ La migration du GSM sur VSAT vers l'UMTS sur VSAT
- ✚ Assurer la supervision du réseau

7. Etude de l'architecture et fonctionnement de la plateforme HUB/VSAT SkyEdge I Bande C de la Sonatel

Présentation

La plateforme HUB/VSAT SkyEdge I en bande C véhicule tout le trafic GSM et CDMA des zones où le déploiement des faisceaux hertziens ou la fibre optique est impossible. Nous allons étudier le fonctionnement de cette plateforme et mettre en exergue les techniques actuelles utilisées pour véhiculer le trafic.

7.1 Architecture du réseau VSAT Bande C

Il s'agit d'une topologie en étoile. La station centrale (HUB) se trouve à Gandoul et est raccordée au réseau de transmission optique via l'équipement SDH. Derrière chaque station VSAT est connectée une BTS GSM ou CDMA.

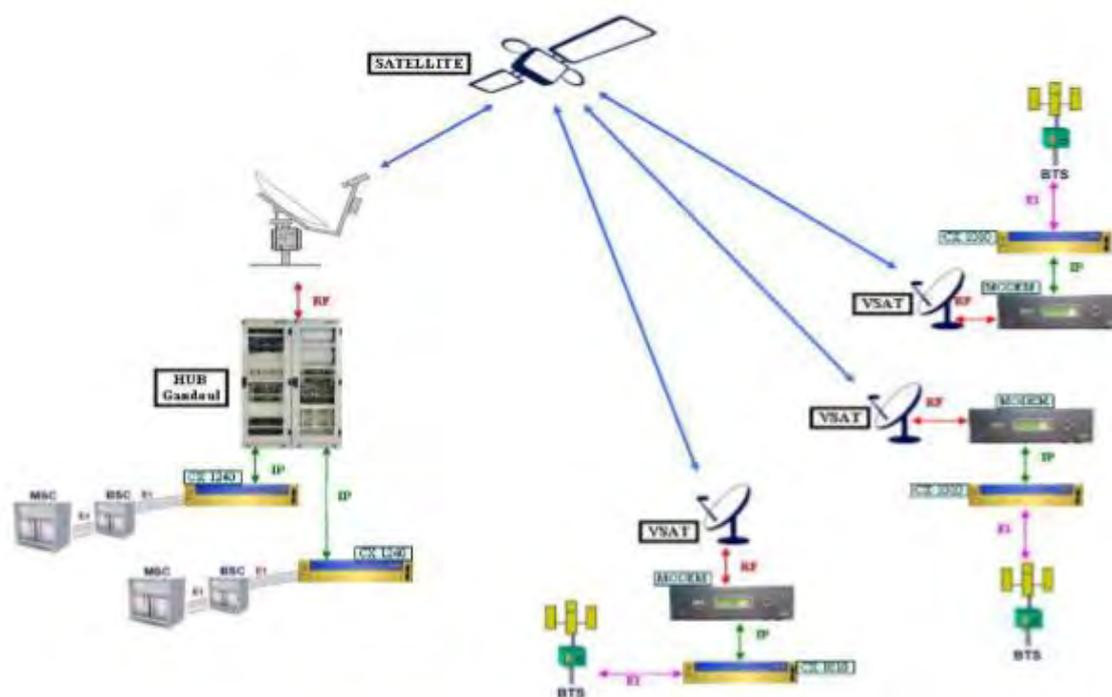


Figure 17 Plateforme HUB/VSAT Bande C

7.2 Le segment spatial

La bande de fréquence allouée à la plateforme HUB/VSAT est divisée en deux zones :

- ✚ La partie Outbound : c'est la porteuse émise par le HUB vers les stations VSATs. Elle est reçue par l'ensemble des stations VSATs grâce au braodcasting avec le standard

DVB-S. L'Outbound transporte les données de gestion et de contrôle du réseau, le trafic IP/Voix et la synchronisation. Le débit de la porteuse Outbound est de 16 Mbps

✚ La partie Inbound : c'est la bande de fréquence réservée à la transmission des VSATs vers le HUB. Elle est subdivisée en plusieurs canaux de fréquence et toutes les stations VSATs partagent ces mêmes fréquences pour émettre vers le HUB. L'allocation des canaux de fréquences Inbound et des time-slots est gérée par le HUB. En plus du trafic voix et IP, les porteuses Inbound transmettent des informations telles que le nombre de clients, le type de trafic et le débit nécessaire pour la réservation de ressources satellites.

- ✓ Nombre de porteuses Inbound : Dix (10)
- ✓ Débit par porteuse Inbound : 1,16 Mbps

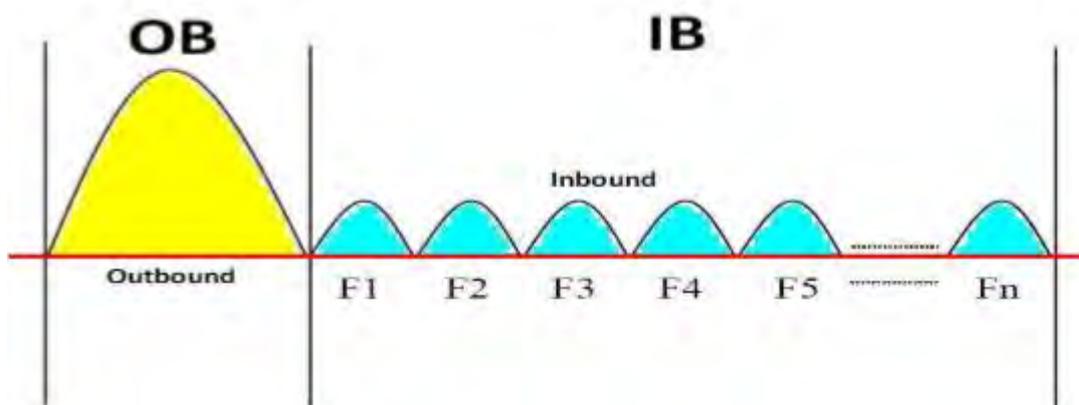


Figure 18 Répartition du Segment Spatial

7.3 Les protocoles utilisés

Le SkyEdge1 travaille avec deux principaux protocoles internes (propriétaire à GILAT) au système : LAPU et Backbone.

- ✚ Link Access Protocol Unbalanced (LAPU) : c'est un protocole de niveau 2 qui assure le transport de la signalisation entre deux points à travers le lien satellite. Ce protocole de transmission se justifie par sa fiabilité, sa capacité de contrôle et de management du flux, la détection et la correction des erreurs (collision par exemple).
- ✚ Backbone (BB) : ce protocole de la couche réseau permet d'accroître la performance des échanges de données IP en agissant sur les lenteurs dues aux délais satellite.

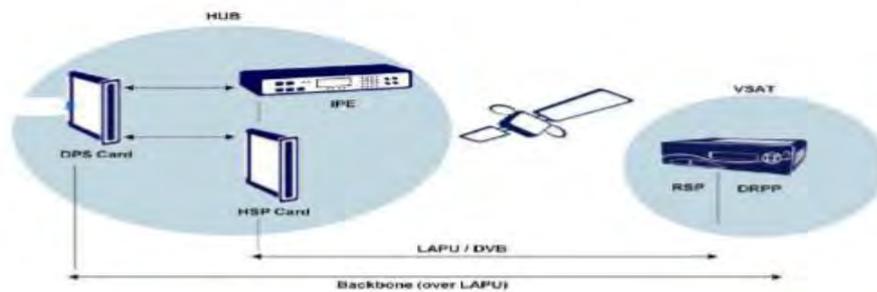


Figure 19 Protocoles LAPU et BB

7.4 Le HUB Bande C de Gandoul : la partie bande de base

La partie bande de base du HUB est constituée de deux chaînes d'équipements : une en émission et une autre en réception.

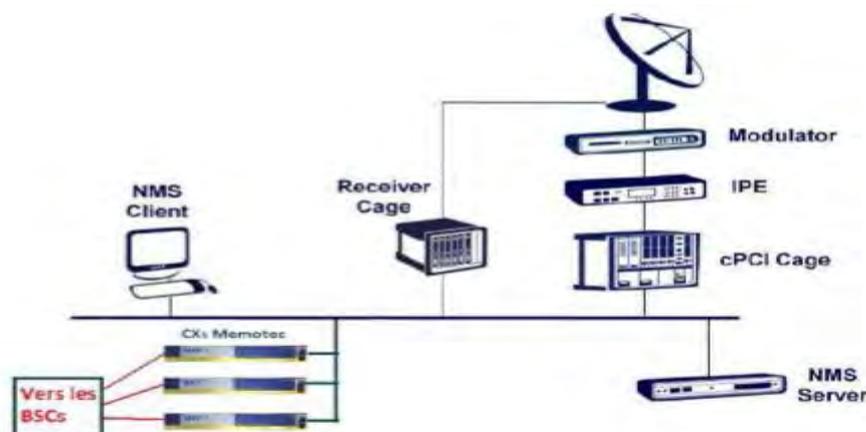


Figure 20 Principaux composants du HUB Bande

a. Le Modulateur

Le modulateur a pour rôle fondamental de convertir les données numériques en fréquences radio pour assurer leur transport. Localisé au niveau de la chaîne émission du HUB, le modulateur reçoit le flux de transport MPEG-2 venant de l'IPE et le transforme en un signal IF modulé en DVB-S. Il est aussi responsable de l'injection du mécanisme de correction d'erreurs appelé FEC (Forward Error Correction). Le type de modulateur utilisé pour le HUB de Gandoul est de marque SENCORE dont les spécifications techniques se trouvent ci-dessous :

- ✚ Type de modulation : QPSK ou 8PSK
- ✚ Fréquence Intermédiaire (IF) : 70 MHz
- ✚ Codages FEC : 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 et 7/8
- ✚ Symbole Rate : de 256 KSpS à 30 MSpS



Figure 21 le modulateur

b. L'IP Encapsulator (IPE)

L'IPE reçoit et traite toutes les données IP provenant des différents composants du HUB. Il empile les paquets IP pour les convertir en flux MPEG-2 destiné au modulateur : il joue un rôle important au niveau de la chaîne émission du HUB. Etant données que tous les types de paquets reçu sont empaquetés en un seul flux de données, il est donc nécessaire de les classifier avant de les transmettre vers les stations VSATs. Chaque paquet possède un en-tête appelé PID (Packet Identifier) :

- ✚ Softwares du NMS : PID 515
- ✚ Trafic Voix : PID 256

- ✚ Trafic Données : PID 1911
- ✚ Management et contrôle du HSP : PID 787
- ✚ Synchronisation : PID 1028



c. Figure 22 Le CPCI Cage

Pour plus de fiabilité, toutes les cartes cœur-réseau du HUB sont compactés dans un châssis appelé CPCI Cage.

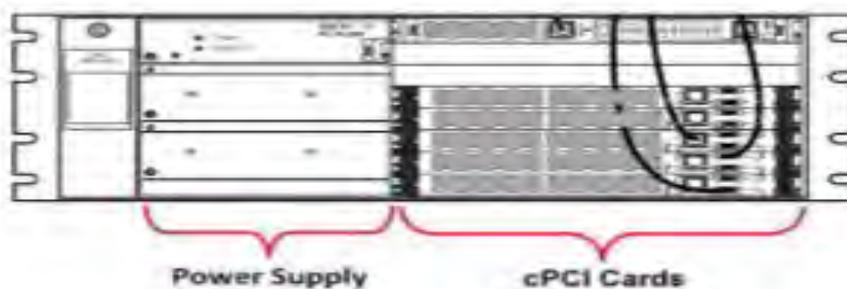


Figure 23 Le Châssis CPCI Figure 15:

Chaque carte est contrôlée, managée et configurée via le NMS Server. A la mise sous tension du châssis, les cartes entament une session de démarrage (BootP) avec le NMS. Chaque carte est reconnue par le NMS via son adresse MAC, les fichiers d'opération (binary files) et de configuration (xml files) sont alors copiées à partir du serveur par TFTP.

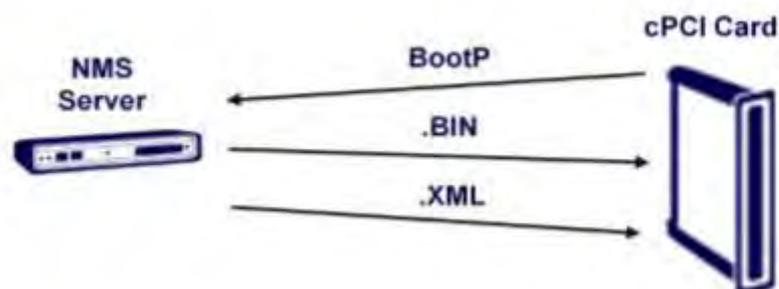


Figure 24 Procédure Copie Fichiers

Pour la plateforme bande C, le CPCI Cage comporte les cartes listées ci-dessous.

✚ Le Data Protocol Server (DPS)

Le DPS joue un rôle d'interface entre le réseau terrestre et le réseau VSAT. Il assure le routage des paquets venant du réseau terrestre de la SONATEL vers les différentes stations VSATs.

✚ Le Hub Satellite Processor (HSP)

C'est l'élément cœur du HUB : il est responsable de l'allocation des canaux de transmissions et de la synchronisation. Le HSP est donc directement connecté au HRU (paragraphe d) et au Sync Device (paragraphe e). Le HSP reçoit les données provenant des VSATs (via le HRU), les traite selon le protocole de transmission puis les transmet au DPS s'il s'agit de trafic IP ou au DCAS pour la voix. A l'inverse, il collecte le trafic provenant du DPS ou du DCAS, la traite puis le transmet à l'IPE pour émission vers les VSATs. Les requêtes de demandes de ressources provenant des stations VSATs sont gérées au niveau du CSRM (Central Satellite Resource Management) qui alloue les ressources satellite en fonction du type et du volume de trafic.

