

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saad DAHLEB - BLIDA
Institut d'aéronautique et des études spatiales



Projet de fin du cycle
Pour l'obtention du diplôme de Master

Spécialité: Télécommunications Spatiales

THÈME:

**Mise en place d'un système
SATCOM sur Boeing 737-800**

Présenté par :

AMRICHE Afifa

Proposé par : **Tassili Airlines**

Promotrice : Mme AZINE Houria

Co-Encadreur : Mr BENGHALIA Fathi

Promotion : 2019

ملخص

كجزء من هذا العمل البحثي، كنا مهتمين بدراسة وصفية لنظام SATCOM المثبت على Boeing 737-800، وهو نظام اتصالات ساتلي يعمل في حالات الطوارئ. سيتم شحن هذا النظام كراكب من قمر صناعي مستقر بالنسبة إلى الأرض يعمل في النطاق C وسيحيل إلى أسطول. يمكن تشغيل النظام لخدمات الاتصالات على متن الطائرة، وكذلك للاتصال من الطائرة إلى الأرض تمكن تقنيات iDirect من تنفيذ وتركيب معدات محددة ومناسبة لتتيح الاتصال على متن الطائرة باستخدام هوائي SATCOM.

RESUME

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous nous sommes intéressés à une étude descriptive du système SATCOM installé sur Boeing 737-800, un système de télécommunications par satellite intervenant en situation d'urgence. Ce système serait embarqué comme passager d'un satellite géostationnaire travaillant en bande C et assurerait la transmission à une flotte. Le système peut être exploité pour des services de communication à bord, ainsi pour la communication sol-bord. Les techniques et la technologie de iDirect permettent la mise en place et l'installation des équipements spécifiques et convenables qui permet la connectivité à bord en utilisant l'antenne SATCOM.

ABSTRACT

As part of this work, we were interested in a descriptive study of the SATCOM system installed on the Boeing 737-800, a satellite telecommunications system responding to emergencies. This system would be carried as a passenger on a C-band geostationary satellite and transmitted to a fleet. The system can be operated for on-board communication services, as well as ground-to-ship communication. The techniques and technology of iDirect allow the installation of specific and suitable equipments that allow on-board connectivity using the SATCOM antenna.

REMERCIEMENT

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Le travail présenté dans cette thèse a été réalisé au sein de la compagnie TASSILI ma plus grande gratitude va à mon encadreur, pour sa disponibilité et la confiance qu'il m'a accordé. J'ai profité pendant longtemps du savoir et du savoir-faire dont j'ai pu bénéficier au cours de nombreuses discussions. J'aimerais aussi remercier ma promotrice pour l'autonomie qu'elle m'a accordée, et ses précieux conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

J'exprime toute ma reconnaissance à Mme H.Azine pour avoir bien voulu me guider dans ce mémoire. Que le personnel de Tassili et Algérie Telecom Satellite, trouve ici l'expression de mes vifs remerciements pour avoir bien voulu m'aider dans ce travail. Que les enseignants de l'IAES de Blida, trouve ici l'expression de mes vifs remerciements pour avoir bien voulu juger ce travail.

Afin de n'oublier personne, mes vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont aidée à la réalisation de ce modeste mémoire.

Dédicace

Au nom du dieu le clément et le miséricordieux louange à ALLAH le tout puissant.

Je dédie ce modeste travail en signe de respect, reconnaissance et de remerciement :

A mes chers parents, A mon frère Ali qui m'a aidé de près et de loin.

A la mémoire de notre cher ami Sami DAOUD paix à son âme.

A tout(es) mes cher(es) ami(es).

A toute ma famille, qui porte le nom AMRACHE de l'Algérie au Tunisie.

A tout ceux qui ont participé à l'élaboration de ce modeste travail et tous ceux qui nous sont chers.

Mlle AMRACHE Afifa

RESUME.....	1
REMERCIEMENT	2
DEDICACE	3
LISTE DES FIGURES.....	7
LISTE DES SYMBOLES ET NOTATIONS.....	9
Introduction générale.....	14
I.1. Présentation de la compagnie aérienne Tassili Airlines	16
I.1.1. Historique	16
I.1.2. Domaine d’activité de tassili Airlines	17
I.1.3. L’organigramme de Tassili Airlines.....	17
I.1.4. La flotte.....	18
I.1.5.Généralités du l’avion BOEING 737-800	19
I.2. Les communications aéronautiques:	20
I.2.1.Les origines.....	20
I.2.2. La communication HF/VHF	21
I.2.3. Les couches atmosphériques	22
I.3. Les limite de capacité des communications vocales	23
I.4. Convergence des communications aéronautiques sur un lien unique par satellite	24
I.4.1. Solutions par satellite.....	25
1.4.2. Solutions par liaison directe avec le sol	27
I.5. Satellites de télécommunications	29
I.5.1 Diagramme du Satellite	29
I.5.2. Le Diagramme d’un transpondeur en Ku	29
I.5.3 les satellites terrestres	30
I.5.4. Les orbites.....	30
Conclusion :	32
Introduction :	33
II.1. Le système de communication par satellite (SATCOM).....	33
II.2. Le réseau satellitaire	34

II.3. Quelques antenne existantes sur le Boeing 737-800	35
II.4. Station terrienne aéronautique (AES)	37
II.4.1. Equipement SATCOM installé sur avion.....	37
II.5. Connexions du système SATCOM.....	43
II.6. La Station Terrienne	44
Conclusion :	46
Introduction	47
III.2 Réseau de télécommunications aéronautiques ATN	48
III.3 Les services de communication ATM	49
III.3.1. Les services ATS (Air Traffic Services)	49
III.3.2 Les services AOC (Aeronautical Operational Control) :	50
III.4. Les services de communications aux passagers :	50
III.4.1. Services pour téléphonie mobile	51
III.4.2 Services d'accès à Internet	55
III.5. Convergence des trafics sur la liaison satellite	57
III.5. Méthode d'encapsulation sur le flux générique	59
III.6 Méthode d'encapsulation sur le flux de transport MPEG	59
III.7 Qualité de service requise.....	60
LA QUALITE DE SERVICE SUR INTERNET	62
Conclusion :	63
INTRODUCTION :	64
IV.1 le VSAT	64
IV.1.1. LE DVB-S2/SCPC (DVB-S2 SCPC)	65
IV.2 VSAT I-DIRECT	68
IV.2.1 Caractéristiques.....	68
IV.2.2 Avantages	69
IV.3 LE IDIERCT :	70
IV.3.1. Qu'est-ce qu'elle fait ?.....	70
IV.3.2. Tendances et applications :	71

IV.4. PROFIL DU MARCHÉ :.....	72
IV.4.1 Aéro commercial	72
IV.4.2 Exécuter les décisions.....	73
IV.5. CONNECTE A 10 000 METRES - LE WIFI FONCTIONNE T-IL POUR LES AVIONS?.....	74
IV.6. ASSEMBLAGE D'ANTENNE SATELLITE, SAA.....	75
IV.7. PORTEFEUILLE DES AFFAIRES MARITIMES ET AERONAUTIQUES	76
IV.5.1 Caractéristiques du système.....	76
IV.5.2 Cartes Universal Hub & Line	77
IV.5.3 Carte intégrée commerciale Aero : CX780	77
IV.5.4 Routeurs de satellites Aero : 9800 AE*, 9800 AR*	78
CONCLUSION	79
CONCLUSION GENERALE	80

Liste des figures

Figure I.1: Organigramme de Tassili Airlines	18
Figure I. 2: La flotte de Tassili Airlines	19
Figure I.3: Différence entre la communication HF et VHF	22
Figure I. 4: structure de l'atmosphère	23
Figure I. 5: Solutions par satellite	25
Figure I. 6: Couverture des services aéronautiques d'Inmarsat	26
Figure I.7: La constellation Iridium	27
Figure I.8: Couverture VDL Mode 2 par SITA	28
Figure I.9: diagramme du satellite.....	29
Figure I.10: le schéma synoptique du transpondeur.....	30
Figure I. 11: l'orbite elliptique	31
Figure II.1: la liaison du système SATCOM.....	33
Figure II.2: Quelques antenne existantes sur le Boeing 737-800.....	35
Figure II. 3: l'interface SDU	38
Figure II. 4: les modes de fonctionnement de la SDU	39
Figure II.5: LNA /DIP	40
Figure II.6: Schéma de l'antenne à réseau en phase-Gracieuseté du livre : par Fujimoto	41
Figure II.7: l'antenne HGA	41
Figure II.8: Un réseau planaire en phase de dipôles croisés	42
Figure II. 9: antenne à réseau HGA.....	42
Figure II.10: les interfaces connectées avec l'SDU	43
Figure II.11: Une antenne terrestre	45
Figure II.12: Un équipement d'affichage	45
Figure II.13: Schéma global d'une station terrienne	46
Figure III. 1: le système ACARS	48
Figure III.2: les services ATM	49
Figure III. 3: Interface graphique de l'application CPDLC.	50
Figure III.4: les services pour passagers	50
Figure III. 5: les réseaux mobiles	51
Figure III.6: comparaison des réseaux mobiles.....	52
Figure III.7: Structure du réseau GSM simplifiée.....	53
Figure III. 8 : Structure du réseau UMTS simplifiée	54
Figure III.9: la topologie GSM/UTMS par satellite	55
Figure III.10: Model TCP/IP	56
Figure III.11: Pile protocolaire du système IP via satellite.	57
Figure III. 12: réseau d'accès DVB-S2/DVB-RCS.....	58
Figure III.13: Encapsulation GSE.	59

Figure III.14: Encapsulation MPE	60
Figure IV.1: la plateforme DVB-RCS.....	67
Figure IV.2: la technologie VSAT iDirect	68
Figure IV.3: model de Hub	69
Figure IV.4: transport de la gestion du trafic IP.....	70
Figure IV. 5: les applications de la connexion par satellite	71
Figure IV.6 : Avion équipé du SATCOM.....	72
Figure IV.7: service d'internet dans l'aéronautique.....	73
Figure IV.8: l'installation des antennes WIFI.....	74
Figure IV.9: panneau de configuration du poste pilotage	75
Figure IV.10: assemblage de l'antenne SAA.....	76
Figure IV.11: Nouveaux produits et fonctionnalités.....	76
Figure IV.12: Schéma global du système SATCOM.....	79

Liste des tables

Tableau I. 1: Evolution du nombre de canaux VHF pour les communications aéronautiques	24
Tableau I.2: Les services Classic-Aero d'Inmarsat.....	26
Tableau I.3: principaux types de satellites	30
Tableau I.4: les types d'orbite	31
Tableau II. 1: comparaison entre les antennes existantes.....	36
Tableau III.1: les types de paquet.....	58
Tableau III.2: le QoS sur internet.....	62
Tableau IV.1 : les domaines d'application de l'internet par satellite.....	72

Liste des symboles et notations

ACARS : Aircraft Communication Addressing and Reporting System

ACM : Adaptative Coding Modulation

ACP : Audio Control Pannel

ADIRU : Unité de référence inertielle de données aériennes

ADIRU : unité de référence à inertie de données aériennes

ADS: Automatic Dependant Surveillance

AES : Aeronautical Earth Station

AMRS : Accès Multiple à Répartition Spatiale

AMSS : Aeronautical Mobile Satellite Service

AOC : Aeronautical Operational Control

AOR-E : Région de l'océan Atlantique - Est

AOR-W : Région de l'océan Atlantique – Ouest

APSK : Amplitude and Phase-Shift Keying

ARINC : Aeronautical Radio INCorporated

ATC : Air Traffic Control

ATM : air trafic Management

ATN : Aeronautical Telecommunication Network

ATS : Air Trafic Services

ATSC : Advanced Television Standards Committee

BB FRAME: Base Band Frame

BSC : Base Station Controller

BSS : Base Station Sub-system

BTS : Base Transceiver Station

C/N : Carrier per Noise (rapport signal sur bruit)