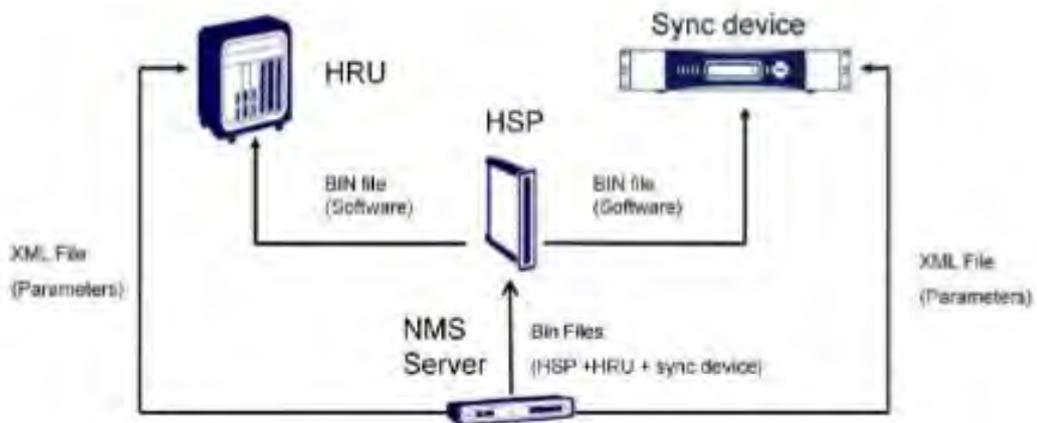


Figure 25 Inter connectivité du HSP

d. Le receiver Cage ou Hub Receiver Unit (HRU)

Le HRU traite les signaux provenant des VSATs. Il envoie les données modulées vers le LAN du HUB à travers les HSP et le VPP. Le HRU est un châssis comportant plusieurs cartes fonctionnelles :

- ✚ La carte de contrôle (controller Card) : télécharge les logiciels à partir du HSP, attribue les bandes de fréquences aux différentes cartes de réception inbound et permet de faire des télémessures sur le segment spatial
- ✚ Les Receiver cards : chacune de ces cartes peut démoduler jusqu'à deux porteuse Inbound. Leurs débits varient entre 60 Kbps et 2 Mbps.

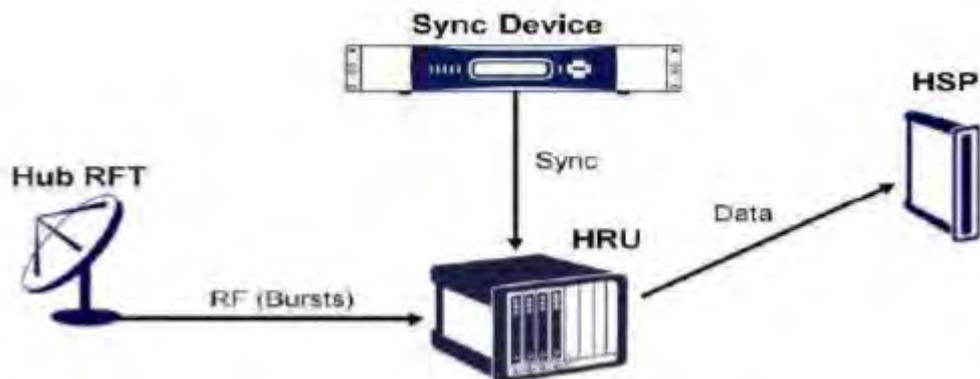


Figure 26 Inter connectivité du HRU

e. Le Sync Device

La technique au support pour la partie est le MF-TDMA. Le facteur temps étant très déterminant, il est donc nécessaire que les équipements distants (VSATs) et les équipements du HUB travaillent sur le même longeur de temps. Le Sync Device est un équipement du HUB qui assure la fonction de synchronisation au niveau du réseau HUB/VSAT. Il envoie les données de synchronisation vers les VSATs (via l'IPE), vers le ou les HRU (s) et vers le HSP.

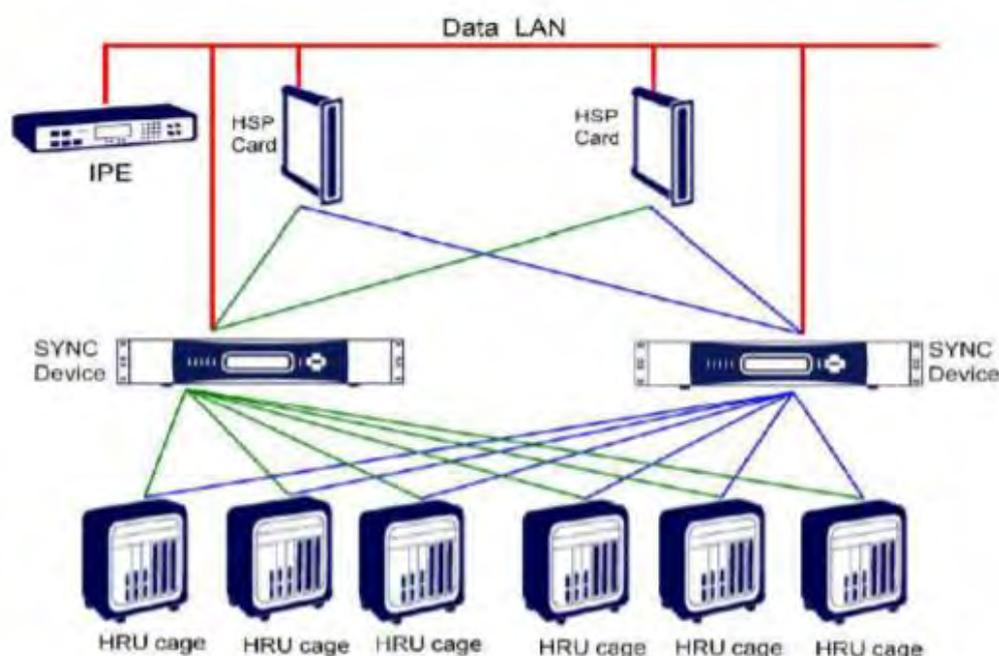


Figure 26 : Inter connectivité du Sync Device

Les deux Sync Devices (active et standby) sont connectés à :

- ✚ Plusieurs HRU (6 au maximum)
- ✚ Deux (02) HSP
- ✚ Un (01) IPE

Le Sync Device actif génère des Time Slots pour les MF-TDMA et des paquets de synchronisation qu'il envoie vers les VSATs en utilisant le PID 1028. A cause des jitter de l'IPE et du modulateur dans le traitement des données, le Sync Device doit compenser l'écart temps. Par conséquent, un signal de retour RF est renvoyé au Sync Device pour former la boucle de synchronisation. Cette boucle permet de synchroniser l'ensemble des équipements du HUB et des VSATs en tenant compte de tous les écarts de temps.

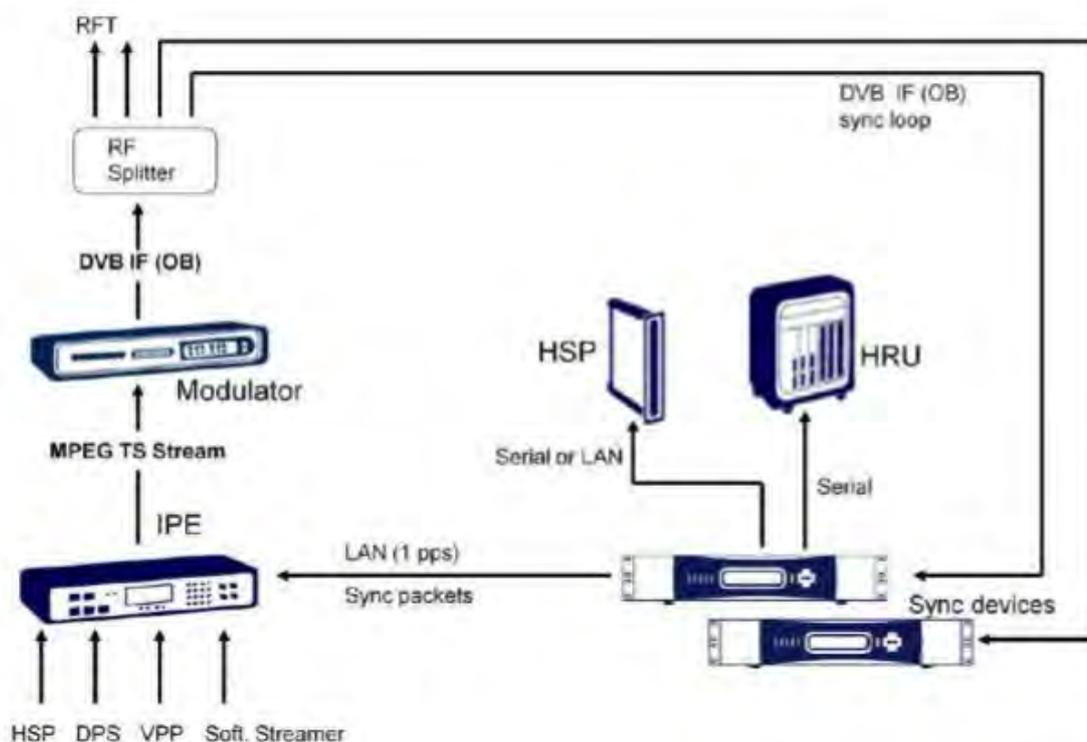


Figure 27 Boucle de synchronisation

f. Le Network Management System (NMS)

Le NMS est un système de supervision et d'exploitation du réseau VSAT. Il permet à l'opérateur de faire le monitoring, la configuration et la modification des équipements du HUB et des remotes (VSATs). L'architecture client/serveur utilisée permet au système d'avoir un système de management et de contrôle centralisé tout en permettant à plusieurs opérateurs d'avoir accès à l'exploitation du système.

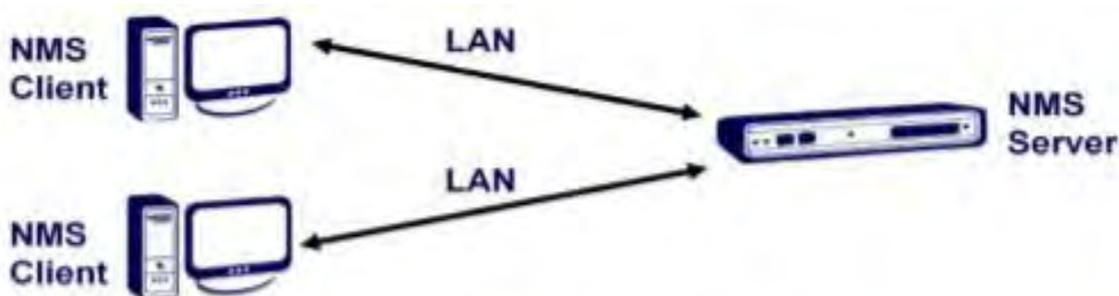


Figure 28 Architecture Client/serveur du NMS

Le NMS Server est localisé au niveau du HUB tandis que les NMS Clients peuvent se trouver dans un site distant permettant ainsi d'effectuer des télé-actions. L'interface GUI (Graphic User Interface) fournit une facilité d'exploitation et de monitoring du réseau : supervision, configuration, suivi alarmes et logs, transferts de CDRs vers le billing, etc.

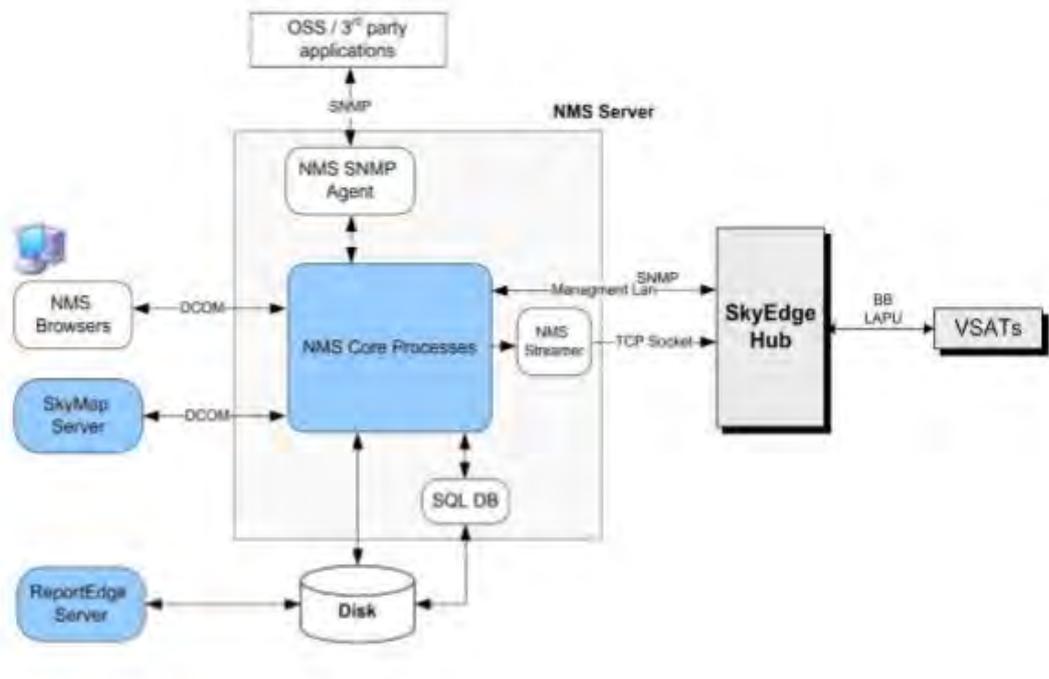


Figure 29 Architecture du NMS

7.5 Le HUB Bande C : les équipements RF

Ce sont essentiellement les équipements qui traitent les signaux à fréquences radios et l'antenne HUB. Le modulateur ainsi que le HRU traite des fréquences intermédiaires FI (de l'ordre de 70 MHz) alors que les fréquences transmises et reçues sur le satellite sont en bande C (4 à 6 GHz). D'où la nécessité d'installer des modules intermédiaires de transposition de fréquence.

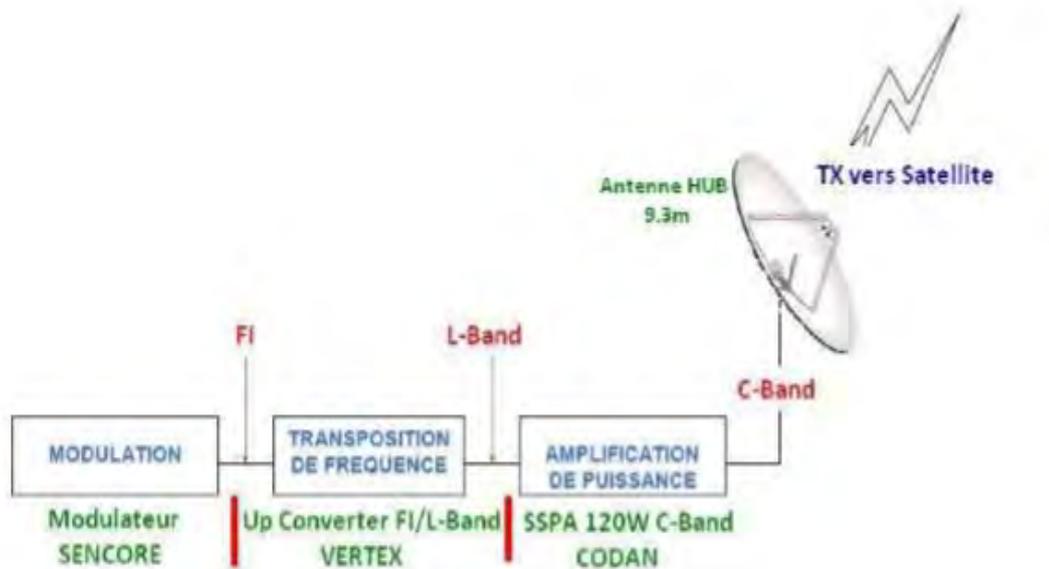


Figure 30 Chaîne Emission Partie RF

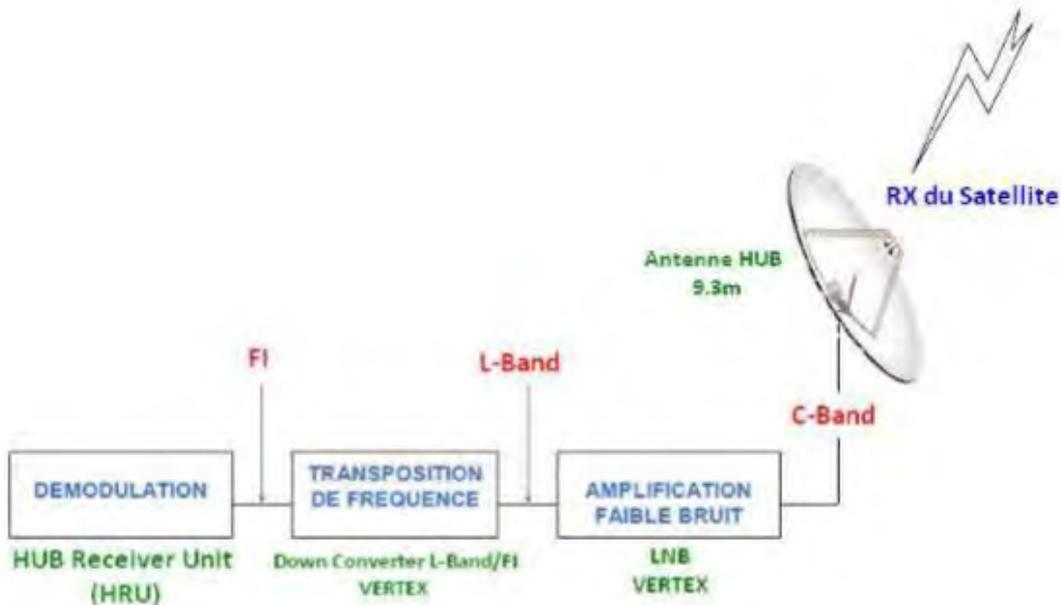


Figure 31 Chaîne Réception Partie RF

- ✚ Antenne HUB : c'est une antenne de type Prime-Focus de diamètre 9.3 mètres. Elle est équipée d'un système de motorisation en azimut et en élévation lui permettant d'avoir une orientation précise vers le satellite INTELSAT 905.
- ✚ Amplificateurs de puissance : ils sont au nombre de deux (standby et active) et se localisent au niveau de la chaîne émission. Les SSPA sont de marque CODAN et ont une puissance maximale chacune de 120W

- ✚ Amplificateurs à faible bruit : ils sont aussi au nombre de deux et appartiennent à la Chaîne réception. Les LNB sont de type VERTEX.
- ✚ Up/Down Converter : c'est un équipement de transposition de fréquence (de FI vers Bande L et vice versa). Les fonctions Up Converter (émission) et Down Converter (Réception) sont regroupées sur le même module qui est de marque VERTEX.

7.6 Les stations VSATs

Une station VSAT Bande C est composée essentiellement de :

- ✚ Antenne de 2.4 m de diamètre équipée d'une source TX/RX, d'un BUC 5W pour l'émission vers le HUB et d'un LNB pour la réception.
- ✚ Modem VSAT SkyEdge : c'est un équipement compact composé de plusieurs modules internes tels le RSP (protocole LAPU/DVB), le DRPP (protocole Backbone) et le VRPP (voix). Le modem dispose de deux sorties RF pour l'antenne, une sortie LAN pour le CX Memotec.
- ✚ CX Memotec : relié au modem par une liaison IP et à la BTS par un lien E1, il est chargé d'effectuer la conversion IP/E1 et E1/IP. Le CX Memotec effectue aussi une compression de données : l'E1 2 Mbit/s venant de la BTS est compressé en fonction du volume de trafic à véhiculer. Les 32 time-slots de l'E1 de la BTS ne sont toujours pas utilisées en même temps, le CX analyse chaque time-slot pour en extraire le trafic utile. Ce procédé permet d'optimiser la bande passante et dans la pratique, le débit venant de la BTS est divisé en deux.

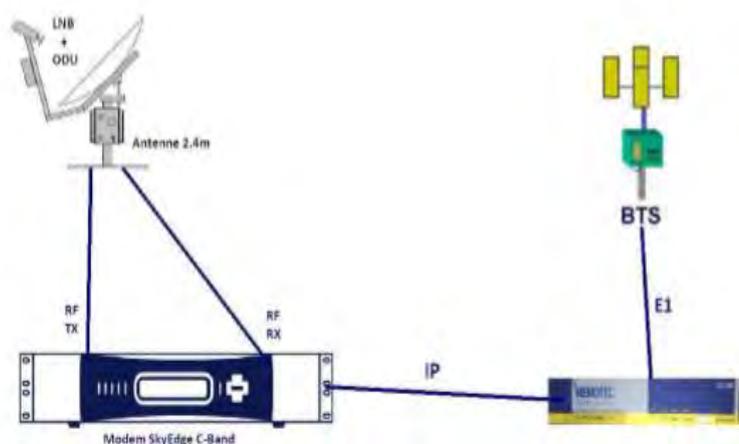


Figure 32 Station VSAT Bande C

7.7 Les techniques d'accès au support

La partie Inbound est partagée par toutes les stations VSATs, elle divisée en plusieurs porteuses de faible débit. Chaque porteuse est aussi divisée en plusieurs time-slots d'où l'utilisation de la technique d'accès MF-TDMA (Multi Frequency Time Division). Avec cette technique, le paquet transmis doit être inférieur à la taille du TS attribué. Les paquets sont alors fragmentés par le VSAT en bursts (fragments de paquets) avant d'être transmis vers le HUB. Ce qui permet à plusieurs VSATs d'utiliser la même fréquence d'émission au même moment. GILAT a mis en place plusieurs types de canaux (porteuses) : le Random Access, le Guaranteed Access et le Dedicated Access. Tous ces canaux sont alloués par le CSRM du HSP.

3.7.1 Le Random Access (RA)

Le RA est basé sur la technique du « frequency hopping » méthode de transmission de signaux qui utilise plusieurs canaux répartis sur une large bande de fréquences selon une séquence pseudo-aléatoire connue de l'émetteur et du récepteur. Le VSAT transmet au hasard un burst sur une des fréquences Inbound et sur un TS aléatoire. Si une collision de bursts s'opère avec une autre station VSAT, il y a une retransmission automatique vers un autre canal ou TS.

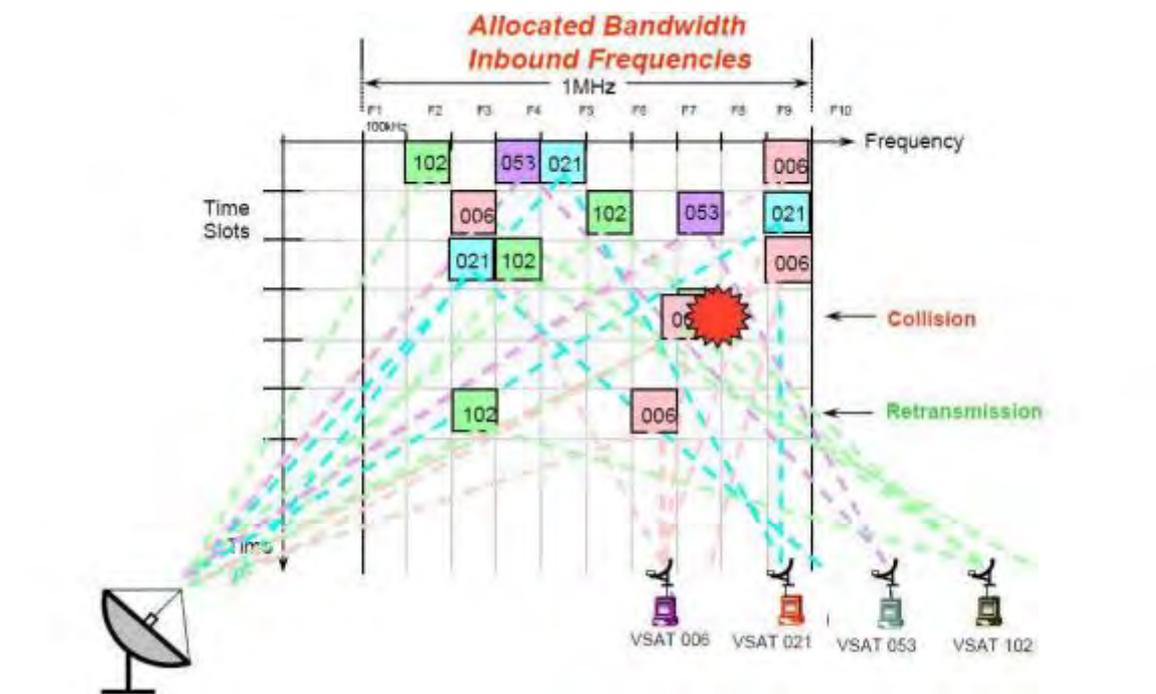


Figure 33 Le Random Access (RA)

- ✚ **Avantages du Random Access** : Le RA convient aux réseaux vastes avec un nombre élevé de stations VSATs à faibles débits en Up Link. La station peut transmettre directement des données sans réserver des ressources sur le HUB : ce qui convient aux applications à temps de réponse court.
- ✚ **Inconvénients du Random Access** : Le RA fournit des réponses satisfaisantes si seule 33% de la bande passante est utilisée, au-delà la QoS serait dégradée. Ce type de canal n'est pas compatible avec certaines applications multimédias.
- ✚ **Applications utilisant le Random Access** : Le RA convient aux services de loteries, point de vente avec carte de crédit, etc.

7.7.2 Le Guaranteed Access (GA)

L'allocation d'un canal GA est basée sur le volume de trafic à transmettre. Le VSAT utilise le canal RRA (Reservation Random Access) pour faire une demande d'allocation de ressources.

Un VSAT utilise le RRA pour émettre un burst initial contenant le volume de trafic à véhiculer et le nombre de paquets en attente de transmission. Le HUB reçoit la requête puis alloue au VSAT un GA disponible. Cette allocation se fait à travers l'Outbound reçu par le VSAT et contient la fréquence GA, le time-slot de début et le nombre de time-slot attribués.

- ✚ **Avantages du Guaranteed Access** : avec le GA, il n'y a pas de collision possible, le canal étant déjà réservé pour une durée bien déterminée. Le GA permet de faire du SLA Client et ainsi améliorer la QoS.
- ✚ **Inconvénients du Guaranteed Access** : le VSAT transmet sur une fréquence unique et le temps de réponse est relativement long donc ne convient pas à la VoIP.
- ✚ **Applications utilisant le Guaranteed Access** : applications nécessitant une importante utilisation de la bande passante, réseaux à services variés, etc.

7.7.3 Le Dedicated Access (DA)

Le DA est basé sur l'allocation statique ou dynamique des canaux avec des TS spécifiques.

Un VSAT peut être configuré sur le NMS afin de lui attribuer à l'avance un DA Channel. En plus de l'absence de collisions, le DA attribue un canal de communication avec un débit fixe.

Les temps de réponse sont minimisés du fait que le VSAT n'a pas besoin de faire une demande d'allocation de ressources au HUB

8. La plateforme HUB/VSAT Bande Ku

La plateforme en bande Ku a la même architecture globale que la bande C. La différence principale entre ces deux plateformes est la bande de fréquence utilisée (C et Ku) mais aussi les services véhiculés par chaque plateforme.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les techniques utilisés par le SkyEdge I pour véhiculer le trafic internet et la téléphonie via les stations VSAT.

8.1 Architecture du réseau VSAT Bande Ku

Il s'agit d'une topologie en étoile. La station centrale (HUB) se trouve à Gandoul et est raccordée réseau de la SONATEL par le Border Router (trafic IP) et l'ensemble Media Gateway/SIU. Selon les clients, le VSAT est raccordé à un poste téléphonique et/ou à un ordinateur.