CDU : Unités d'affichage de contrôle

CMU : Unité de gestion de la communication

CNS : communication, navigation et surveillance

CPDLC : Controlor Pilote Data Link Communication

CS : Circuit Switched

D8PSK : Differentially encoded 8-Phase Shift Keying

DHCP : Dynamic Host Configuration Protocol

DVB : Digital Video Broadcasting

DVB-RCS : Digital Vidéo Broadcast- Return Channel System

DVB-S2 : Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation

DVB-S2X : Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation Xtended

ETSI : l'Européen Télécommunications Institut

FAFR : Focal Array Fed Reflector

FDAU : Unité d'acquisition de données de vol

FFC : la Formation de Faisceaux par le Calcul

FMT :Filtered multitone modulation

FTP : File Transfer Protocol

FTP : File Transfer Protocol

GES : Ground Earth Station

GSE : Generic Stream Encapsulation

GSE : Generic Stream Encapsulation

GSM : Global System for Mobile Communications

HF :High Frequency

HFDL : High Frequency Data Link

HGA : High Gain Antenna

HTS : High Troughtput Satellite

HTTP: HyperText Transfer Protocol

IATA : Association internationale du transport aérien

ID: IDentity

IDU : Indoor Unit

IFE :In Flight Entertanment

INMARSAT : International Maritime Satellite Organization

IP : Internet Protocol

L'adresse MAC : Media Access Control

l'ATS : Algérie Télécom Satellite

LAN : Local Area Network

LEO : Low Earth Orbite

LNA/DIP : Amplificateur / duplexeur à faible bruit

LNB : Low Noise Block

MF-TDMA : Multi-Frequency Time Division Multiple Access

MF-TDMA : Multi-Frequency Time Division Multiple Access)

MMS : Multimedia Message Service

MODCOD : Modulation and coding

MPC : Module de Programme de Commutation

MPE : Multi Protocol Encapsulation)

MPEG Multi Protocol Encapsulating

MPEG-TS : Moving Picture Experts Group Transport Stream

MSC : Mobile Switching Center

MSS : Mobile Satellite Services

NSS: Network Station Sub-system

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale

ODU : Outdoor Unit

OSI: Open Systems Interconnection

OSS: Operating Sub-System

OU : région océanique

PDU (Protocol Data Units) ou Datagramme

PDU : Protocol Data Units

PS :Packet Switched

PSK : Phase Shift Keying

PSTN : Public Switched Telephone Network

QoS : Quality Of Service

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying

REU : Unité électronique à distance

RF : Radio

RSVP : *Resource reservation Protocol*

SATCOM : Satellite Communication

SDU : Unité de données satellite

SMS : Short Message Service

SMTP : Simple Mail Transfer Protocol

SNDU (SubNetwork Data Unit)

SNDU : SubNetwork Data Unit

STDMA : Self-organized Time Division Multiple Access

TCP : Transmission Control Protocol

TDMA : méthode d'accès par multiplexage à répartition temporelle

TDMA : Time Division Multiple Access

TRX : Transmission/Réception

TWT : Traveling Wave Tube

UDP : User Datagram Protocol

UDP : User Datagram Protocol

UIT : Union Internationale des Télécommunications

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System

VDL : Very High Frequency Data Link

VHF : Very High Frequency

VPN : virtual private network

VSAT : Very Small Aperture Terminal

W-CDMA : Wideband - Code Division Multiple Access

WWW: World Wide Web

WXGRAPH : Graphical Weather Information

Introduction générale

Face aux progrès de la technologie embarquée, nous sommes en droit de nous demander pourquoi cela semble difficile de fournir un accès dans un avion, dès lors que la technologie extérieure - qui permet à l'avion de se connecter - est active et exploitable. Il y a d'abord une question d'ordre économique. Pour équiper un avion d'un système Wi-Fi, il y a un coût non négligeable qui peut aller de 100 000 dollars pour un réseau terrestre à plus de 500 000 dollars pour les satellites. S'ajoute le temps d'installation qui nécessite une immobilisation de l'appareil qui ne vole pas et donc, ne rapporte rien. Ainsi les spécialistes estiment que la rentabilité d'un tel équipement implique un taux d'utilisation de 20 % au minimum, or, pour l'heure, il se situe généralement (pour les avions équipés) autour des 5 % !

Si nous poussons l'étude un peu plus loin, nous découvrons que les difficultés d'engagement des compagnies dans cette voie sont la conséquence d'une faible utilisation du service lorsqu'il est proposé. Pour prendre le cas des États-Unis, où environ 86 % de la flotte est équipée (toutes compagnies confondues), seuls 8 % des usagers profitent du réseau à bord !

Proposer Internet dans un avion n'est pas une idée nouvelle, et c'est ce qui explique que nous ayons aujourd'hui un peu de recul pour constater comment les passagers se comportent lorsque cette option est disponible. Entre 2004 et 2006, la compagnie Lufthansa proposait à ses passagers une connexion haut-débit FlyNet sur certains vols, avant d'y renoncer faute de rentabilité. Nouvelle tentative en décembre 2010, lorsque FlyNet embarque de nouveau à bord de la Lufthansa, avec une nouvelle offre Internet payante.

Pour cela la compagnie TASSILI AIRLINES voudrait équiper sa flotte le Boeing 737-800 avec le service Internet.

Mon mémoire de fin d'étude est subdivisée en quatre chapitres dont le premier chapitre présente les communications aéronautiques existantes et ces limites on trouve que les satellites sont parmi les solutions prometteuses qui donnent un avantage lorsqu'on veut fournir un service de communication à bord. Le deuxième chapitre détaille le système SATCOM comme équipement installé à bord des avions, à la fin on

détaille la station terrienne, ces équipements et leurs fonctionnements. Le troisième chapitre expose les différents services SATCOM destinés pour passagers comme la téléphonie mobile et l'accès à internet avec les normes exigés, les protocoles appliqué, les réseaux d'accès et les méthodes d'encapsulation. Le dernier chapitre est une proposition sur la méthode et les moyens utilisé pour émerger les nouveaux services pour passager, ce chapitre est proposé par l'ATS (Algérie Télécom Satellite) en collaboration avec le iDirect pour les compagnies aériennes et on terminera par une conclusion.

I.1. Présentation de la compagnie aérienne Tassili Airlines

I.1.1. Historique

Tassili Airlines est une compagnie aérienne Algérienne, créé le **4 mars 1998** et effectué ses premiers vols **en Avril 1999**. Son siège actuel est situé à EL HAMMA, ALGER. Les structures opérationnelles de TAL (TASSILI AIRLINES), y compris la direction technique, sont situées au niveau de l'aéroport de Houari Boumediene à ALGER.

Tassili Airlines était initialement une coentreprise fusionnée entre la compagnie aérienne Air Algérie et la compagnie pétrolière SONATRACH. Il s'agissait d'une joint-venture qui avait pour mission d'effectuer des vols au service des sociétés pétrolières et para pétrolières en Algérie.

En avril 2005, le groupe SONATRACH a racheté les parts que détenait Air Algérie pour en faire une propriété exclusive qui a pour ambition de devenir la deuxième compagnie de transport publique en Algérie , et pour la prise en charge de la relève pétrolière et parapétrolière dans les meilleures conditions de sécurité, ponctualités , qualité , flexibilité et confort .

Cette compagnie est composée de trois filiales :

- Nafta tassili Air, qui s'occupe du transport du travailleur du secteur à partir des gisements d'hydrocarbures.
- Tassili Airlines, qui s'occupe du transport public domestique et international, de passagers et de marchandises.

Tassili Travail Aérien (TTA), filiale de Tassili Airlines, qui s'occupait du travail aérien.

En octobre 2010 une convention est signée avec le ministère de la santé algérien pour la fournitures d'équipages et d'avions capables d'assurer des évacuations sanitaires depuis le grand sud algérien vers les hôpitaux du nord du pays , pour la prise en charge des maladies graves (cancer , blessures graves....).

Son ouverture au grand public s'est faite progressivement :

- **Le 28 septembre 2011**, Tassili Airlines reçoit l'autorisation du ministère des Transports algériens d'effectuer des vols grand public.

- **Le 4 octobre 2011**, la compagnie aérienne réceptionne son quatrième Boeing 737-800 et procède à l'inauguration de sa première agence commerciale, à l'aéroport d'Alger

Depuis fin novembre 2011, la compagnie aérienne a obtenu le label international de qualité **IOSA**, délivré par l'Association internationale du transport aérien (IATA).

- **Le 28 septembre 2012**, la compagnie a inauguré son premier vol international à destination de Rome.

- **Le 5 juillet 2013**, la compagnie a inauguré deux vols internationaux à destination de Saint-Étienne et Grenoble en France.

- **Le 13 novembre 2014**, la compagnie a inauguré deux nouvelles liaisons à destination de Marseille et Strasbourg en France.

- **Le 10 juillet 2015**, la compagnie a inauguré une nouvelle liaison à destination de Lyon en France.

- **Le 4 juin 2016**, la compagnie a inauguré une nouvelle liaison au départ de Constantine et à destination de Strasbourg.

I.1.2. Domaine d'activité de tassili Airlines

- Charters pour la SONATRACH et ses filiales (groupements et associations).

- Vols à la demande (taxi aérien, vols Vip).

- Vols navette entre Alger et Hassi Messaoud et Alger In Amenas etc.

- Réalisation de vols réguliers (Nationaux et internationaux).

I.1.3. L'organigramme de Tassili Airlines

Pour que le travail soit bien organisé, il est divisé sur plusieurs directions, et chaque direction a ses propres tâches à effectuer.

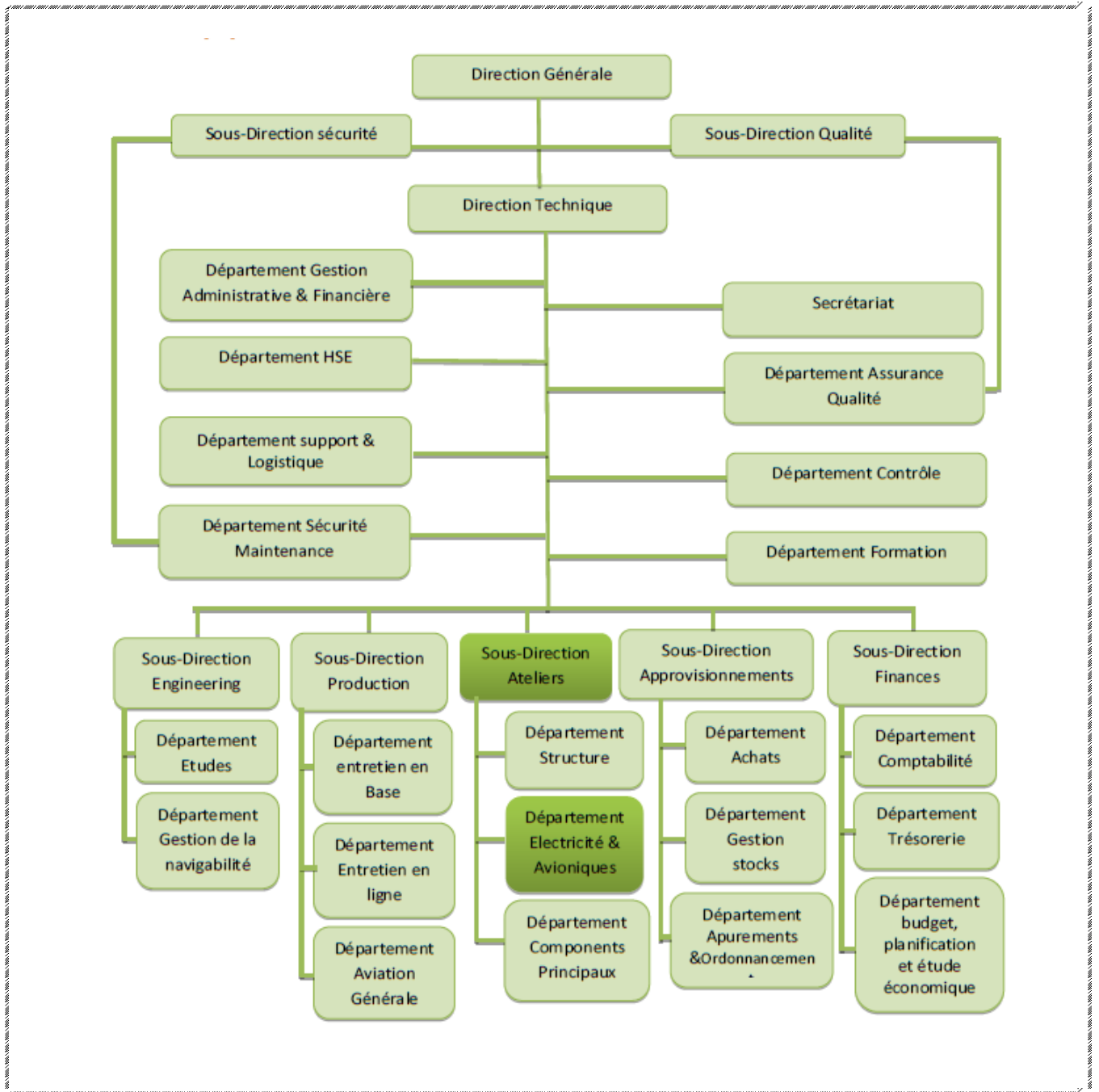


Figure I.1: Organigramme de Tassili Airlines

I.1.4. La flotte

Tassili Airlines possède aujourd'hui une flotte d'aéronef de divers types qui lui permet de répondre de façon adaptée à la demande du marché aérien en Algérie.