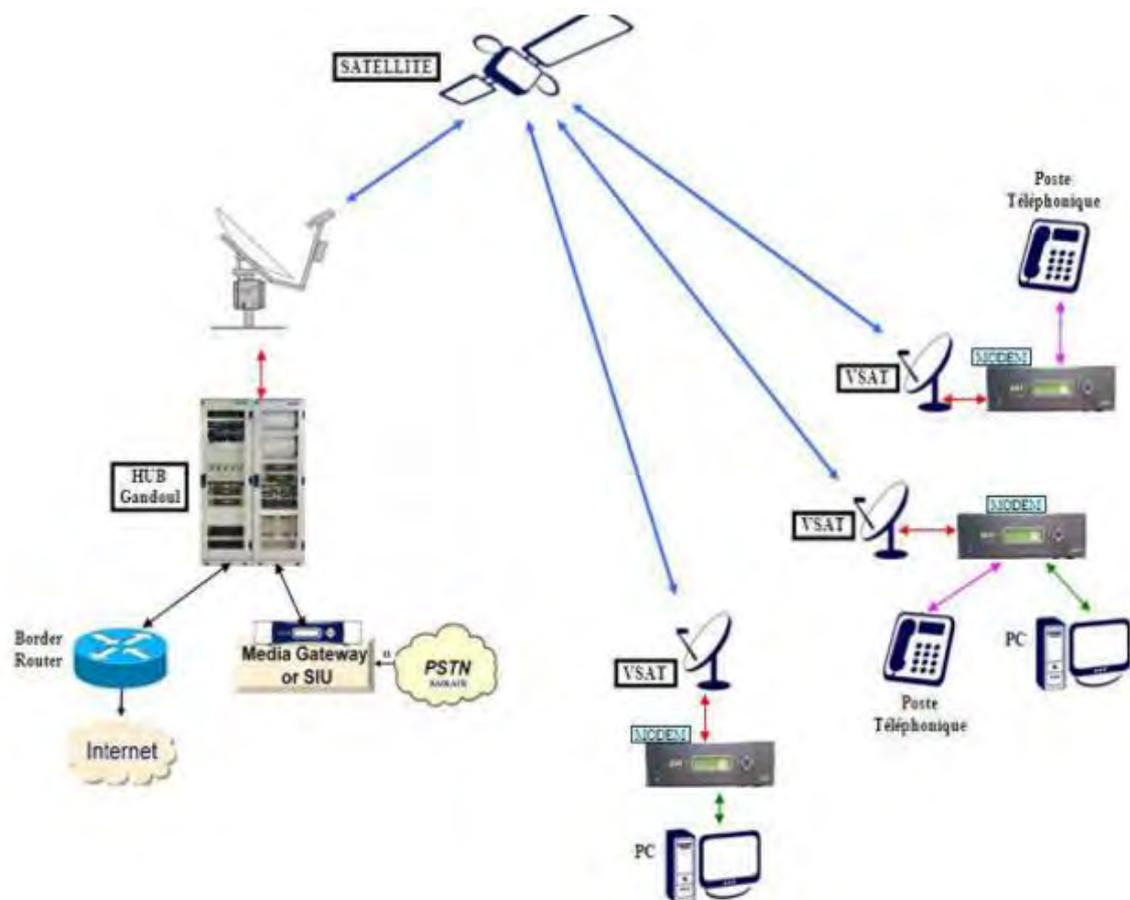


Figure 34 Plateforme Hub/VSAT bande Ku

8.2 Le segment spatial et les techniques d'accès au support

La plateforme bande Ku est configurée de la même façon que la plateforme bande C. Le segment spatial est divisé en deux parties : Inbound et Outbound.

- ✚ Débit de la porteuse Outbound : 3.2 Mbps
- ✚ Nombre de porteuses Inbound : 18
- ✚ Débit par porteuse Inbound : 305 Kbps

La technique d'accès utilisée est aussi le MF-TDMA qui aussi basée sur les protocoles internes BB et LAPU.

8.3 Le HUB Bande Ku de Gandoul : la partie bande de base

On retrouve pratiquement les mêmes équipements que sur la bande C : le modulateur, l'IPE, le cPCI Cage, le NMS Server, le HRU et le Sync Device. La bande Ku ne possède pas d'équipements Memotec destinés au GSM. Par contre, pour pouvoir fournir l'Internet et la téléphonie fixe aux clients, d'autres équipements additionnels viennent s'ajouter à l'architecture.

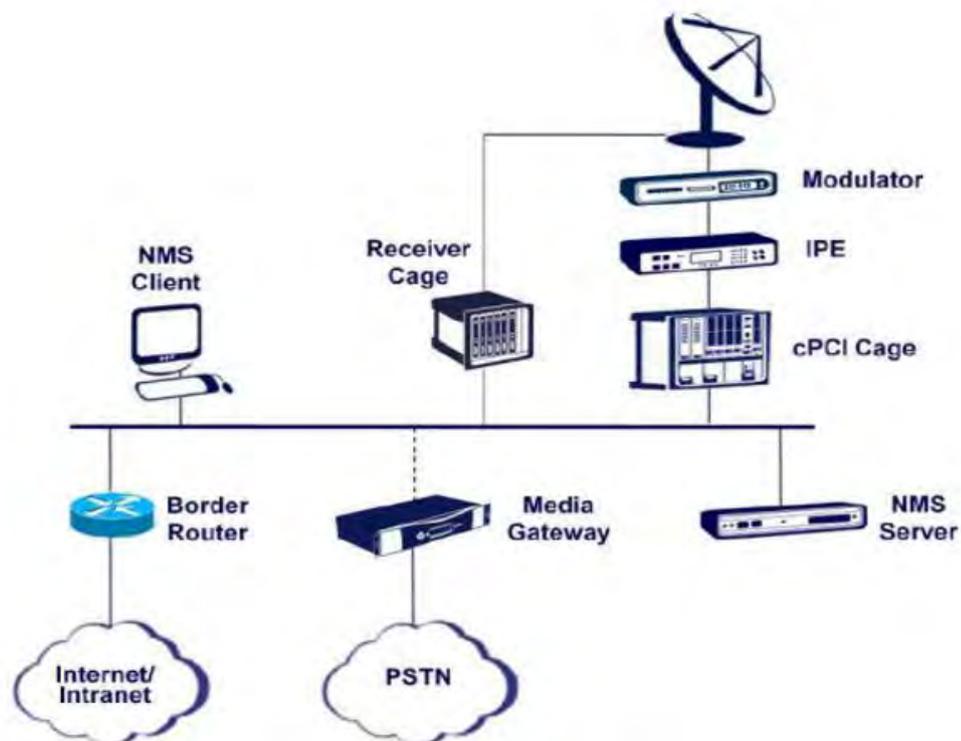


Figure 35 Principale composant du Hub bande Ku

a. Le Dynamic Call Allocation Server (DCAS)

Le DCAS est une carte qui est incorporée au niveau du CPCI Cage comme le HSP et le DPS.

Le DCAS fonctionne comme un switch satellite de téléphonie. Il est responsable de :

- ✚ Traitement des appels téléphoniques fixes
- ✚ Demande de ressources aux CSRM au niveau du HSP
- ✚ Elaboration des CDRs
- ✚ Archivage/Transferts fichiers CDRs

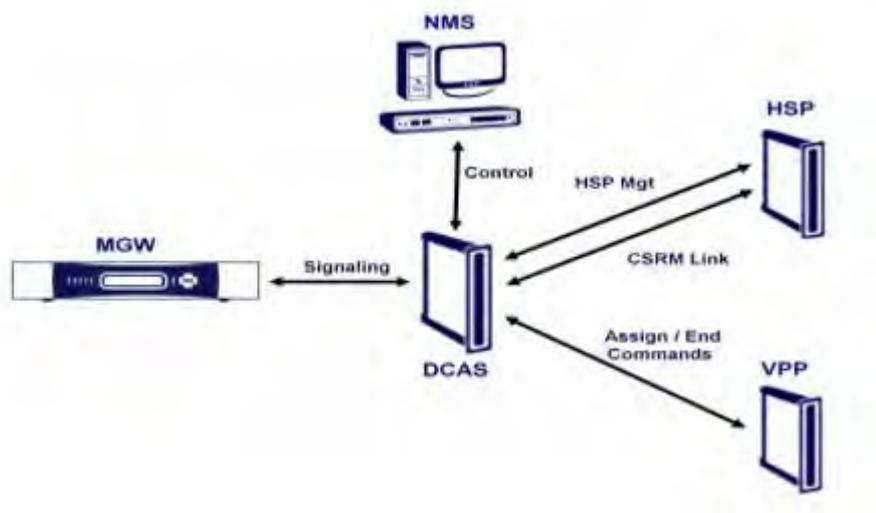


Figure 36 Le DCAS et son inter connectivité

b. Voice Packet Processor (VPP)

Le VPP est aussi une carte localisée au niveau du CPCI Cage. Sa fonction principale est d'assurer le routage de la voix entre :

- ✚ Les VSATs et le Media Gateway pour les appels venant ou allant vers l'extérieur du réseau VSAT
- ✚ Les VSATs eux-mêmes s'il s'agit d'appels internes

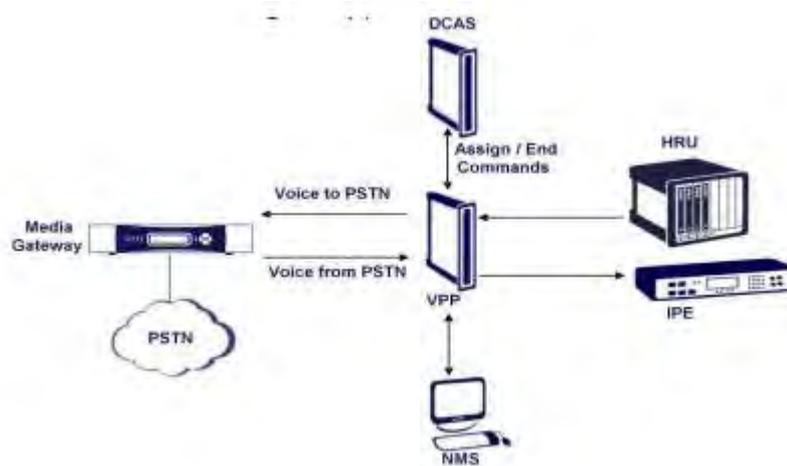


Figure 37 le VPP et son inter connectivité

a. Le Media Gateway et le SIU

Le Media Gateway et le Signaling Interface Unit (SIU) sont les principales interfaces entre le HUB et le réseau de téléphonie commuté de la SONATEL. Le Media Gateway assure est la passerelle de toutes les communications entrant ou sortant du HUB. La signalisation nécessaire pour l'établissement de ces communications est gérée au niveau du SIU qui travaille avec le protocole de signalisation SS7.

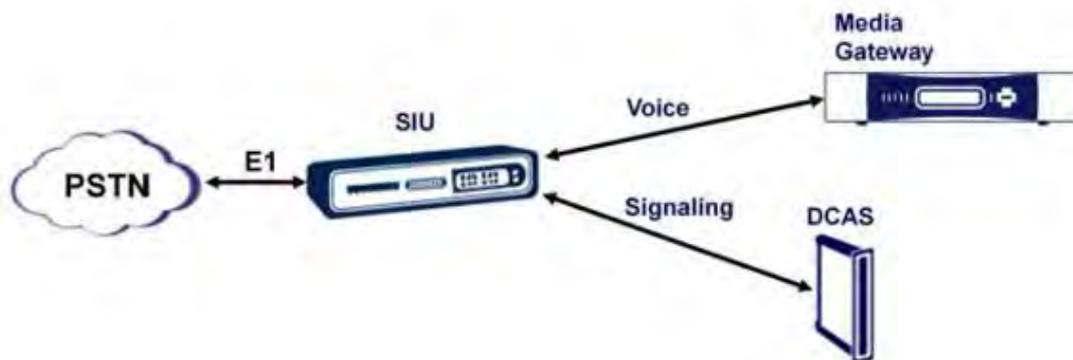


Figure 38 Le media Gateway et le SIU

b. Le Border Router

C'est l'interface entre le réseau IP terrestre de la SONATEL et le réseau HUB/VSAT. Le Border Router est un routeur Cisco_1800 qui est directement connecté au DPS.

8.4 Le HUB de Gandoul : les équipements RF

Ce sont essentiellement les équipements qui traitent les signaux à fréquences radios et l'antenne HUB. Le modulateur ainsi que le HRU traite des fréquences intermédiaires FI (de l'ordre de 70 MHz) alors que les fréquences transmises et reçues sur le satellite sont en bande Ku (11 à 14 GHz). D'où la nécessité d'installer des modules intermédiaires de transposition de fréquence.

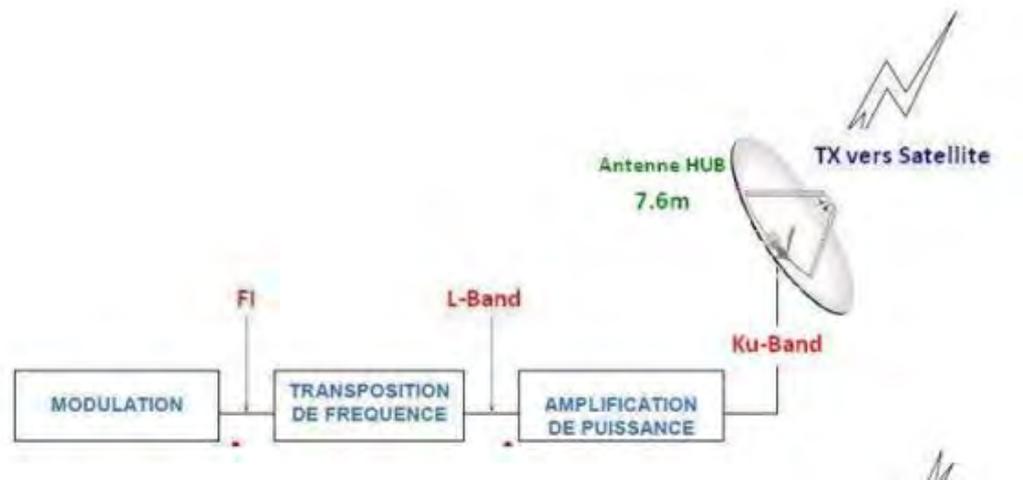


Figure 39 Chaîne émission partie RF

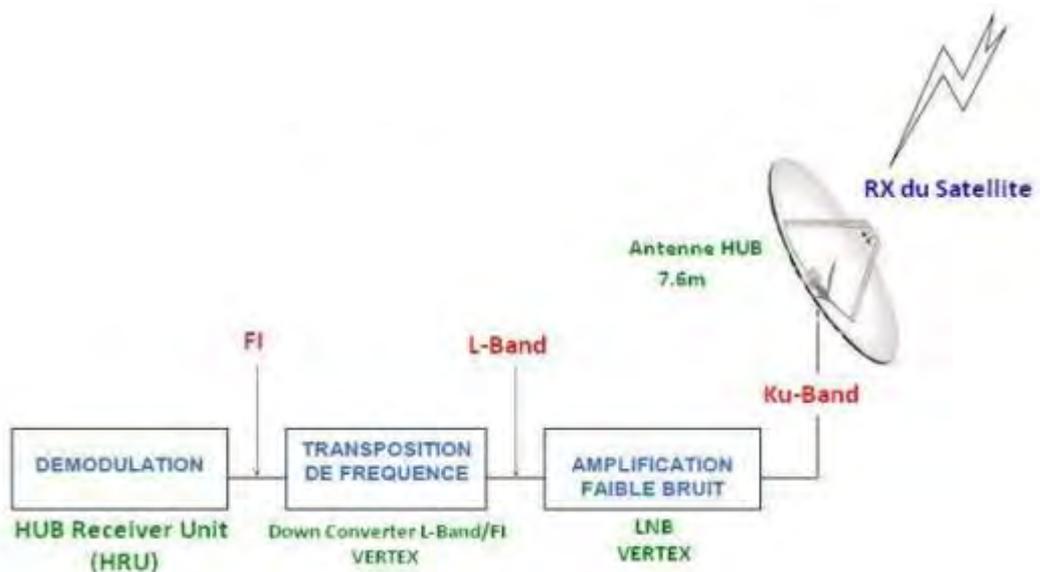


Figure 40 Chaîne réception partie RF

- ✚ **Antenne HUB** : c'est une antenne de type Prime-Focus de diamètre 7.6 mètres. Elle est équipée d'un système de motorisation en azimut et en élévation lui permettant d'avoir une orientation précise vers le satellite INTELSAT 14.
- ✚ **Amplificateurs de puissance** : elles sont au nombre de deux (standby et active) et se localisent au niveau de la chaîne émission. Les IBUC sont de marque TERRASAT et ont une puissance maximale chacune de 40W.
- ✚ **Amplificateurs à faible bruit** : elles sont aussi au nombre de deux et appartiennent à la chaîne réception. Les LNB sont de type VERTEX.
- ✚ **Up/Down Converter** : c'est un équipement de transposition de fréquence (de FI vers Bande L et vice versa). Les fonctions Up Converter (émission) et Down Converter (réception) sont regroupées sur le même module qui est de marque VERTEX.

8.5 Les stations VSATs

Une station VSAT Bande Ku est composée essentiellement de :

- ✚ **Antenne** de 1.2 m de diamètre équipée d'une source TX/RX, d'un BUC 1W pour l'émission vers le HUB et d'un LNB pour la réception.
- ✚ **Modem VSAT SkyEdge** : c'est un équipement compact composé de plusieurs modules internes tels le RSP (protocole LAPU/DVB), le DRPP (protocole Backbone) et le VRPP (voix). Le modem dispose de deux sorties RF pour l'antenne, une sortie LAN pour la connexion Internet et des ports FSX pour la téléphonie fixe.

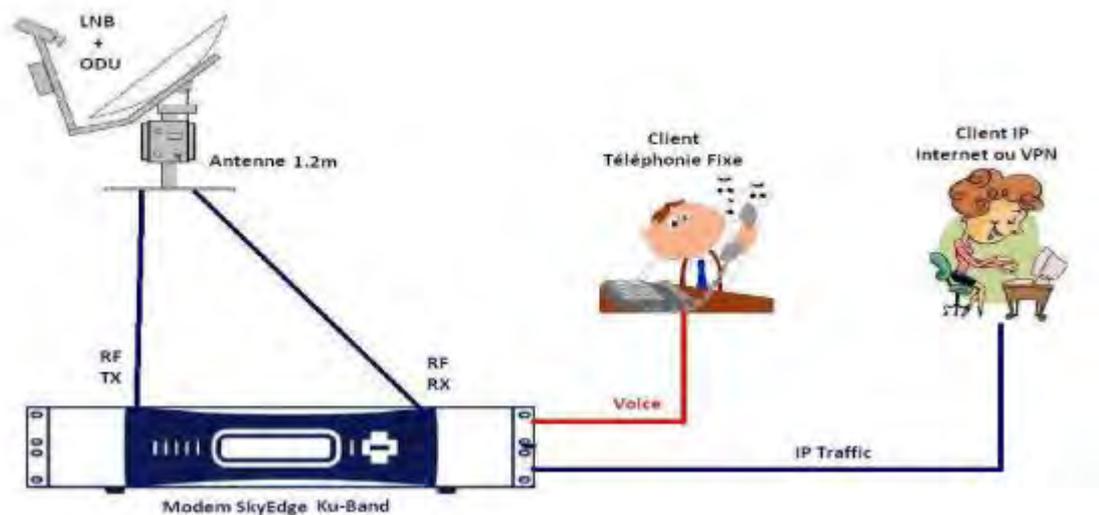


Figure 41 Station VSAT Bande Ku

8.6 La téléphonie fixe, le VPN et l'internet sur VSAT

8.6.1 La téléphonie fixe sur VSAT

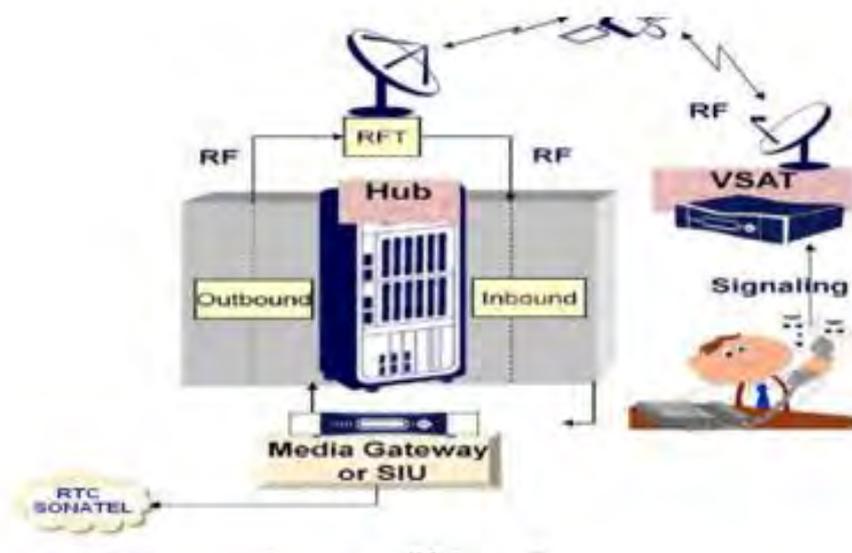


Figure 42 Téléphonie fixe par VSAT

1. Le client génère un appel téléphonique sur son poste analogique.
2. Le VSAT reçoit la requête, la traite (LAPU+BB process) puis l'envoie vers le HUB via le satellite.
3. Le HUB reçoit la requête au niveau du HRU qui transmet les données au HSP.
4. Le HSP vérifie le contenu et envoie la requête au DCAS.
5. Le DCAS procède aux actions suivantes :
 - ✓ Envoie une demande de réservation de ressources satellites au HSP (CSRM)
 - ✓ Envoie une demande de réservation de ressources voix au VPP
 - ✓ Réserve des circuits voix sur le MGW/SIU qui envoient la signalisation vers le réseau RTC de la SONATEL
 - ✓ Enregistre les détails de l'appel au niveau d'un fichier CDR

4.6.2 L'Internet et le VPN sur VSAT

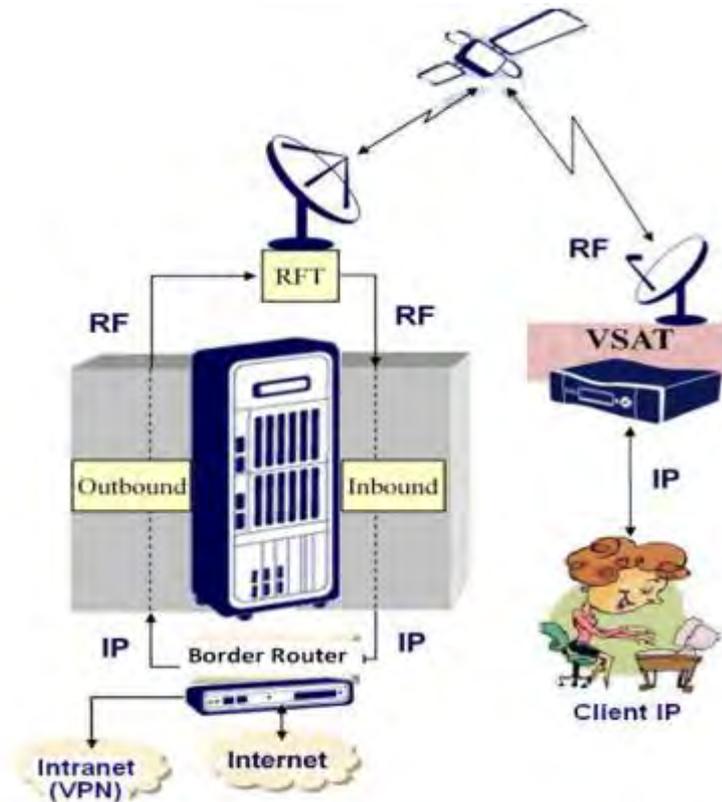


Figure 43 Internet et VPN par VSAT

Trajet VSAT vers HUB :

1. Le client envoie des paquets au VSAT via son ordinateur.
2. Le paquet est reçu par le VSAT et traité (en-têtes LAPU et BB) puis envoyé au HUB via le satellite.
3. Le HUB reçoit les données provenant du VSAT à travers le HRU qui procède à la démodulation avant de les transmettre au HSP.
4. Le HSP enlève le codage LAPU et envoie les paquets au DPS qui à son tour retire l'entête backbone.
5. Les données IP sont envoyées au Border Router qui route les paquets soit vers Internet ou vers l'Intranet selon le type de client.

Trajet HUB vers VSAT :

1. Des paquets arrivent sur le Border Router
2. Le Border Router les transmet au DPS qui rajoute l'en-tête backbone.
3. Le DPS envoie les données vers le HSP et le HSP procède à l'encodage LAPU
4. Les paquets sont alors envoyés à l'IPE qui les compile MPEG-2 pour les transmettre au modulateur.
5. Les données sont alors envoyées au Satellite puis au VSAT
6. Le VSAT procède à l'opération inverse : démodulation, décodage LAPU et BB.
7. Les paquets sont alors envoyés vers l'ordinateur du client

9. Mise en œuvre de la solution : la technologie 3G sur VSAT

9.1 L'intérêt d'utilisation de la technologie satellitaire par la SONATEL.

La Sonatel l'opérateur leader de la téléphonie au Sénégal a fait recours à la technologie satellitaire afin d'assurer la couverture des zones éloignées / rurales et les zones à forte trafic temporaire.

Pour couvrir ces zones, il est souvent économiquement impossible de fournir des installations de liaison terrestre (BTS à BSC) via des lignes terrestres (fibre / micro-ondes). D'où l'intérêt de faire recours à la technologie satellitaire dont les avantages sont les suivants

- ✚ Temps de déploiement : Les constructions terrestres peuvent prendre des années à planifier et à mettre en œuvre.
- ✚ Zones d'intérêt «mineur». Ceux-ci peuvent inclure de petits centres isolés tels que des stations touristiques, des îles, des mines, des sites d'exploration pétrolière, des installations hydroélectriques, etc.
- ✚ Couverture temporaire : Des événements spéciaux, même dans les zones urbaines, peuvent surcharger l'infrastructure existante.

9.2 Etude de l'architecture existant : GSM sur VSAT

L'architecture de la GSM sur le réseau VSAT de la Sonatel est répartie en deux parties : la partie émission VSAT/réception Hub et la partie émission Hub/VSAT.

Ces deux parties véhiculent le Traffic GSM du réseau terrestre vers le réseau satellitaire avec une couverture localisée. Les équipements comme le Momotec et le modem VSAT sont utilisés pour assurer la gestion du trafic .Le lien A-Bis (connexion entre BTS et BSC) utilise la technologie VSAT comme support de transmission.

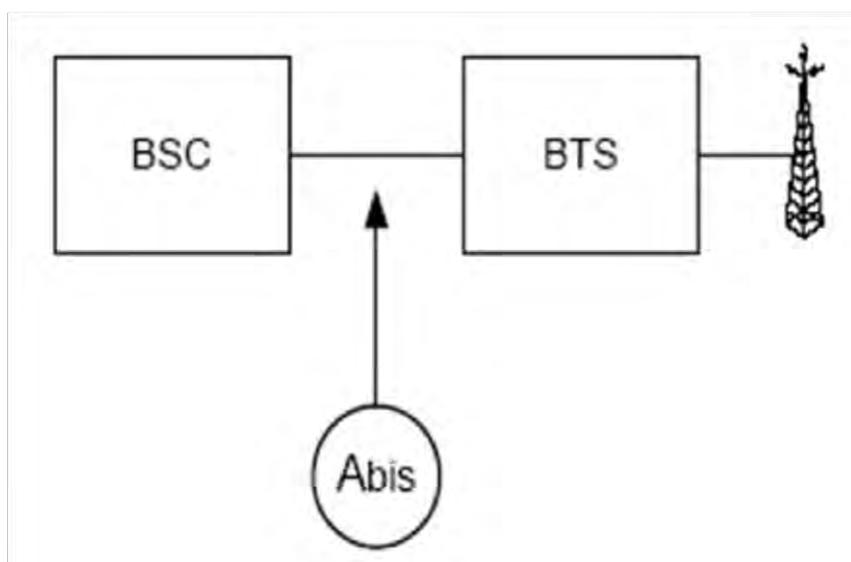


Figure 44 Le lien A-Bis

9.2. 1 .GSM sur VSAT : émission VSAT/réception Hub.