Elle est composée de 12 aéronefs dont la capacité va de 37 à 155 sièges. La figure I.2 montre La flotte que la compagnie Tassili Airlines possède.




		
Bombardier Q400	Boeing 737-800	Bombardier Q200
<p>Avion biturbopropulseur</p> <p>Capacité 74 sièges</p> <p>Rayon d'action 2415 km</p> <p>Vitesse de croisière 667 Km/h</p>	<p>Avion biturbopropulseurs</p> <p>Capacité 155 sièges</p> <p>Rayon d'action: 5000km</p> <p>Vitesse de croisière:900 Km/h</p>	<p>Twin-jet plane</p> <p>Capacité 37 sièges</p> <p>Rayon d' action: 1802 Km</p> <p>Vitesse de croisière537Km/h</p>

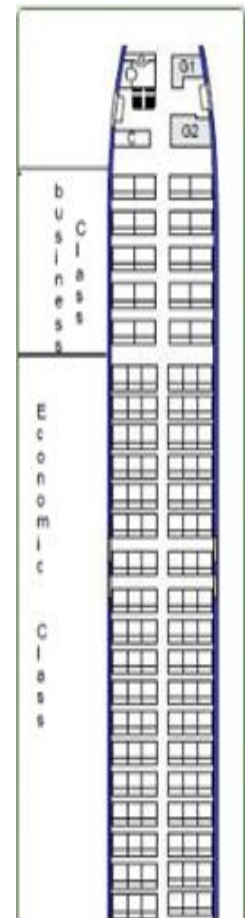
Figure I. 2: La flotte de Tassili Airlines

I.1.5.Généralités du l'avion BOEING 737-800

Boeing 737-800

Siège :	155
Longueur :	39.50
Hauteur :	12.50
Envergure :	35.79
Poids maxi au décollage :	79015
Poids maxi à l'atterrissage :	65317
Poids à vide :	41978

Réservoir (kérosène) :	*Réservoir 1 ou 2 : 4147 *Réservoir central : 13843
Consommation du carburant par heure de vol :	2700
Portée maxi (km)	5000
Hauteur de vol maxi :	41 000 ft
Moteurs :	CFM56-7B27
Poussée au point fixe max :	2700 LBS
Vitesse au décollage à plein :	Flaps 5 avec poussé max take-off thrust 152 Kt
Vitesse d'atterrissage :	varie avec l'altitude de l'A/D
Vitesse de croisière :	460 Kt



I.2 .Les communications aéronautiques:

La croissance rapide du trafic aérien et les besoins en nouveaux services notamment pour passagers imposent l'introduction de nouveaux moyens de communication pour les avions avec une bande passante globale fortement accrue. Les satellites sont appelés à jouer un rôle important dans ce contexte, non seulement en complément des systèmes terrestres pour les services «cockpit» (service ATM) mais aussi pour les services «cabine» (IFE).

I.2.1.Les origines

Depuis le premier vol des frères Wright en 1903, la question des communications entre le pilote et le sol s'est toujours posée. Elles sont indispensables pour améliorer la sûreté et l'efficacité des vols. Dans un premier temps, le personnel au sol utilisait des gestes ou des signaux visuels.

En 1917, AT&T1 a inventé le premier émetteur-récepteur radio pour avion. La première communication radio entre un avion et le sol a ainsi eu lieu en juin 1917. Mais c'est seulement au début des années 1930 qu'il est devenu techniquement et commercialement possible d'installer une radio à bord des avions. La société ARINC2 (Aeronautical Radio INCorporated) a d'ailleurs été fondée en 1929. Dans les années 1940, la radio est devenue disponible sur la plupart des avions, permettant les communications vocales. Cependant, il s'agissait souvent de systèmes propriétaires en bande HF, de qualité et de fiabilité médiocres.

Après la seconde guerre mondiale, l'aéronautique a connu une évolution majeure avec le transport de passagers. Les premières compagnies aériennes ont fait leur apparition. Il est alors devenu nécessaire d'avoir une approche plus structurée des communications aéronautiques. L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) [1] a été créée en 1947 dans le but d'élaborer des normes pour standardiser le transport aéronautique international. C'est aussi en 1947, lors de la conférence mondiale des radiocommunications, organisée par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) [2], que la bande VHF de 118 à 132 MHz est allouée aux services aéronautiques mobiles.

I.2.2. La communication HF/VHF

Les premiers systèmes de communication installés à bord des appareils étaient de type unilatéral et permettaient aux pilotes de recevoir des instructions et des informations en provenance du sol relatives au trafic aérien ou aux conditions météorologique.

Un net avantage de la transmission **VHF** repose sur la clarté de l'information à la réception du fait des faibles perturbations lors de la propagation atmosphérique.

La communication **HF**, utilise les bandes de fréquences comprise entre 3 et 30MHz. Elle est utilisée pour des communications au-dessus des océans ou pour des régions lointaines. En effet, les ondes HF ont une portée de 1500 à 2000 NM en comparaison aux ondes VHF qui ne portent que sur 250NM environ. Cette différence de propagation repose sur le principe de transmission HF réalisé en réflexion entre le sol et les sous couches de l'atmosphère ce qui permet une plus grande portée mais une

clarté nettement diminuée (possibilité de perte de communication au-dessus des océans).

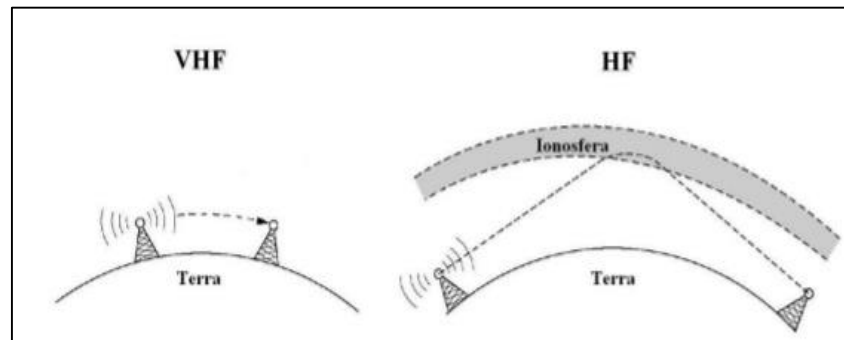


Figure I.3: Différence entre la communication HF et VHF

I.2.3. Les couches atmosphériques

L'atmosphère est divisée en plusieurs couches d'importance variable : leurs limites ont été fixées selon les discontinuités dans les variations de la température, en fonction de l'altitude. De bas en haut :

- **la troposphère** : la température décroît avec l'altitude (de la surface du globe à 8-15 km d'altitude) ; l'épaisseur de cette couche varie entre 13 et 16 km à l'équateur, mais entre 7 et 8 km aux pôles. Elle contient 80 à 90 % de la masse totale de l'air et la quasi-totalité de la vapeur d'eau. C'est la couche où se produisent les phénomènes météorologiques (nuages, pluies, etc.) et les mouvements atmosphériques horizontaux et verticaux (convection thermique, vents).

- **la stratosphère** : la température croît avec l'altitude jusqu'à 0 °C (de 8-15 km d'altitude à 50 km d'altitude) ; elle abrite une bonne partie de la couche d'ozone.

- **la mésosphère** : la température décroît avec l'altitude (de 50 km d'altitude à 80 km d'altitude) jusqu'à -80 °C.

- **la thermosphère** : la température croît avec l'altitude (de 80 km d'altitude à 350-800 km d'altitude)

- **l'ionosphère** : la partie de l'atmosphère ionisée par les radiations solaires, s'étire de 60 à 800 km et se constitue de trois couches : la couche D (60 à 90 km), la couche E (90 à 120 km), et la couche F (120 à 800 km). Elle chevauche à la fois la thermosphère et l'exosphère. Elle joue un rôle important dans l'électricité atmosphérique et forme le bord intérieur de la magnétosphère. Grâce à ses particules chargées, elle a une

importance pratique car elle influence, par exemple, la propagation des ondes radio sur la Terre. Elle est le lieu où se déroulent les aurores et les phénomènes lumineux transitoires liés aux orages.

•**l'exosphère** : de 350-800 km d'altitude à 50 000 km d'altitude. Elle contient des particules circulant librement et qui migrent ou proviennent de la magnétosphère ou du vent solaire.

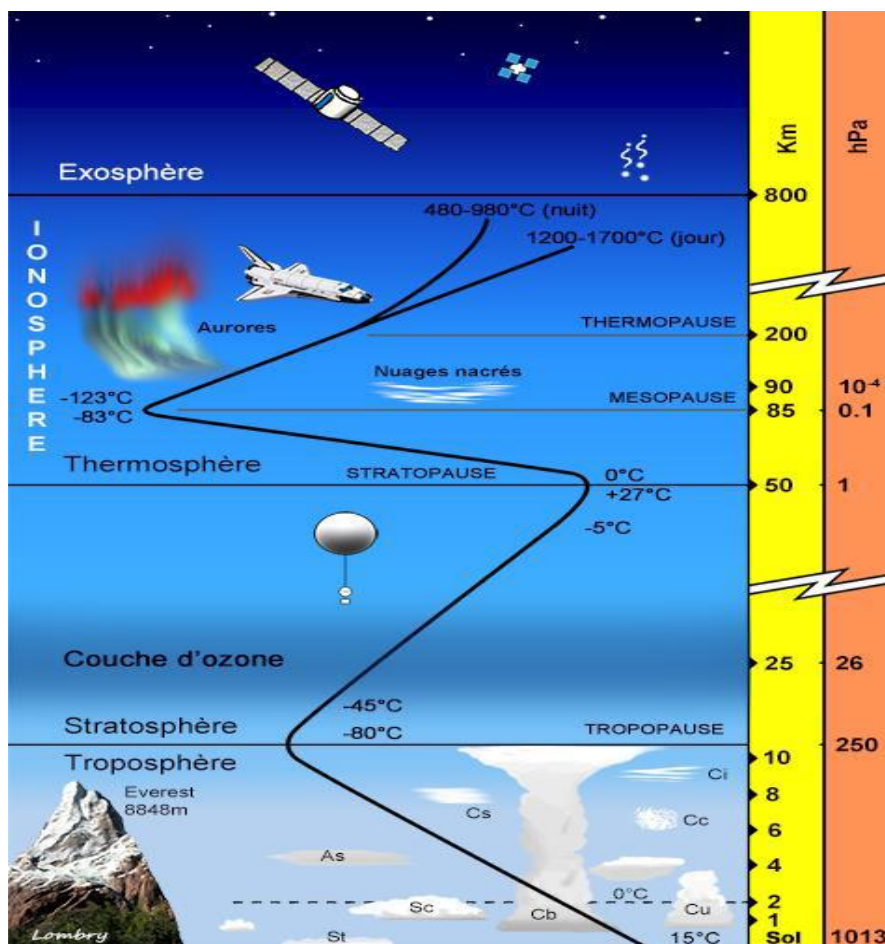


Figure I. 4: profil de l'atmosphère

I.3. Les limite de capacité des communications vocales

Le tableau I.1 ci-dessous nous montre l'évolution du nombre de canaux VHF pour les communications aéronautiques :

Année	Bande de fréquence	Espacement des canaux	Nombre de canaux
1947	118 - 132 MHz	200 kHz	70
1958	118 - 132 MHz	100 kHz	140
1959	118 - 136 MHz	100 kHz	180
1964	118 - 136 MHz	50 kHz	360
1972	118 - 136 MHz	25 kHz	720
1979	118 - 137 MHz	25 kHz	760
1994	118 - 137 MHz	8,33 kHz	2280

Tableau I. 1: Evolution du nombre de canaux VHF pour les communications aéronautiques

I.4. Convergence des communications aéronautiques sur un lien unique par satellite

Pour chacun des services de communication à bord de l'avion, il existe différents systèmes disponibles ou en cours d'étude. Jusqu'à présent, ces systèmes fonctionnent d'une manière indépendante avec des infrastructures propres installées à bord et au sol. Cependant, il est avantageux d'avoir un seul système qui permette d'intégrer les différents systèmes de communication et de répondre à toutes les exigences des services ATM.

Les systèmes de communication par satellite sont un élément très important dans ce concept d'intégration. Ils représentent non seulement un moyen complémentaire aux systèmes terrestres pour la gestion du trafic aérien en offrant une couverture globale, mais aussi une solution prometteuse pour enrichir les services IFE grâce à la capacité significative qu'ils peuvent offrir.

I.4.1. Solutions par satellite

Le premier moyen de communication qui peut venir à l'esprit pour les avions civils est bien sûr le satellite. En effet, il permet d'avoir une très grande couverture, ce qui est un avantage lorsqu'on veut fournir un service à des avions qui volent partout dans le monde. La figure I.5 nous montre quelques-unes des solutions existantes.