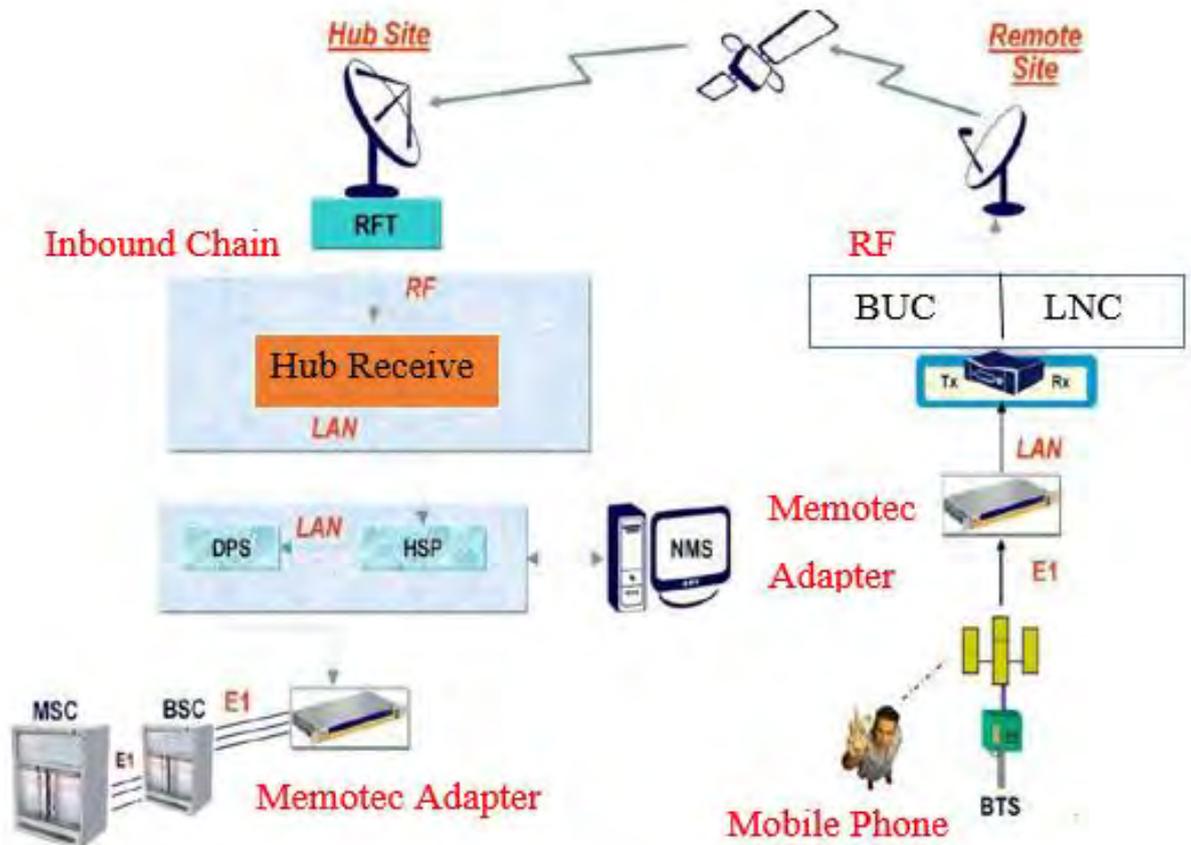


Figure 45 A-Bis GSM sur VSAT (Emission VSAT/Réception HUB)

- ✚ **Memotec côté VSAT** : il compresses l'E1 venant de la BTS, convertit les trames E1 venant en paquets UDP. L'adresse IP du VSAT sera la passerelle par défaut du Memotec.
- ✚ **Modem VSAT** : empile les données reçues du Memotec dans un format BB puis LAPU pour les envoyer vers le HUB via le satellite.
- ✚ **DPS côté HUB** : convertit les données BB en paquets UDP, l'adresse source de l'entête sera celle du Memotec distant (côté VSAT). Les paquets sont ensuite transmis au Memotec correspondant.
- ✚ **Memotec côté HUB** : effectue une décompression et convertit les paquets UDP en trames E1 destinées au BSC. Le BSC ne trouvant pas dans le même site que le HUB, les E1 seront acheminés alors sur la boucle SDH jusqu'au BSC.

9.3. 2 GSM sur VSAT : émission Hub /réception VSAT

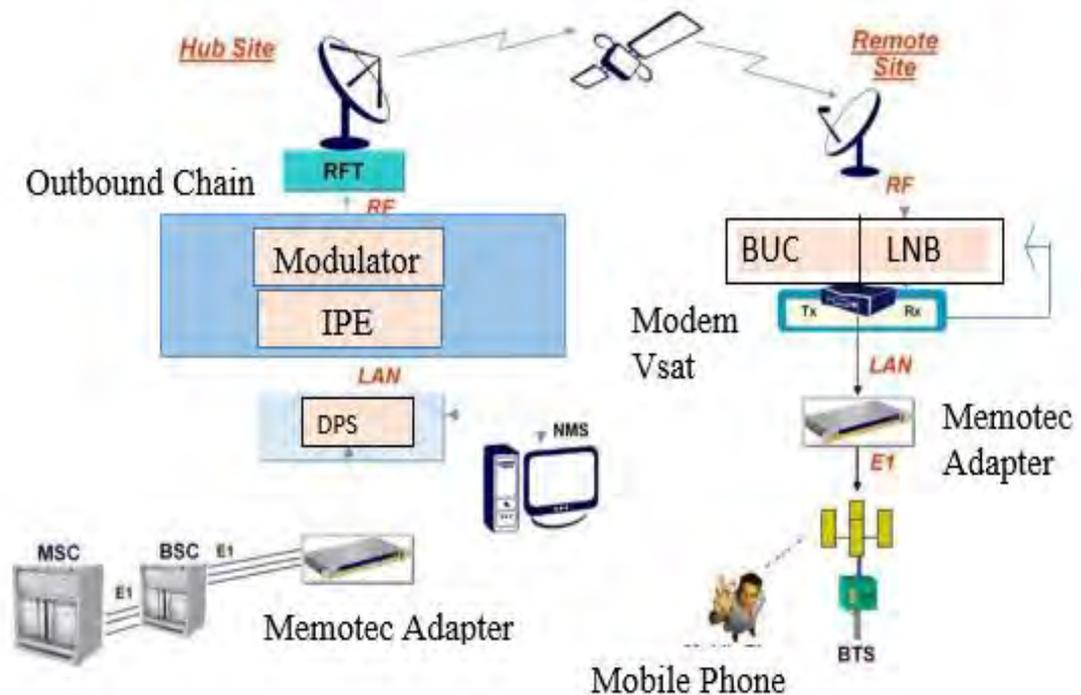


Figure 46 A -Bis GSM sur VSAT (Emission HUB/Réception VSAT)

- ✚ **Memotec côté HUB** : compresse les E1 venant des BSC, convertit les trames en paquets UDP. L'adresse IP du DPS sera la passerelle par défaut du Memotec.
- ✚ **DPS côté HUB** : rajoute les en-têtes backbone sur les paquets UDP. Les paquets sont ensuite transmis à l'IPE.
- ✚ **Modem VSAT** : enlève les en-têtes BB puis envoie les paquets vers le Memotec
- ✚ **Memotec côté VSAT** : convertit les paquets UDP en trames E1 destinées à la BTS

9.2 Gestion de la bande passante

Le trafic cellulaire venant de la BTS est compressé et optimisé par le Memotec. Le modem VSAT reçoit les données compressées du Memotec et calcule de manière dynamique la bande passante nécessaire à la transmission du trafic cellulaire reçu de la BTS. Une demande d'allocation de ressources est ensuite envoyée au HUB sur la base du volume de trafic. C'est

de cette manière que le segment spatial (partie Inbound) est partagé entre les stations VSATs en fonction des besoins de chaque BTS en terme de bande passante.

Pour l'outbound (émission du HUB vers les VSATs) : tout le trafic passe par le même canal subdivisé en tunnels IP (cette opération s'effectue au niveau du DPS).

9.3 Les limites de la technologie GSM

La technologie GSM sur le réseau VSAT de la Sonatel est utilisé pour la transmission de services vocaux et de données mobile. Cependant ,il est important de savoir qu'avec le développement des réseaux mobile durant ces derniers années la technologie GSM n'est plus en mesure d'assurer la gestion des données mobile comparé au nouveau technologie comme la 3G et autre en terme de débit, services et gestion de la bande passante .

En GSM plusieurs utilisateurs partagent la même bande passante. Avec suffisamment d'utilisateurs, la transmission peut rencontrer des interférences. La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS, pour Short Message Service) ou des messages multimédias (MMS, pour MultiMedia Message Service).

Un autre inconvénient de GSM est qu'il peut interférer avec certains appareils électroniques, tels que les stimulateurs cardiaques et les prothèses auditives, selon Inc.Technology. Com. Une telle interférence est due au fait que GSM utilise une technologie de transmission de l'impulsion. En conséquence, de nombreux endroits tels que les hôpitaux et les avions nécessitent des téléphones cellulaires pour être désactivés.

Par conséquent, les technologies plus rapides, telles que la 3G, ont été développées sur différents types de réseaux, afin d'éviter de telles limitations de bande passante et de débit.

10.Scénarios d'architecture d'intégration de la Mise en œuvre de la 3G sur le réseau VSAT de la Sonatel.

10.1 Présentation

La 3G désigne la troisième génération du réseau de téléphonie mobile qui a succédé au réseau GSM (Global System for Mobile Communication). Elle est basée sur l'UMTS (Universal Mobile Télécommunications Systems) qui exploite une bande de fréquence plus large et un système de transfert des données par paquets.

Le déploiement de la 3G sur le réseau VSAT de la Sonatel peut être justifié par le développement de l'Internet mobile et la forte croissance d'utilisation des données mobiles. Grâce à un débit descendant nettement supérieur (entre 144 et 2.000 kilobits par seconde (kb/s) selon les conditions d'utilisation) au GSM (9,6 kb/s), la 3G a ouvert la voie à de nouvelles applications telles que la visiophonie, la TV mobile et les messageries instantanées.

Dans cette partie, on propose un service complémentaire et un accès complet « any time, anywhere » aux services de l'UMTS. Une extension de couverture sera alors possible de même que la création de nouveaux services offerts par le satellite tel que le multicast et le broadcast. L'intégration de la technologie 3G sur le réseau VSAT de la Sonatel a donc pour but d'étendre et d'améliorer le réseau d'accès radio terrestre de la Sonatel dans les zones à difficile accès

10.2 Choix des technologies utilisées

a. Choix de l'orbite

Le choix de l'orbite est contraint par plusieurs facteurs tels que le délai de transmission, le poids du satellite, le coût du lancement ... etc. Dans notre étude, nous avons utilisé une constellation de satellites LEO. En effet l'avantage de l'utilisation d'une LEO est, certes, la réduction du temps de propagation grâce à leur faible altitude, qui est nettement plus faible que celle des satellites GEO, ce qui fait qu'un satellite LEO est un bon candidat pour le trafic ayant de fortes contraintes temporelles telle que la voix. Une faible altitude nécessite alors une puissance plus faible au niveau des terminaux terrestres, ce qui améliore la portabilité de ces derniers qui seront plus légers et d'un coût raisonnable. Les satellites LEO, sont plus petits et moins lourds que les satellites GEO, leur mise en orbite s'avère donc plus simple à réaliser.

Cependant, compte tenu de la petite taille de couverture du satellite LEO, une constellation de satellites à basse orbite s'impose pour assurer l'acheminement des informations, des techniques de handover doivent alors être développées.

b. Choix de la technologie W-CDMA

Un bon choix de la technologie s'impose dans cette étude. Cette technologie doit être en mesure de supporter de fortes contraintes temporelles (délai et gigue), de faibles pertes et taux d'erreurs, dans les deux réseaux UMTS et satellites.

La technologie W-CDMA (CDMA large bande) est celle qui a été la plus couramment retenue pour l'interface air dans les forums de normalisation de l'UMTS. Le W-CDMA possède une bande passante plus large, entraînant un bon débit de transmission. Ses principaux objectifs sont:

- ✚ L'intégration de services résidentiels, bureautiques et cellulaires dans un seul système.
- ✚ La capacité de servir plus de 50% de la population mondiale.
- ✚ L'intégration avec le secteur spatial (satellite).

Afin d'optimiser les ressources radio, le W-CDMA propose deux modes de fonctionnement suivant le type de multiplexage. Deux variantes existent dans l'implémentation de W-CDMA :

- ✚ Le mode FDD-WCDMA : "Frequency Division Duplex".
- ✚ C'est le mode utilisé en UMTS. En mode FDD, deux bandes de fréquence différentes sont utilisées, l'une sur la voie montante (uplink), l'autre sur la voie descendante (downlink). Le débit maximal par code est de 384 kbits/s. Pour les services à haut débit, il faut plusieurs codes pour un débit de 2Mbits/s. (Le mode FDD est le mode le plus couramment utilisé). Le mode
- ✚ TDD-WCDMA : "Time Division Duplex".

En mode TDD, la même bande de fréquences est utilisée dans les deux sens, montant et descendant. Cette bande de fréquences est allouée alternativement à la voie montante et à la voie descendante (multiplexage temporel).

c. Le modem Cisco IP VSAT

Pour la mise en œuvre de la 3G sur le réseau VSAT de la Sonatel, nous proposons comme équipement le Module de réseau WAN par satellite Cisco IP VSAT. Le module de réseau WAN IP VSAT Satellite (Figure 1) fournit une connectivité bidirectionnelle à large bande par satellite

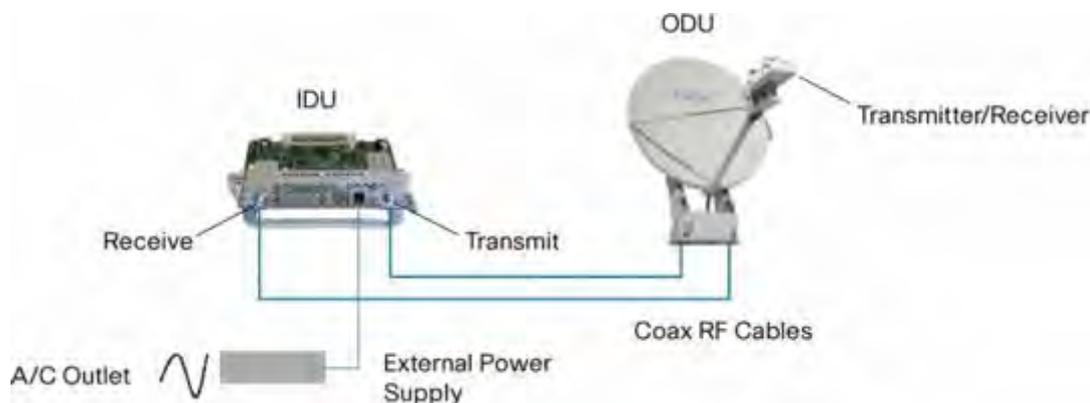
pour les sites distants sur les routeurs de services intégrés Cisco 2800 et 3800 ainsi que les routeurs d'accès Cisco 2600XM, 2691 et 3700.