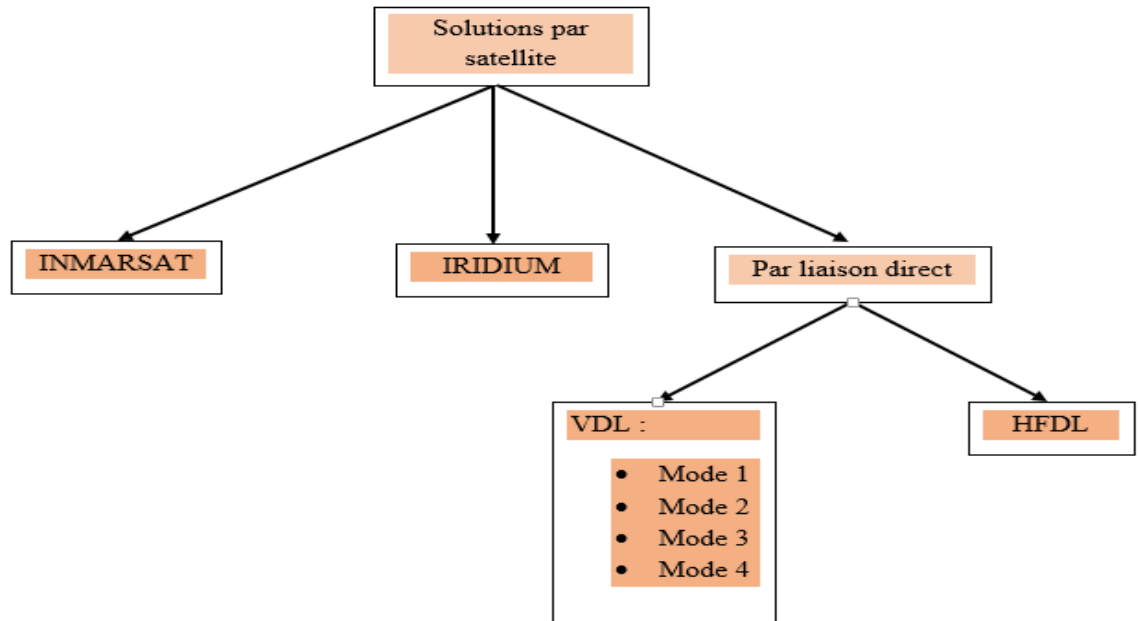


Figure I. 5: Solutions par satellite

I.4.1.1 INMARSAT

Inmarsat a été le premier opérateur civil à proposer, dès les années 90, des services de communications par satellite destinés à l'aéronautique. Il a ensuite été le premier à se conformer aux normes et pratiques recommandées par l'OACI. C'est aujourd'hui l'opérateur par satellite le plus largement utilisé, avec plus de 10 000 avions équipés.

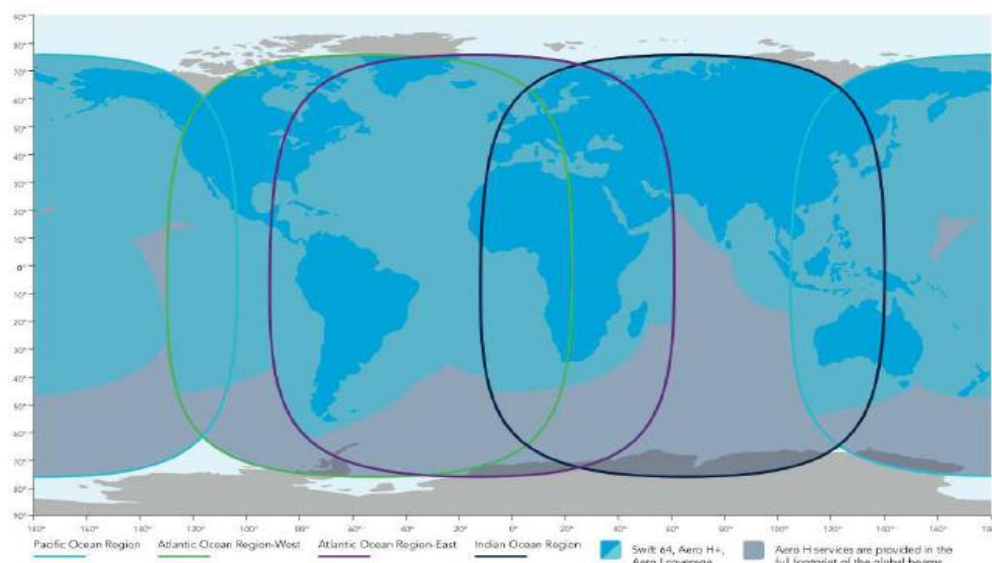


Figure I. 6: Couverture des services aéronautiques d’Inmarsat

Le système Inmarsat utilise deux bandes de fréquence : 1525-1559 MHz pour la réception et 1626,5-1660,5 MHz pour l’émission, soit 68 MHz au total pour les liaisons avec les mobiles.

Il utilise la bande C pour les services fixes. Il offre aujourd’hui trois services distincts en bande L pour le domaine aéronautique : Classic-Aero, Swift64 et Swift Broad band. Seul le service Classic-Aero est approuvé par l’OACI pour les communications critiques du cockpit.

Il est supporté par toutes les générations de satellites Inmarsat. Il se décline en fait en six sous-services, dont les principales caractéristiques sont résumées dans le tableau.

Service	Aéro H etH+	Aéro I	Aéro L	Mini MAéro	Aero C
Voix	Multiplescanaux	Multiplescanaux	-	Un canal	-
Données	10,5 kbps	4,8 kbps	1,2 kbps	2,4 kbps	0,6 kbps
Antenne	Gain élevé	Gain intermédiaire	Gain faible	Gain faible	Gain faible
Approuvé par l’OACI pour les services critiques	Oui	Oui	Oui	Non	Non

Tableau I.2: Les services Classic-Aero d’Inmarsat

1.4.1.2. IRIDIUM

Iridium propose un service de communication par satellite en bande L depuis novembre 1998. Il s'agit d'une constellation de 66 satellites défilants en orbite basse (LEO) à environ 800 km d'altitude. La figure I.7 montre cette constellation. Cela permet d'être en communication avec au moins un satellite sur toute la terre à n'importe quel moment. Contrairement au système Inmarsat, Iridium offre donc une couverture mondiale complète. De plus, le système est basé sur des communications entre les satellites, ce qui permet de minimiser le nombre de stations au sol. Il y a ainsi seulement deux stations de contrôle au sol : une pour les communications civiles et une pour les communications militaires.

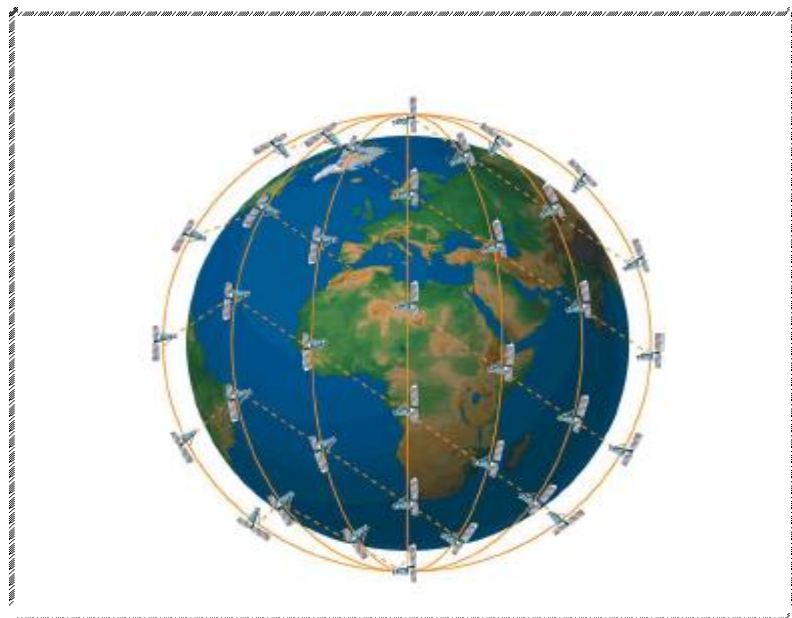


Figure I.7: La constellation Iridium

1.4.2. Solutions par liaison directe avec le sol

Une autre solution envisageable pour fournir une connexion à bord des avions civils est d'établir une liaison directe avec le sol. On obtient alors un réseau cellulaire avec des stations au sol. Voilà quelques-unes des solutions existantes.

- **VDL Mode 1 :**

La VDL Mode 1 a été conçue pour remplacer le Plain Old ACARS. Elle a été le premier système data Link standardisé par l'OACI. Malheureusement, elle n'a

jamais été implémentée car ses performances étaient trop faibles par rapport à la VDL Mode 2. Elle a donc été retirée de l'Annexe 10 de l'OACI.

- **VDL Mode 2 :**

La VDL Mode 2 a été spécifiée par l'OACI en 1996 puis incluse dans l'Annexe 10, elle utilise une modulation de phase D8PSK (Differentially encoded 8-Phase Shift Keying) et offre un débit binaire de 31,5 kbps. La VDL Mode 2 est compatible avec le format de messages ACARS. Elle sera ensuite utilisée pour l'envoi des messages ATN.



Figure I.8: Couverture VDL Mode 2 par SITA

- **VDL Mode 3 :**

La VDL Mode 3 est développée aux Etats-Unis avec le soutien de la FAA. Elle est candidate pour devenir le futur moyen de communication pour les communications vocales et les communications de données du domaine ATC. Elle utilise le TDMA (Time Division Multiple Access). Des slots sont ainsi assignés aux avions par la station sol pour la voix et les données. Elle offre un débit de 31,5 kbps.

- **VDL Mode 4 :**

La VDL Mode 4 a été standardisée par l'OACI en 2001. Elle utilise le STDMA (Self-organized Time Division Multiple Access). Elle va principalement être utilisée

pour les applications de navigation et de surveillance (ADS-B). Elle offre un débit de 19,2 kbps.

- **HFDL :**

La HFDL (High Frequency Data Link) est un moyen de communication de données numériques qui permet d'envoyer des messages au format ACARS. Elle a été standardisée par l'OACI puis ajoutée à l'Annexe 10 en 1999. Les spécifications techniques de la HFDL se trouvent dans les normes ARINC 634, 635 et 753. La HFDL utilise trois modulations PSK (Phase Shift Keying) et offre un débit maximum de 1,8 kbps. Elle offre une couverture mondiale.

I.5. Satellites de télécommunications

Un satellite de télécommunications est constitué de dispositifs d'émission et de réception radioélectriques associés à des antennes et d'amplificateurs à large bande et à gain élevé. Il constitue le "segment spatial" de la liaison bilatérale établie à la demande des exploitants ou des utilisateurs. Le composant clé du satellite est l'amplificateur à tube à ondes progressives (TWT, ou Traveling Wave Tube), inventé dans les années 1960, dont la puissance a été portée de 1 à 50, puis 300 watts.

I.5.1 Diagramme du Satellite

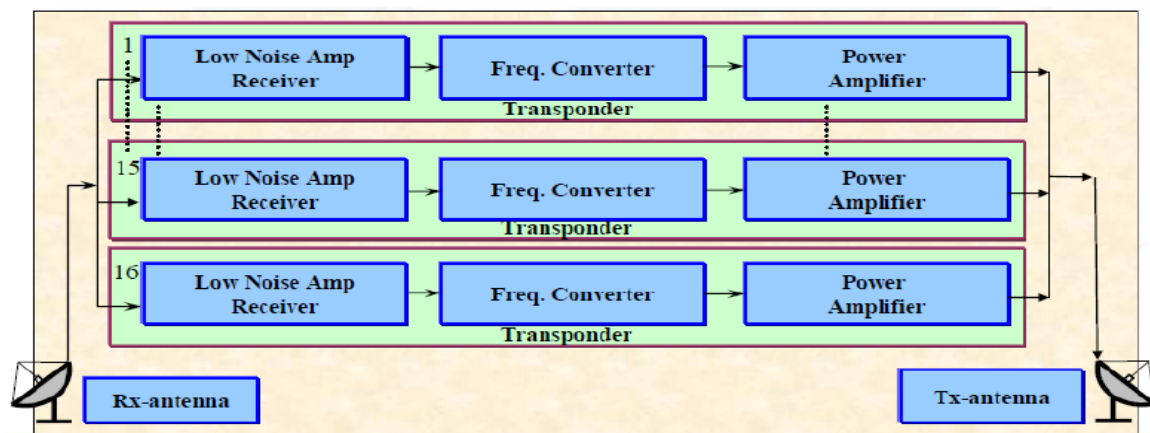


Figure I.9: diagramme du satellite

Le Satellite reçoit le signal en Up Link puis il fait la translation et la conversion en même temps de la fréquence, puis il amplifie le signal et il le retransmit en Down Link.