Figure 47 Module de réseau WAN par satellite Cisco IP VSAT

Complètement basé sur IP, le module Cisco IP VSAT prend en charge les dernières technologies satellitaires en matière de schéma d'accès, de modulation et de codage pour fournir une efficacité et des performances maximales à partir du réseau satellite. Le module est compatible avec les services par satellite qui utilisent les systèmes pivots Gilat SkyEdge.

Le module est composé de l'unité intérieure (IDU) intégrée dans un facteur de forme de module réseau, et il se connecte à l'unité extérieure (ODU), qui se compose de l'antenne parabolique et de l'émetteur / récepteur utilisant des câbles RF coaxiaux (Figure 2).



Le module Cisco IP VSAT fournit des communications de données, voix et vidéo IP par satellite, permettant ainsi au fournisseur, d'améliorer leur solution de continuité d'activité, de diffuser du contenu multimédia en multidiffusion et de configurer des services instantanés et mobiles. Kits de communication pour la préparation aux catastrophes.

10.3 Architecture de la mise en œuvre

L'architecture de la mise en œuvre de la technologie 3G sur le réseau Hub/VSAT de la Sonatel sera réparti en deux parties : la partie émission VSAT/réception Hub et la partie émission Hub/réception VSAT.

10.3.1 Emission VSAT /réception Hub

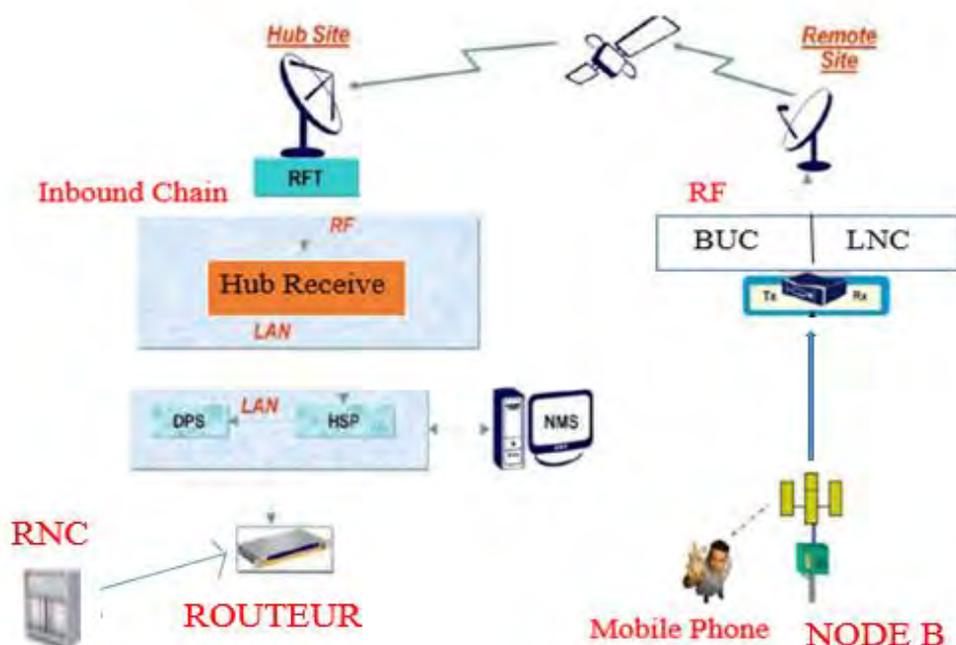


Figure 48 Architecture 3G sur VSAT émission VSAT réception Hub

10.3.2 Emission Hub/réception VSAT

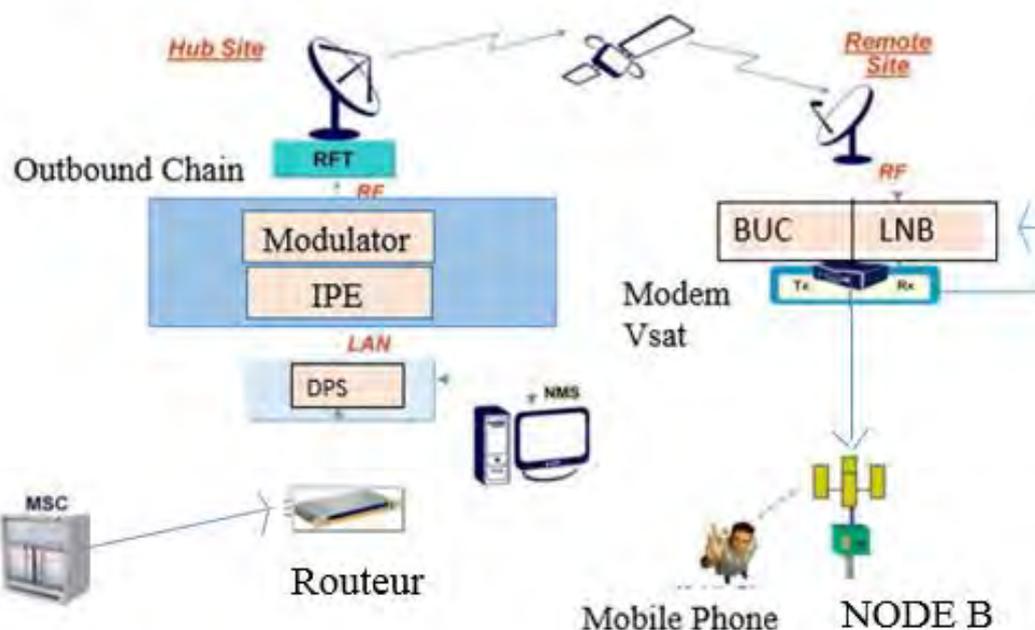


Figure 49 Architecture 3G sur VSAT émission Hub réception VSAT

10.4 Outils de Supervision du réseau et d'analyse de performances

Le système de supervision du réseau permet de gérer le trafic échangé dans le réseau du système VSAT. Pour assurer la qualité de service et le contrôle des données échangé à travers le réseau Hub/VSAT, la Sonatel utilise deux outils de supervision qui sont : le NMS et le SkyMon.

10.4.1 Système de configuration NMS

Le System de Supervision du SkyEdge (Network Management System - NMS) permet aux opérateurs de suivre et de contrôler de façon centralisé l'ensemble du réseau VSAT.

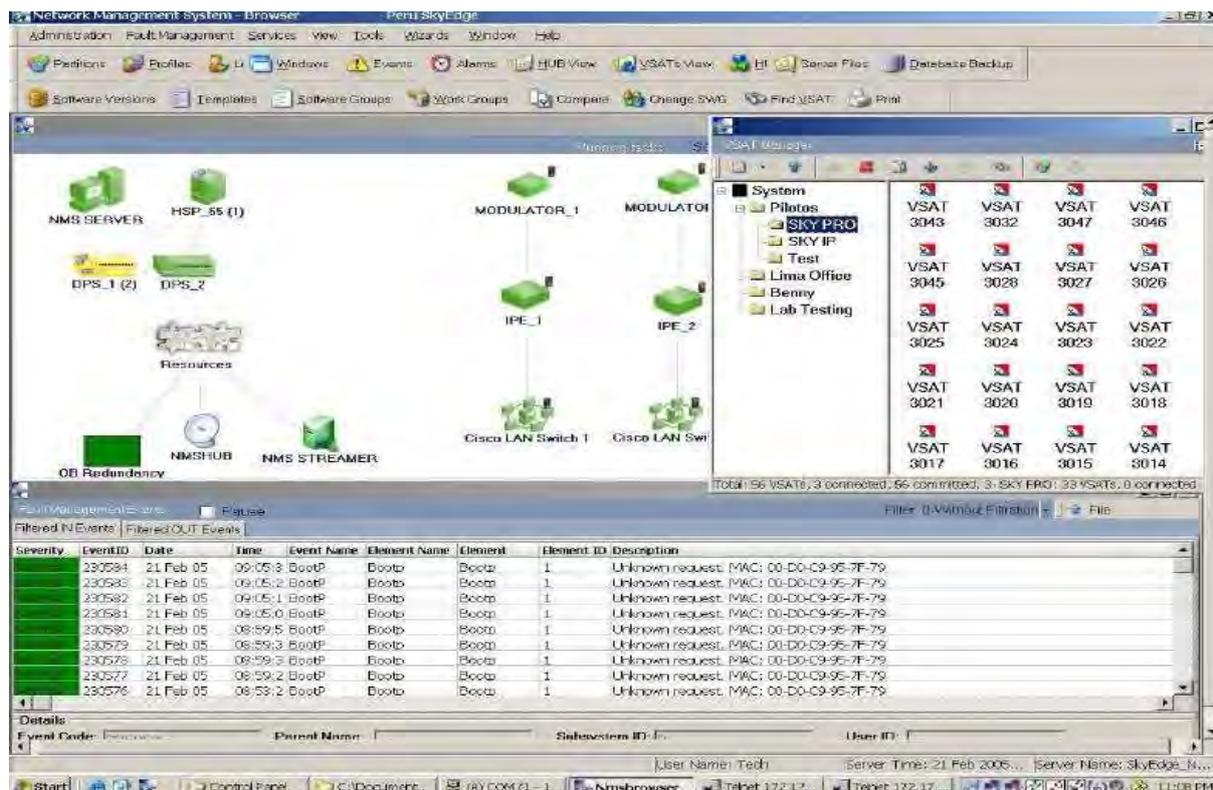


Figure 50 Vue de la supervision NMS

Le système de supervision est accessible via une interface utilisateur qui s'exécute sur les clients distants du réseau. La SONATEL avec un accès sécurisé et privilégié peut avoir accès à distance en lecture seule pour faire un bilan sur l'état de son réseau. Le système de supervision englobe tous les composants du système. Les fonctionnalités de gestion clé du NMS sont énumérées ci-dessous.

- ✚ système de gestion avancée des incidents qui le rend facile d'utilisation. Les alarmes et événements affichent graphiquement tout changement de statut d'un élément de réseau dans des icônes de couleur et de texte.
- ✚ La flexibilité de service par le partage du Hub (partitionnement) permet à un opérateur d'accorder des droits d'accès aux administrateurs réseaux des clients sur tout ou partie de leurs réseaux.
- ✚ Le NMS fournit les paramètres de configuration, de télémétrie et de statut pour les éléments de réseau, permettant d'identifier rapidement les modifications des composants du réseau et les erreurs de configuration.

Les paramètres de QoS de bout en bout sont gérés par le NMS. Plusieurs niveaux de services peuvent cohabiter sur le même système avec des niveaux de priorités définies par applications.

10.4.2 Système de supervision SkyMon

SkyMon est un outil de supervision de réseau du système SkyEdge. Il assure également la supervision en temps réel des événements, des alarmes et collecte les statistiques ainsi que l'historique / analyse des tendances du système sur une période donnée. SkyMon recueille des statistiques à partir d'éléments Hub et VSAT et se synchronise périodiquement avec les NMS afin de recevoir la topologie du réseau et des événements disponibles sur le NMS.

Les informations de supervision sont recueillies à intervalles de 5 minutes. Les sites peuvent générer des rapports en temps réel sur la base des informations recueillies à l'aide d'un outil convivial basée sur le Web GUI. L'interface graphique est accessible à partir de Microsoft Internet Explorer 7 ou Mozilla Firefox version 2.0 ou supérieure.

Un des avantages principaux de SkyMon est le tableau de bord innovant: le tableau de bord est défini par l'utilisateur en fonction de ses besoins. Dans chaque onglet les sites peuvent ajouter toute information qui est disponible par le système. Chaque élément d'information est disponible en tant que partie web qui peut être placé n'importe où dans l'interface graphique. Chaque utilisateur peut créer un écran d'information unique qui est enregistré pour chaque utilisateur.

Les rapports sont construits en utilisant le Générateur assistant de rapports, un guide simple qui permet à l'utilisateur de créer un rapport sur toute statistique ou de télémétrie recueillies, pour une période pouvant aller jusqu'à un an. Les rapports peuvent être affichés sous forme graphique ou sous forme de texte. Les rapports prédéfinis sont divisés en catégories avec plusieurs rapports de chaque catégorie.

Quelques exemples de graphes de trafic sont donnés ci-dessous :

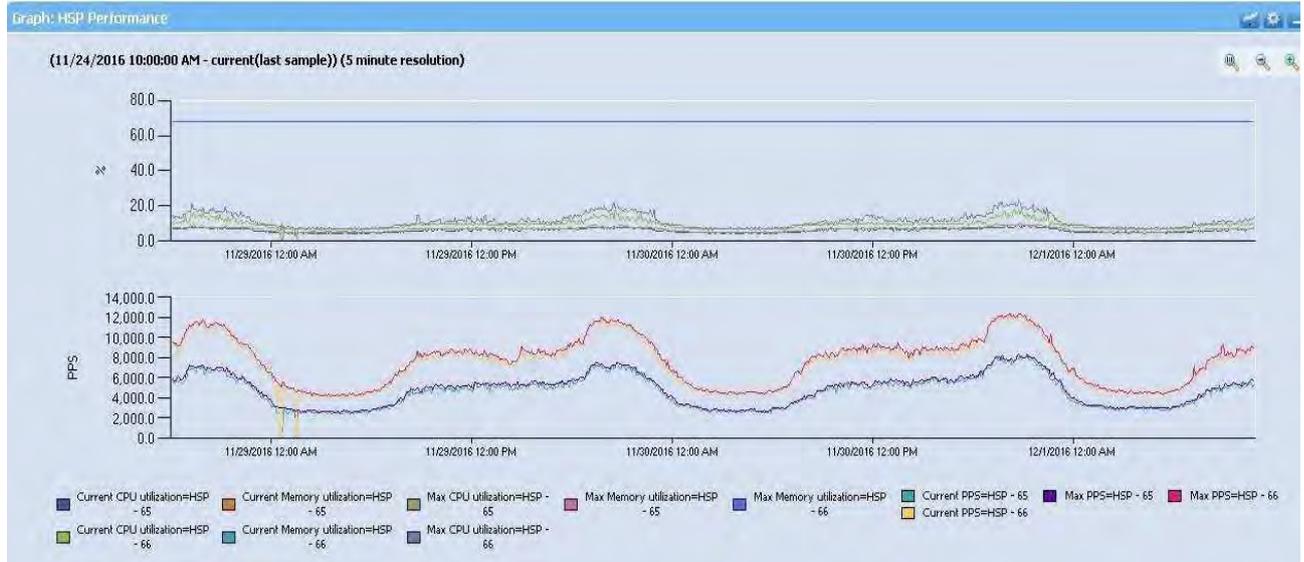


Figure 51 Graphes de performances des HSP avec Skymon

10.4.3 Système de Gestion de la capacité Satellite SNPU

L'utilitaire de planification de la capacité satellite (SNPU) est un nouvel outil logiciel du NMS qui augmente l'indépendance de l'opérateur en simplifiant la tâche de configuration des canaux du SkyEdge. Il fournit un outil convivial, un environnement «sûr» pour les changements de configuration des capacités du système.