Chaque satellite a une capacité typique qui est égale à 500 MHz réparties sur plusieurs transpondeurs dont les tailles les plus standards sont : 36MHz, 54 MHz et 72 MHz

I.5.2. Le Diagramme d'un transpondeur en Ku

La figure I.10 nous donne le schéma synoptique du transpondeur.

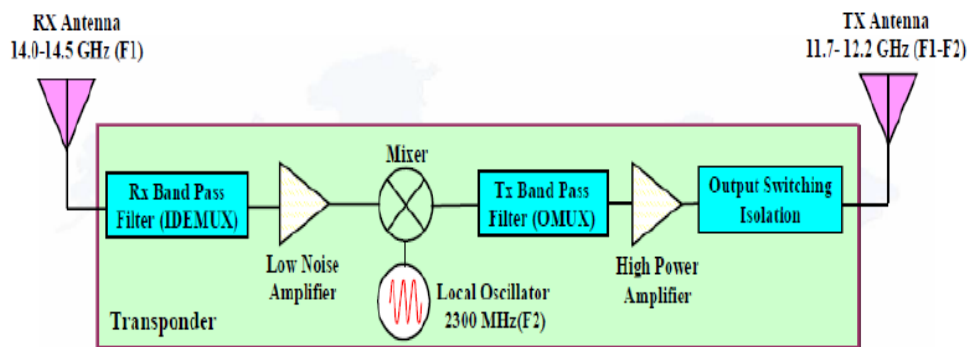


Figure I.10: le schéma synoptique du transpondeur.

I.5.3 les satellites terrestres

Les satellites terrestres sont classés en diverses catégories :

Satellite	Altitude (km)	Durée de vie	Mission	Transit
GEO	36 000	12 à 15 ans	Diffusion radio et TV, VSAT et IP < 155	0.25 à 0.5s
MEO	13 000	6 à 8 ans	Téléphonie mobile et données 9.6 à 38.4 Kbits/s	0.1s
LEO	640 à 1 600	6 à 8 ans	Téléphonie mobile et données 9.6k à 155 Mbits/s	0.05s
HAPS	6 à 25	En essai	Transmission des données	0.0001s

Tableau I.3: principaux types de satellites

I.5.4. Les orbites

L'orbite est la trajectoire que décrit un objet qui tourne autour d'un autre objet. Mettre un objet en orbite représente l'action de placer cet objet qui se trouve sur Terre :

- A une certaine altitude.
- A une certaine vitesse.
- Dans une certaine direction initiale (inclinaison).

I.5.4.1 Caractéristiques principales d'une orbite

En simplifiant, trois caractéristiques principales permettent de définir une orbite :

- **Son altitude** : c'est la distance qui sépare l'orbite de la surface de la Terre.
- **Sa forme** : elle peut être circulaire ou elliptique.
- **Son mouvement par rapport à la Terre** : est-ce qu'elle tourne sur le plan de l'équateur ? Est-ce qu'elle passe tous les jours au-dessus des pôles ?

I.5.4.2. Les types d'orbites

D'après le tableau I.4ci-joint on peut déterminer les orbites circulaires et les orbites elliptiques et leurs périodes.

Orbite	Apogée	Périgée	Période
Basse	270 km	270 km	90 min
Héliosynchrone	830 km	830 km	102 min
Molniya	39900 km	500 km	12h
Stationnaire	35786 km	35786 km	23h 56 min

Tableau I.4: les types d'orbite

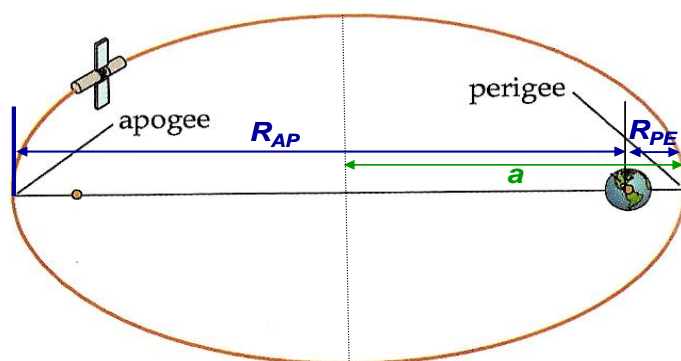


Figure I. 11: l'orbite elliptique

Conclusion :

L'émergence de nouveaux services pour les contrôleurs, les compagnies et les passagers, alimente le besoin de nouveaux moyens de communications sol-bord. De nombreux travaux de recherches sont en cours pour trouver des moyens de communications permettant de déployer ces services.

Parmi les pistes étudiées, on trouve des solutions par satellites et des solutions par liaisons directes avec le sol.

Pour l'ensemble des nouveaux services aéronautiques, le satellite est un moyen efficace pour assurer la connectivité dans tous les domaines de vol.

Introduction :

Au cours des 16 dernières années, Inmarsat a révolutionné le contrôle du trafic aérien (ATC) et Communications opérationnelles de la compagnie aérienne (AOC) dans les régions éloignées. Avec une part de marché de 95%, il est le premier fournisseur de services et traite plus de 100 000 messages de trafic aérien par jour. Bon nombre de ces 1,5 million de vols océaniques annuels. Compte tenu de la croissance du trafic, un nombre croissant de procédures opérationnelles utilisation de SATCOM et le développement d'une nouvelle génération d'AOC applications, l'importance de SATCOM dans l'industrie de l'aviation ne cessera de croître. Inmarsat est aussi constamment.

II.1. Le système de communication par satellite (SATCOM)

Le système de communication par satellite (SATCOM) est un système de communication mobile qui fournit la transmission de la voix et de données à longue portée entre l'avion et les réseaux de communication sol. Sa liaison est présentée par la figure II.1

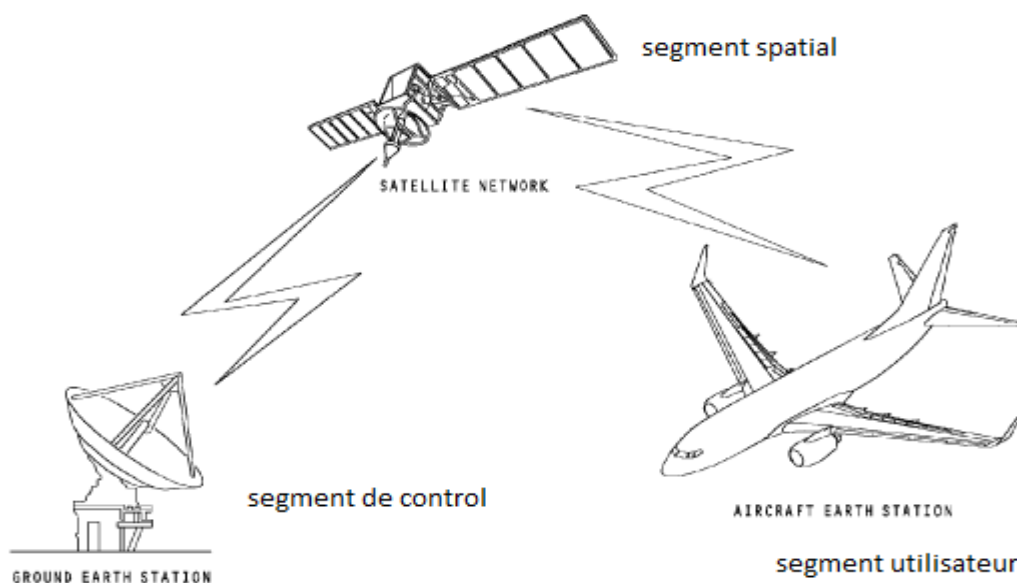


Figure II.1: la liaison du système SATCOM

Un système de télécommunications par satellite comprend trois sous-ensembles :

- Le segment spatial : qui est composé d'un ou plusieurs satellites de télécommunications actifs ou de rechange regroupés éventuellement en une constellation.

- Le segment de contrôle (GES) : comprend l'ensemble des équipements au sol utilisés pour contrôler et surveiller les satellites et piloter les échanges ainsi que les équipements associés embarqués à bord des satellites.
- Le segment d'utilisateur (AES) : regroupe l'ensemble des stations mobiles (avions) utilisant les services fournis par les satellites de télécommunications.

Le système **SATCOM** possède trois canaux de communication qui sont:

- * Deux canaux vocaux d'Aero H/H + Classique pour le vol communications du compartiment.
- * Un canal de données pour les communications ACARS.

Le système **SATCOM** utilise un lien de communication entre les avions et les stations terriennes, le relai de cette communication est un réseau satellitaire.

II.2. Le réseau satellitaire

Le réseau satellitaire est le relais entre la station terrienne et les avions. Les satellites font partie de l'Organisation internationale de télécommunications maritimes par satellites (Inmarsat). Les satellites sont en orbite géosynchrone au-dessus de la Terre. Il doit y avoir une ligne de mire entre l'avion et l'avion afin de faire des tests opérationnels du **SATCOM**.

Le réseau satellitaire utilise la fréquence de la bande C pour recevoir et transmettre les liaisons **SATCOM** vers et depuis le **GES**.

Les satellites qui fournissent les services Aero-H + Classic et Swift 64 sont appelés satellites **Inmarsat-3 avec une abréviation I-3**. **I-3** est la troisième génération de satellites. Les satellites se connectent aux systèmes de télécommunication au sol via le réseau GES. Chaque satellite I-3 est situé sur une région océanique(OU).

Les noms du OU pour les satellites I-3 sont:

- * Région de l'océan Atlantique - Est (AOR-E).
- * Région de l'océan Atlantique - Ouest (AOR-W).

II.3. Quelques antenne existantes sur le Boeing 737-800

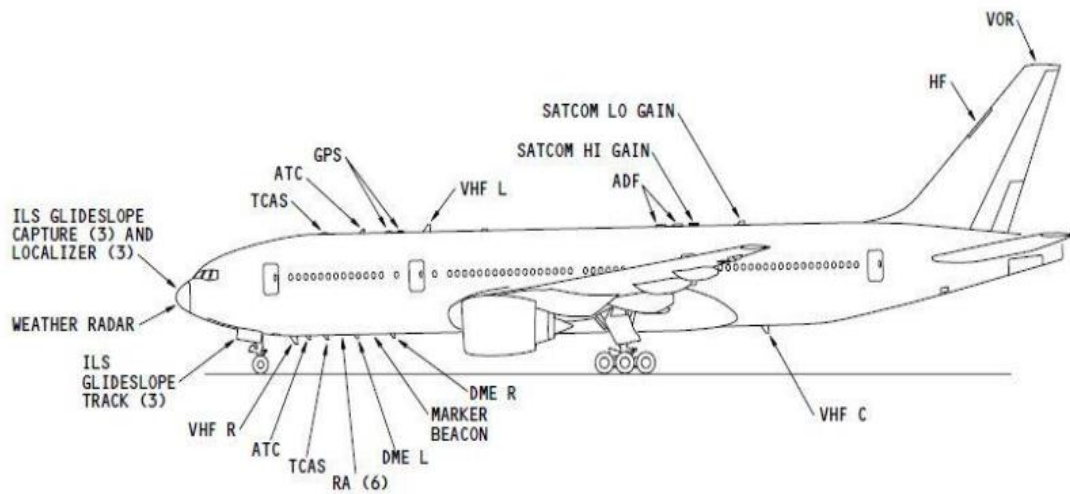


Figure II.2: Quelques antenne existantes sur le Boeing 737-800

Le tableau ci-dessous nous montre quelques types d'antenne existantes sur le Boeing 737-800 avec la fréquence de fonctions, le rôle et le model de chaque antenne :

Chapitre III


Antenne	Fréquence	Fonctionnement	Types
VHF	118-136 Mhz	Transmission de la voix et de données.	
ELT	121,5-243 Mhz	transmettre un signal de détresse qui peut être détecté par des satellites non géostationnaires puis localisé précisément par l'une ou l'autre ou les deux triangulations GPS et doppler.	
GPS	1575.42 MHz L1-Band	Donne la position de l'avion à l'aide de 4 satellites au minimum	
VOR	108-117,95 Mhz	déterminer la position de l'aéronef par rapport à une station au sol et transmettre des données météorologiques,	
SATCOM	225 - 406 MHz	la transmission de la voix et de données à longue portée entre l'avion et les réseaux de communication sol.	

Tableau II. 1: comparaison entre les antennes existantes

II.4. Station terrienne aéronautique (AES)

La station terrienne aéronautique (AES) est la partie du système de communication par satellite qui se trouve sur l'aéronef.