L'utilitaire de planification de la capacité satellite (SNPU) montre le plan du HUB selon la répartition du segment des fréquences, la configuration des canaux et fréquences sortants et entrants. L'utilisateur peut choisir de modifier le plan pour l'un des segments existants ou créer un nouveau plan en suivant simplement les invites à partir d'un assistant intuitif. Le système vérifie que la configuration est conforme aux spécifications du système. Par exemple, pas plus de 12 canaux sont définis par MCR, soit plus de 12 MHz sur HSP (qui est limitée à 12 MHz).

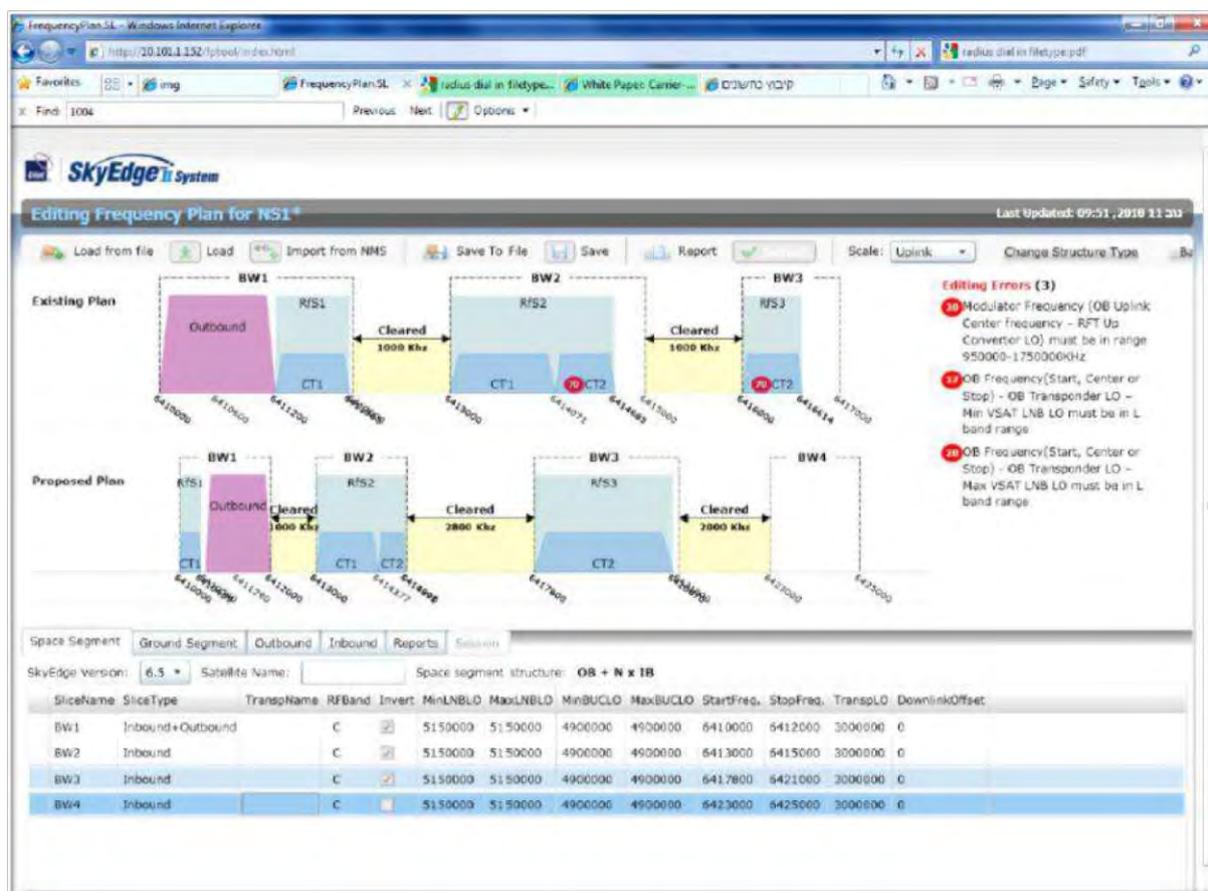


Figure 52 Vue de l'outil de gestion capacitaire SNPU

11. Perspective d'évolution du Skyedge I vers le Skyedge 2

La plate-forme SkyEdge II est une excellente solution conçue et optimisée pour les réseaux IP à large bande avec des exigences d'entrée haute vitesse. SkyEdge II offre un moyen performant et économique de fournir les services de communication dont les entreprises, les opérateurs, les fournisseurs de services et les gouvernements ont besoin

Le hub SkyEdge II est l'élément principal de SkyEdge II, faisant office de point central du réseau satellitaire. Il s'agit d'un produit redondant, modulaire, évolutif, qui se trouve dans une station terrienne / téléport avec l'antenne RFT et l'antenne centrale. Le concentrateur transmet et reçoit des signaux vers les VSAT sur le satellite. Le hub SkyEdge II supporte en outre des topologies maillées et multi-étoiles et peut être utilisé dans différentes bandes RF: bande C, bande Ku, bande Ka et bande X. Il joue également un double rôle dans le réseau, fournissant la signalisation et le contrôle du réseau, et servant de passerelle de trafic terrestre pour les

sites distants. Les principaux avantages de la plateforme SkyEdge II se déclinent en plusieurs catégories :

- ✚ Une technologie permettant une optimisation efficace de la bande passante satellite : DVB-S2 ACM sur les canaux descendant (Outbound), DVB-RCS sur les canaux montants (Inbound).
- ✚ Des modems permettant des débits IP allant de quelques bit/seconds à 30Mbit/second, sur les canaux descendant et jusqu'à 4.4Mbps sur chacun des canaux montant des modems.
- ✚ Une capacité étendue à supporter les fonctionnalités IP pour une plus grande flexibilité à s'adapter à différents types d'applications IP notamment pour supporter des protocoles de routage comme BGP, RIP, VRRP, Multi-VLAN, DHCP, NAT/PAT.

Une Qualité de Services (QoS) enrichie pour une meilleure gestion des applications véhiculées sur le réseau VSAT comme la gestion des priorités entre les données, la voix et la vidéo.

11.1 Module complémentaire Optimiseur de bande passante

Le BWO-II est un composant de concentrateur optionnel qui réduit la capacité d'espace requise d'un réseau VSAT planifié de 15% à 30%. Il peut également permettre d'ajouter plus de VSAT à un réseau existant, sans ajouter de segment spatial.

SkyEdge II prend en charge les VSAT suivants:

- ✚ Accent - VSAT à deux formes d'onde prenant en charge des services à très haut débit via les porteuses en mode MF-TDMA et SCPC (continu)
- ✚ IP - Permet des applications hautes débit IP et de multidiffusion hautes performances à des sites individuels ou multiples
- ✚ WebEnhance - 1er VSAT avec mémoire microSD multi-Giga Octets haute capacité intégrée pour une expérience utilisateur améliorée et des économies de bande passante par satellite
- ✚ Pro - Modulaire, VSAT bidirectionnel permettant l'accès IP à large bande et la multidiffusion vers un ou plusieurs sites commerciaux ou ruraux

- ✚ meoEdge - Active à la fois les services TDMA et SCPC sur les satellites O3b en utilisant un type d'équipement distant
- ✚ Access - Conception modulaire avec deux connecteurs d'extension prenant en charge la communication IP, la voix sur IP et la vidéo haut débit à haut débit pour les clients ruraux et les entreprises
- ✚ Armadillo - VSAT All-Outdoor: Solution de communication par satellite VSAT complète conçue pour les communications tout temps dans les environnements difficiles
- ✚ NetEdge - Spécifiquement conçu pour répondre aux exigences des réseaux privés multi-étoiles pour les entreprises ainsi que pour les applications backhaul cellulaires.

11.2 Topologie MESH

Le SkyEdge II HUB supporte les connexions en MESH ce qui permet à la SONATEL de pouvoir raccorder si besoin des sites en direct permettant de réduire les temps de transit de moitié pour les applications temps réel sensibles aux temps de réponses et par la même occasion, de réduire la capacité spatiale nécessaire pour connecter les applications entre VSATs.

Les solutions MESH sont disponibles avec les Modems SkyEdge II Access, PRO et PRO-4000 avec le rajout d'une carte MESH intégrée au VSAT.

11.3 Mini-HUB ou NETEDGE



Figure 53 Mini HUB SE II ou NetEdge

Le SkyEdge II HUB supporte la fonction Multi-STAR qui offre à la SONATEL la possibilité de proposer des réseaux VSAT privés pour ses clients qui souhaitent une indépendance sur leur réseau VSAT. Cette solution est basée sur un Mini-HUB appelé NETEDGE installé au centre régional du client permettant de connecter en direct les sites rattachés directement au centre régional sans passer par le site central.

La SONATEL conserve la totale maîtrise de la configuration et de la supervision des réseaux privés depuis le centre d'exploitation de Dakar.

Les avantages pour la SONATEL sont multiples :

1. La SONATEL peut offrir à ses clients le désirant, des réseaux privés permettant une optimisation du trafic en raccordant directement les sites rattachés vers le centre régional du client tout en donnant une indépendance logique à son client.
2. Le NETEDGE fonctionne de façon indépendante et est géré à partir du HUB SkyEdge II central. Aucune équipe d'exploitation n'est nécessaire sur le centre régional du client pour assurer son fonctionnement. Il reste sous la supervision entière du centre d'exploitation de la SONATEL à Dakar.
3. S'il le souhaite, le client de la SONATEL peut avoir une vue sur son propre réseau VSAT pour une meilleure gestion de son trafic VSAT. La SONATEL gardant la maîtrise du réseau.
4. La SONATEL peut proposer de multiples réseaux NETEDGE pour différents clients géré à partir de la même plateforme redondante SkyEdge II.
5. Avec la solution NETEDGE, la SONATEL peut avec un seul Modem SkyEdge II terminer le trafic Internet vers sa Gateway Internet centrale à Dakar tout en maintenant les connexions directes des sites clients vers le centre régional du client pour les applications domestiques ou régionales. Ceci a l'avantage de combiner l'accès Internet central depuis Dakar pour l'ensemble des clients NETEDGE ou non de la SONATEL.

11.4 Evolution vers les très hauts débits IP

SkyEdge II propose des solutions innovantes et évolutives qui permettent aux réseaux à faible débit d'évoluer en fonction des besoins vers des débits jusqu'à 30Mbps sur la voie descendante en DVB-S2 et 4.4Mbps en DVB-RCS (TDMA) voire 24Mbps en DVB-S2 ACM

(SCPC) sur les voix de retours avec le Modem Hybrid SkyEdge II ACCENT qui incluent également le support de la fonction CacheMode.

SkyEdge II garantit de nouveaux niveaux d'efficacité grâce à l'utilisation du DVB-S2 et la prise en charge des ModCods QPSK/8PSK/16APSK et 32APSK fournissant près de 5 bits par Hz. La modulation en porteuse Inbound est QPSK et 8PSK pour un trafic Inbound efficace et jusqu'à 16APSK avec le Modem SkyEdge II ACC.

Conclusion

Les réseaux VSATs deviennent de plus en plus utilisés du fait de la très forte demande de services télécoms. Notre travail sur ce sujet nous a permis d'étudier et de comprendre les principes fondamentaux de la transmission par satellite en général et en particulier la technologie VSAT.

Notre mission était d'étudier les plateformes HUB/VSAT de la SONATEL en y intégrant de nouveaux service mobile la 3G pour assurer la couverture du réseau de la Sonatel dans les zones rural ou à difficile accès et proposer des pistes d'amélioration liées au fonctionnement du système.

L'étude du réseau VSAT de la SONATEL et son réseau 3G nous a montré qu'il existe plusieurs pistes d'amélioration liées à la qualité de service, la technologie nouvelle et aux coûts d'exploitation :

- ✚ **Améliorer la disponibilité de service des clients Ku** : le passage en bande C de ces clients permettra d'éviter les coupures liées aux pluies de faible intensité.
- ✚ **Mutualisation des plateformes Bande C et Bande Ku** : cette fusion des deux plateformes en une seule en bande C permettra de réduire les charges liées à la location de bande passante. Avec la technologie du CnC, une seule bande sera louée auprès d'Intelsat.

BIBLIOGRAPHIE

- ❖ GILAT: Documents de formation sur le Sky_Edge_1 (Version 2006)
- ❖ METRACOM: Documents de formation sur la transmission par satellite (Version 2004)
- ❖ Livre : « Satellite Communications Systems » de Gerard Maral (édition décembre 2009)

WEBOGRAPHIE

- ❖ <http://www.gilat.com> (VSAT Networks capabilities, network architecture)
- ❖ <http://www.itso.org> (notes de cours sur la station terrienne, les VSATs)
- ❖ <http://www.wikipedia.org> (principe de la transmission par satellite, le VSAT)
- ❖ <http://www.dvb.org> (la norme DVB-S et les applications)
- ❖ <http://www.sonatel.sn> (présentation de la Sonatel)