Le système SATCOM de l'avion agit comme un système AES, qui fournit aux utilisateurs un lien de communication de données et de voix vers le réseau satellitaire qui est le système de télécommunications mondial.

L'AES utilise la fréquence de la bande L pour recevoir et transmettre les liens du SATCOM au /du satellite.

II.4.1. Equipement SATCOM installé sur avion

Ce sont les composantes du système SATCOM installées sur avion:

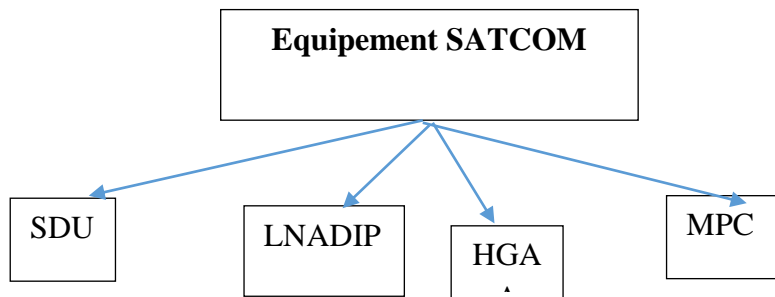


Figure II.3 : les composantes du système SATCOM

- SDU : Unité de données satellite
- LNA/DIP : Amplificateur / duplexeur à faible bruit
- HGA : Antenne à gain élevé supérieure
- MPC : Module de programme de commutation

II.4.1.1. L'unité de données par satellite (SDU)

C'est l'interface du système et un contrôleur pour le système **SATCOM** sur avion.

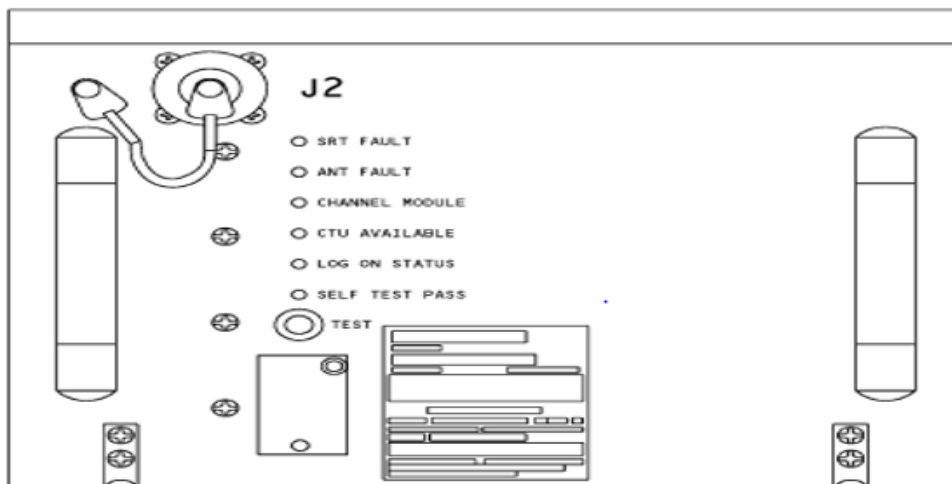


Figure II. 3: l'interface SDU

L'unité de données par satellite (**SDU**) est un dispositif avionique installé dans un aéronef qui permet la communication air / sol via un réseau de satellites. Il fait partie intégrante du système SATCOM (communication par satellite) d'un avion.

Le dispositif se connecte à un satellite par l'intermédiaire d'ordinaire fréquence radio communication (RF) et le satellite se connecte ensuite à une station au sol ou *vice versa*. Toutes les communications par satellite, qu'elles soient audio ou données, sont traitées par la SDU. ^[1]

Le SDU reçoit des informations sur la position et l'orientation de l'aéronef en provenance d'un autre système embarqué (ADIRU, unité de référence à inertie de données aériennes) qu'il passe à la BSU (unité de direction de faisceau) pour diriger le faisceau de signal de l'avion vers le satellite choisi. Avec l'avènement des téléphones portables et d'Internet, un SDU séparé ou intégré peut être utilisé pour offrir des services téléphoniques et Internet aux passagers.

Des journaux de communications par satellite ont été utilisés pour informer les agences de recherche et de sauvetage d'endroits des aéronefs disparus, notamment celui du vol 370 de Malaysia Airlines, dont la position était inconnue en raison de la perte de contact radar et d'autres communications. Les transmissions SATCOM automatisées suggéraient qu'il volait à environ 1 600 km de sa trajectoire de vol désignée, ayant volé approximativement sud-sud-ouest plutôt que prévu approximativement nord-nord-est.

Le SDU fonctionne selon les modes de fonctionnement suivants:

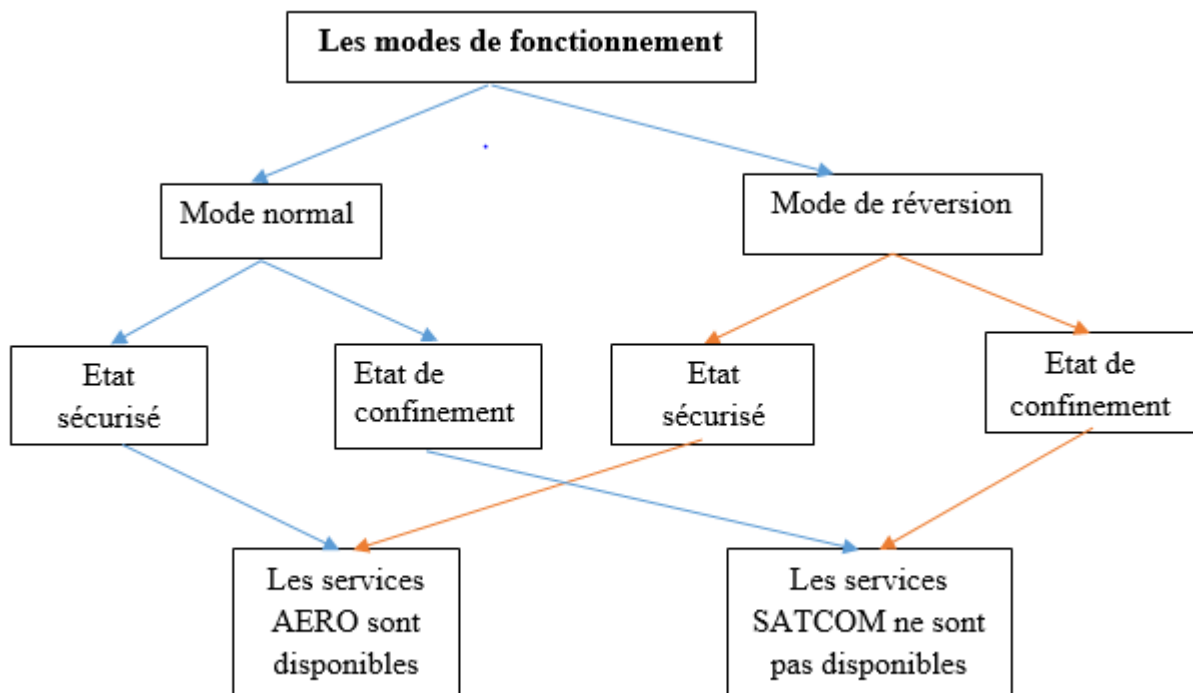


Figure II. 4: les modes de fonctionnement de la SDU

I.4.1.1.1 Mode normal

- a. Le mode normal prend en charge le service Aéro classique complet et le service Swift (soit Swift 64 ou Swift Broad band). Le système de communication par satellite (SATCOM) fonctionne en mode normal à moins qu'une panne n'empêche le service Aéro classique complet.
- b. Si le système détecte une compromission de la sécurité en mode normal, le SDU peut entrer dans l'état sécurisé ou l'état de confinement afin de maintenir la sécurité du système.

- Les services AERO classiques sont disponibles dans l'état sécurisé.
- Les services SATCOM ne sont pas disponibles lorsque le SDU entre dans l'état de confinement.

I.4.1.1.2 Mode de réversion

- a. le mode de réversion modifie la configuration du SDU pour supprimer Swift Service. Le SDU supporte alors un service réduit Classic Aeroprise en charge d'un canal du service Aero H+ pour les données 2 et 3 (contrôleur Communications de liaison de données du pilote (CPDLC) et communication de l'aéronef Système d'adressage et de compte rendu (ACARS)) et un canal à demi-tarif (4,8 kbps) voix.

Le SDU fonctionnera en mode de réversion en cas de panne empêche le service complet Classic Aero en mode normal.

b. Si le système détecte un compromis de sécurité en mode de réversion, le SDU peut entrer dans l'état sécurisé ou l'état de confinement afin de maintenir la sécurité du système.

- Les services AERO classiques sont disponibles dans l'état sécurisé.
- Les services SATCOM ne sont pas disponibles lorsque le SDU entre dans l'état de confinement

I.4.1.2. L'amplificateur / duplexeur à faible bruit (LNA / DIP)

L'amplificateur et le duplexeur à faible bruit (LNA/DIP) sont assemblés en une seule unité. Le LNA/DIP est un filtre et un amplificateur. Il permet au système **SATCOM** de recevoir et transmettre des signaux en même temps. Ça aussi augmente la puissance des signaux des satellites reçus qui ont un faible niveau de puissance.

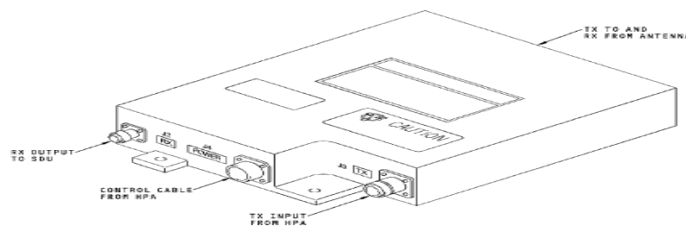


Figure II.5: LNA /DIP

I.4.1.2. 1.Description physique

Le LNA/DIP possède ces propriétés :

- * Longueur : 27,99 cm (11,02 po)
- * Largeur - 7,76 po (19,71 cm)
- * Hauteur - 1,85 po (4,70 cm)
- * Poids : 6,50 lb (2,95 kg)

I.4.1.2. 2.Fonctionnement :

Duplexeur/ampli faible bruit (DIP/LNA) permet d'envoyer et de recevoir un signal RF. Les 3 ports RF d'antenne, d'émission et de réception du DIP/LNA fournissent le routage du signal et la fonction de filtrage.

Les signaux dans la bande Rx sont routés tandis que les signaux de bande Tx sont acheminés du port d'émission vers le port d'antenne.

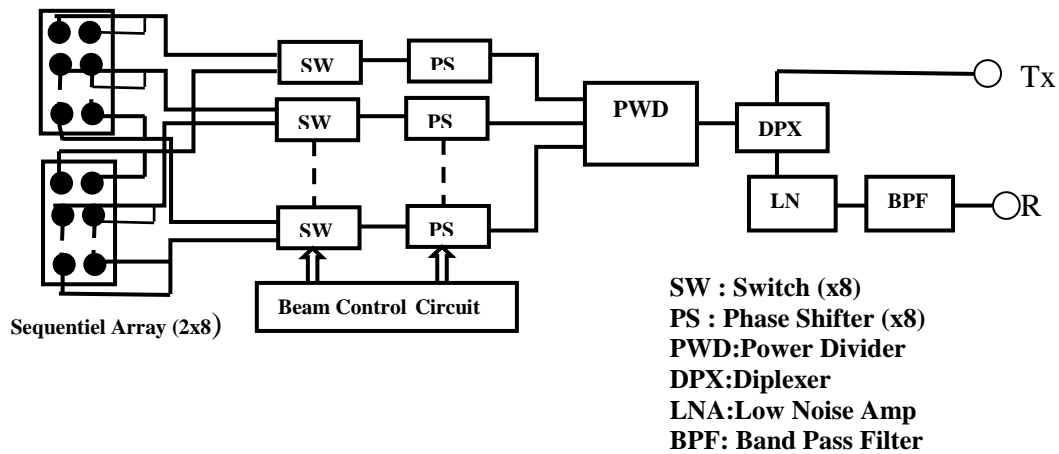


Figure II. 6: Schéma de l'antenne à réseau en phase-Gracieuseté du livre : par Fujimoto

L'antenne à gain élevé (HGA) reçoit et transmet les signaux radio fréquence (RF) pour la communication vocale et de données.

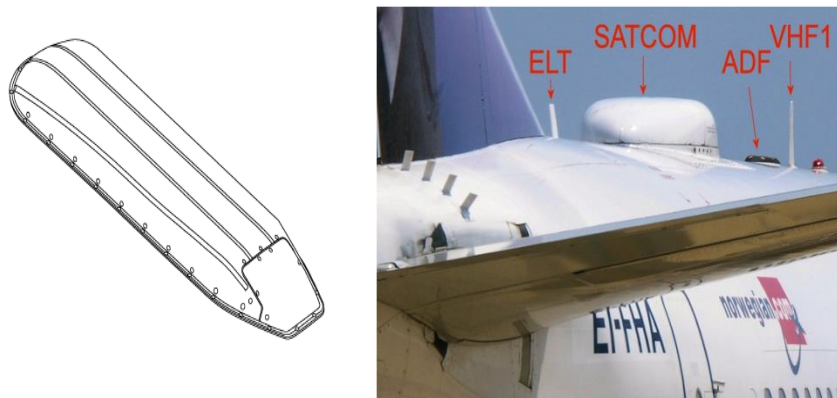


Figure II.7: l'antenne HGA

II.4.1.3. Système HGA

Le système d'antenne à gain élevé (HGA) est conçu comme une antenne à gain élevé à réseau progressif à double axe moyen à commande électronique. Cette antenne est conçue pour soutenir les normes aéronautiques Inmarsat-H, H+, HSD+ et Swift. Il peut également fournir des services conformément à la nouvelle norme aéronautique Swift Broad band.

Les deux représentants typiques des produits HGA sont les suivants :

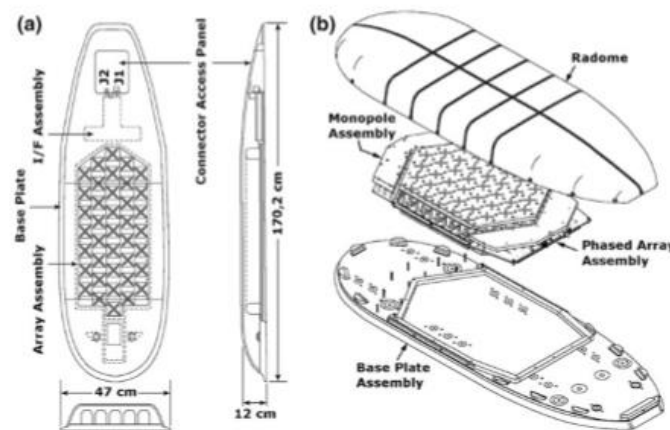


Figure II.8: Un réseau planaire en phase de dipôles croisés

- La solution de HGA configuration est conçue pour soutenir Inmarsat Aero-H et H+ standards avec lesquels les deux fournissent des taux de canaux jusqu'à 10,5 Kb/s. En outre, il prend en charge la voix multicanaux, le fax et le transfert de données, tandis que le système Aero-H+ peut éventuellement utiliser la puissance plus élevée des satellites Inmarsat-3 et Inmarsat-4 lors de l'exploitation dans la zone de couverture de faisceau spot comme le montre la figure a.
- La combinaison d'un HGA TT-5000HSD+ Thrane et Thrane, d'un ancien GAN Inmarsat ou d'une nouvelle technologie avancée Inmarsat BGAN et Swift 64 fournit la capacité Aero-H+ ainsi qu'un canal satellite HSD dédié pour un service de données de paquets mobiles jusqu'à 64 Kb/s (MPDS).

Le HGA est généralement un réseau planaire en phase d'un certain nombre d'éléments croisés-dipôles identiques disposés dans une grille. Par conséquent, les deux antennes assurent la transmission et la réception simultanées de signaux satellitaires en duplex intégral, à savoir les bandes Tx et Rx. La direction du faisceau de la HGA se fait par transmission série.

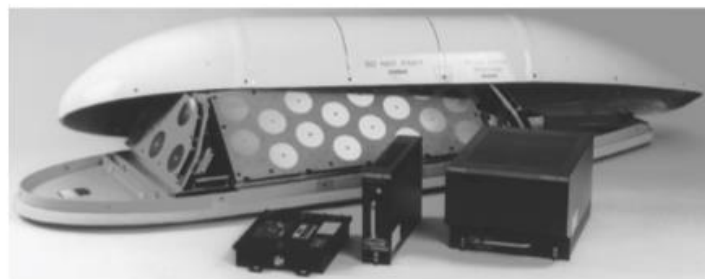


Figure II. 9: antenne à réseau HGA

Comme le montre la figure II.9, il s'agit d'une antenne à réseau phasé HGA de montage supérieur pour le terminal INMARSAT Aero.

Le terminal AES utilise deux types d'antennes à réseau progressif :

- Le premier est un type de montage supérieur, qui est installé sur le dessus d'un fuselage,
- tandis que le deuxième est un type de montage latéral, qui est installé sur les deux côtés de l'aéronef, bâbord et tribord.

Le module de programmes de commutation **SATCOM** donne le code d'identification et les options de configuration **SATCOM** pour chaque avion.

II.5. Connexions du système SATCOM

Le SATCOM d'un avion possède des interfaces avec ces systèmes ou Composants:

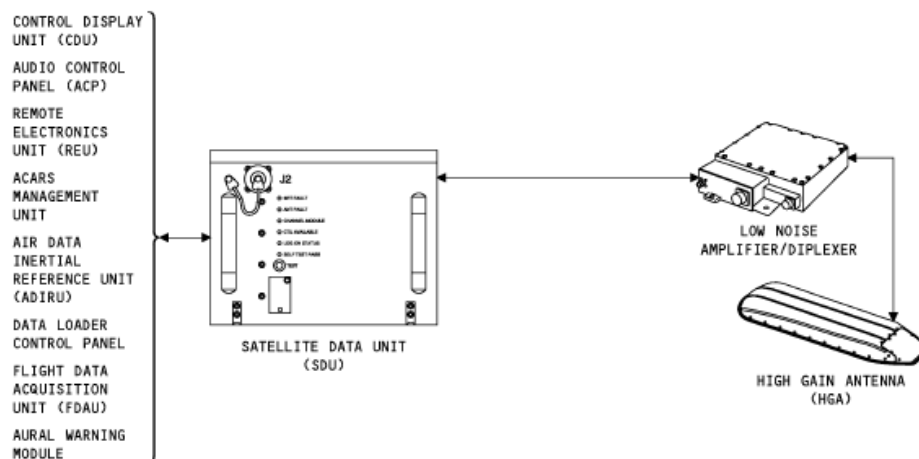


Figure II.10: les interfaces connectées avec l'SDU

a. Unités d'affichage de contrôle (CDU)

Le contrôle SATCOM et les pages d'état de la CDU donnent le contrôle du SATCOM système. Ces pages indiquent également l'état du système.

b. Tableaux de commande audio (ACP)

Le SDU envoie un voyant d'appel, signaux discrets aux ACP. Les ACP envoient un appel qui annule les signaux discrets au SDU.

c. Unité électronique à distance (REU)

L'audio du microphone passe à l'SDU à travers le REU.

d. Unité de gestion de la communication ACARS (CMU)

Le ACARS CMU envoie et reçoit des données vers et depuis le SDU pour la communication de liaison de données avec les stations au sol.

e. Unité de référence inertielle de données aériennes (ADIRU)

L'ADIRU envoie données de référence inertielle au SDU pour le guidage du faisceau.

f. Panneau de configuration du chargeur de données

Le panneau de configuration du chargeur de données envoie les données du chargeur de données à la SDU. Vous utilisez les données chargeur pour charger le logiciel dans le SDU et pour enregistrer Built-Intest données de la SDU.

g. Module d'alerte sonore

Lorsque le SDU reçoit un SATCOM appel de la station au sol, le SDU provoque la sonnerie (module d'avertissement) pour faire un carillon haut-bas dans le vol compartiment.

h. Unité d'acquisition de données de vol (FDAU)

L'électronique à distance unité (REU) envoie un signal de ligne de touche au SDU lorsqu'un équipage membre souhaite transmettre sur le canal SATCOM 1 ou 2. Les signaux de ligne de touche vont également à la FDAU pour l'enregistrement.

II.6. La Station Terrienne

Une Station Terrienne, Généralement est composée de plusieurs antennes de diamètre important, 5.6m , 6.3m11m.....32m. Ces antennes sont munies :

- 1- d'un système auto tracking afin d'ajuster le signal avec une grande précision et pour garder le C/N au Max (C/N : Carrier per Noise)
- 2- Pour les antennes de petits diamètres comme 1.2m-3.8m, nous trouvons un système d'auto
- 3- pointage.



Figure II.11: Une antenne terrestre

Deux moteurs sont installés au niveau d'antenne pour l'ajustement de l'élévation et pour azimuth (qui peut couvrir une ouverture de +/- 120°)

Pour la partie indoor, un équipement d'affichage qui peut fournir les informations suivantes :

- Le Satellite utilisé
- Le niveau de Signal
- Le taux de variation lorsque le satellite bouge dans son cube (infini).
- L'angle d'élévation et d'azimut

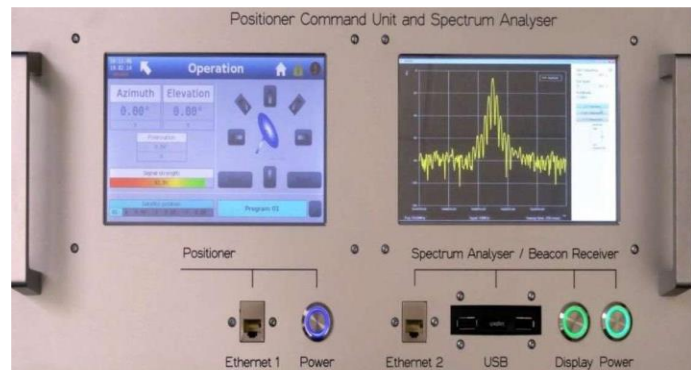
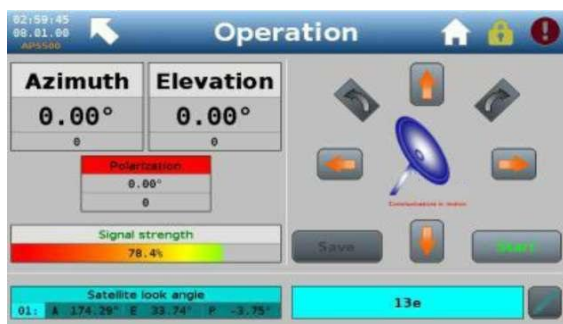


Figure II.12: Un équipement d'affichage

a. La Partie IDU (Indoor Unit)

➤ Le Modem :

Le modem est un équipement qui nous permet d'envoyer une data d'une interface IP, ATM, voix..., qui se trouve en point A, vers la même interface du modem du point B

Le modem fait passer la data via une interface puis :

- Il encapsule en émission / il désencapsule en Réception
- Il module en TX / il démodule en RX

- il corrigé avec un FEC

b. La Partie ODU (Outdoor Unit)

➤ Le LNB :

LNB Universel en bande Ku, il reçoit le signal du satellite, il l'amplifie et le convertis en Bande L du Modem.

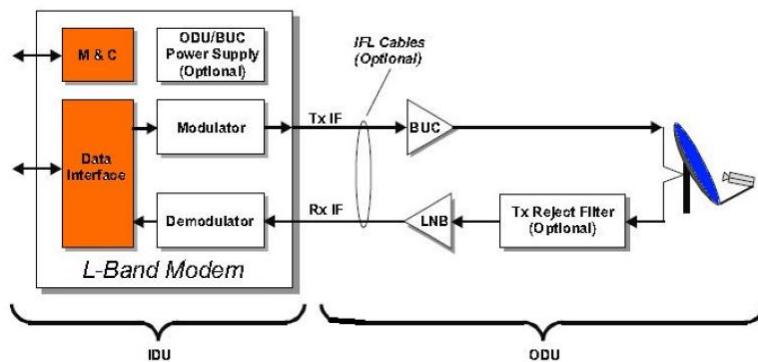


Figure II.13: Schéma global d'une station terrienne

Conclusion :

La communication par satellite, ou SATCOM en bref, est un service de voix et de données permettant à l'aéronef de communiquer avec le contrôle de la circulation aérienne, sa compagnie aérienne et le centre des opérations lorsque la couverture est à l'extérieur du radar sol conventionnel et les stations VHF.

Notre analyse a examiné les avantages du satellite dans les régions océaniques, Toutefois, les compagnies aériennes ont besoin d'un service sans contact terrestre et maritime.

Le système SATCOM est considéré comme un complément de communications terrestres des données air-sol, permettant une efficacité et capacité opérationnelles.

Introduction

Le contrôle aérien utilise des échanges de type phonie pour l'ensemble des procédures. Les compagnies aériennes ont cependant éprouvées le besoin d'échanges de données entre les avions et le sol afin d'automatiser certaines tâches de gestion (par exemple le suivi des phases de vol par la compagnie) et d'introduire de nouveaux services (principalement liés aux services météorologiques et à la maintenance avion).

La société ARINC a défini à la fin des années 1970 le système ACARS (Aircraft Communication Addressing and Reporting System). La couverture du système a été rapidement augmentée par un accord entre ARINC et SITA permettant l'échange de messages par les stations sol des deux sociétés.

III.1 Système ACARS

Le système ACARS est un système de communication et de surveillance par radio utilisé en aviation par les exploitants d'aéronefs, codées (selon la norme ARINC) entre un aéronef et une station au sol. Il permet :

- le contrôle automatique de l'état de l'avion en vol, envoyé vers le centre de maintenance de la compagnie aérienne propriétaire de l'avion.
- l'acheminement de communications opérationnelles et logistique.
- le service de maintenance sait bien avant l'arrivée de l'avion son état, ses pannes éventuelles et donc les interventions à effectuer.

Le sigle ACARS désigne le système complet qui inclut les équipements de bord, les infrastructures et équipements au sol et le fournisseur de service.

Les éléments embarqués sont des terminaux reliés à un routeur qui transmet les messages vers le sol. Au sol, un réseau d'émetteurs-récepteurs gérés par un ordinateur central dirige les messages vers le destinataire final tel que les organismes de contrôle aérien, les compagnies aériennes ou, dans le cas de l'aviation générale, vers un fournisseur de service.

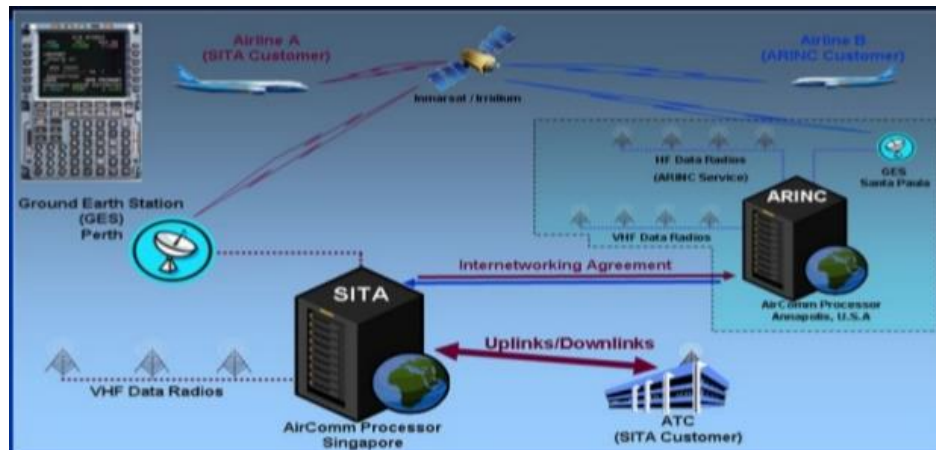


Figure III. 1: le système ACARS

En mars 2014, les messages ACARS et l'analyse Doppler des signaux de communication ont joué un rôle significatif dans la localisation potentielle de la zone de disparition du vol MH 370.

Le système ACARS s'est imposé comme un standard de fait pour la liaison de données.

Cependant, le réseau ACARS présente plusieurs inconvénients :

- une capacité faible.
- une conception ne permettant pas une interconnexion simple.
- des limitations dans les formats d'échange.
- Une absence de procédures d'authentification et de sécurité.

III.2 Réseau de télécommunications aéronautiques ATN

Dans les années 1980, l'OACI a défini un concept d'architecture de réseau de télécommunication robuste pour remplacer l'ACARS. Il s'agit du réseau de télécommunications aéronautiques ATN (Aeronautical Telecommunications Network).

L'ATN est une partie essentielle dans le système CNS/ATM et destinée à fournir plusieurs services de liaison de données pour les communications aéronautiques. La principale caractéristique de l'ATN est de reposer sur une architecture de type OSI (Open Systems Interconnection, norme ISO) ce qui permet d'augmenter de façon importante le domaine d'application. En particulier, l'ATN doit être utilisé pour le contrôle aérien ATC (Air Traffic Control).

L'ATN permet une intégration de tous types de liaisons de données : HF, VHF, radar secondaire Mode-S et satellite.

Le SATCOM (Satellite Communication) représente un moyen de communication à long terme. Il permet une couverture globale des services et une meilleure performance de transmission grâce à sa capacité disponible.

La solution opérationnelle proposée à l'heure actuelle par l'OACI pour le SATCOM est l'utilisation des satellites INMARSAT (International Maritime Satellite Organization) et ses supports pour le service mobile aéronautique par satellite (AMSS : Aeronautical Mobile Satellite Service).

III.3 Les services de communication ATM

Les services de communication ATM se composent principalement de deux grandes catégories comme le montre la figure ci-dessous.

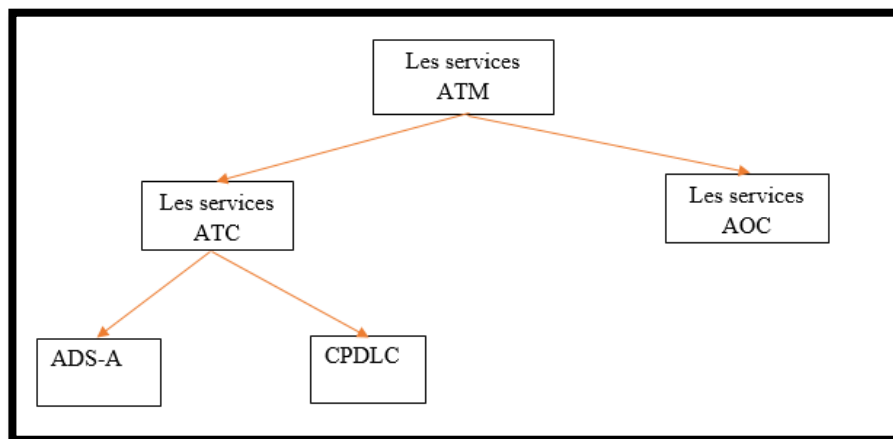


Figure III.2: les services ATM

III.3.1. Les services ATS (Air Traffic Services)

Les services ATS sont des services qui servent au contrôle de la circulation aérienne (ATC : Air Traffic Control). Ils sont utilisés pour empêcher les abordages entre avions, éviter les collisions entre les avions sur l'aire de manœuvre de l'aéroport et les obstacles, etc.

Les services ATS peuvent être supportés par plusieurs applications. Les deux types d'application data Link introduits dans le système FANS qui permettent les services ATS sont :

- **ADS-A**, également connu sous le nom d'ADS-C (Automatic Dependant Surveillance - Addressed/Contract) est une application utilisée pour surveiller automatiquement la position réelle de l'avion par des communications point à point. Suite à des requêtes envoyées par les contrôleurs appelées les « contrats », plusieurs informations comme la position avion, les intentions de vol, etc. sont récupérées depuis les calculateurs bord et sont envoyées à intervalles réguliers vers le sol. Par contre, à cause des durées de mises à jour pour les informations, l'ADS-C est généralement utilisé dans le cas où le radar classique n'est pas disponible (ex : régions océaniques).
- **CPDL** : C'est une application qui permet les communications entre les pilotes et les contrôleurs par un système de messagerie. Ces messages sont basés sur des textes courts, instantanés avec

certaines de commandes (ex : monter ou descendre a tel niveau). Les messages sont codifiés et envoyés avec des procédures de bouclage qui assure l'envoi et réception des messages.

L'utilisation du CPDLC permet de désencombrer les fréquences actuelles (ex : HF, VHF) pour les communications vocales.



Figure III. 3: Interface graphique de l'application CPDLC.

III.3.2 Les services AOC (Aeronautical Operational Control) :

Les services AOC sont dédiés aux compagnies aériennes et sont nécessaires à l'exercice de l'autorité sur le commencement, la continuation, le déroutement ou l'achèvement du vol pour des raisons de sécurité, de régularité et d'efficacité. Par exemple : le service WXGRAPH (Graphical Weather Information) permet d'envoyer des informations de météo à l'avion, ces informations sont affichées sous forme de graphique.

III.4. Les services de communications aux passagers :

Dans cette partie, nous nous intéressons aux services qui peuvent être fournis aux passagers pendant leur voyage, le choix repose sur les deux types de services qui sont les plus souvent demandés : la téléphonie mobile et l'accès à Internet.

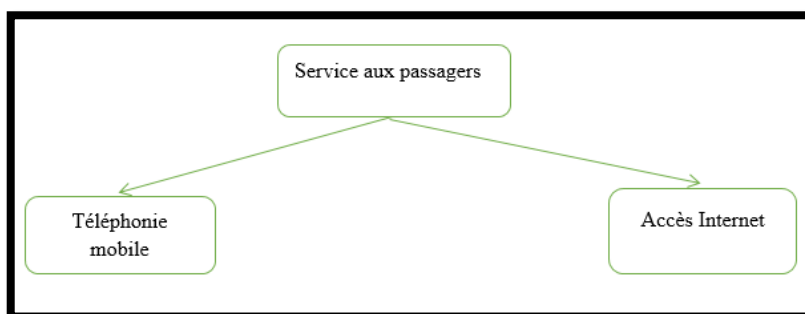


Figure III.4: les services pour passagers

III.4.1. Services pour téléphonie mobile

La téléphonie mobile a été introduite dans les années 80 pour sa première génération. Cette technique est basée sur la transmission radioélectrique dans une zone de quelques dizaines de kilomètres de rayon au maximum qui est gérée par un site cellulaire. Jusqu'à présent, l'évolution de la technologie des communications radio mobiles nous permet non seulement la communication vocale mais aussi des services supplémentaires, par exemple : la messagerie SMS (Short Message Service) pour le transfert des messages textuels courts ; la transmission des données par Internet ; la messagerie multimédia MMS (Multimedia Message Service) pour l'échange des photos, d'audio et de vidéo ; etc.

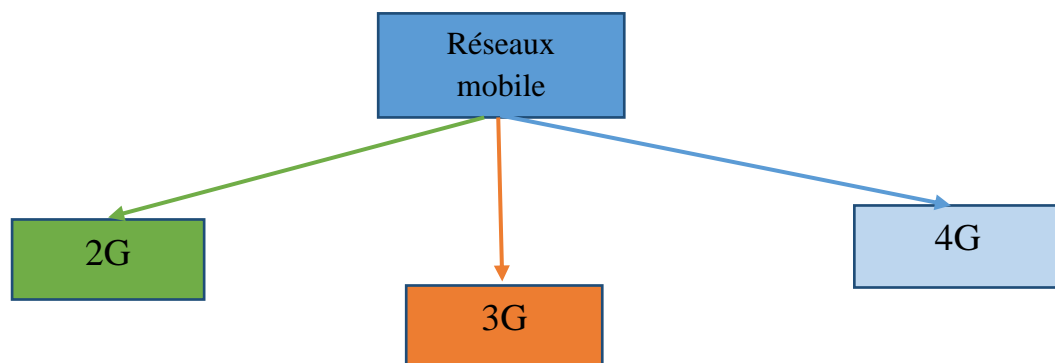


Figure III. 5: les réseaux mobiles

La première génération de la téléphonie mobile est en mode analogique. Elle a été complètement remplacée en 1990 par la seconde génération (2G par la suite) qui est actuellement largement déployée au niveau mondial. En Europe, la norme 2G est connue sous le nom de GSM (Global System for Mobile Communications). Le GSM utilise une technologie TDMA (méthode d'accès par multiplexage à répartition temporelle). En d'autres mots, le TDMA permet à différents utilisateurs de partager une bande de fréquence à des moments différents. Par rapport à la première génération, les avantages de la 2G sont :

- le terminal est plus petit.
- la capacité est augmentée.
- la qualité de la voix est améliorée.
- la sécurité est mieux assurée.

En général, la 2G est dédiée essentiellement aux services de base, c'est-à-dire le service vocal, des messages courts et la transmission de données avec un débit faible (9,6 Kbps maximum).

Pour répondre aux besoins de la transmission haute débit afin de permettre les services multimédia ainsi que l'accès à Internet, la troisième génération (3G par la suite) a été proposée. En Europe, la norme 3G utilisée s'appelle UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Elle est basée sur l'accès multiple de type W-CDMA (Wideband - Code Division Multiple Access) qui permet à plusieurs liaisons numériques de partager simultanément la même fréquence porteuse. Grâce à cette technologie, le débit offert peut atteindre jusqu'à 2 Mbps (débit maximal, mais 384 Kbps en général) ce qui donne la possibilité d'enrichir les services offerts (MMS, Internet, etc.).

III.4.1.1. Comparaison entre les différents réseaux mobiles :

La figure III. Suivante montre la différence entre les réseaux mobiles selon :

- la modulation
- le débit
- les services fournis

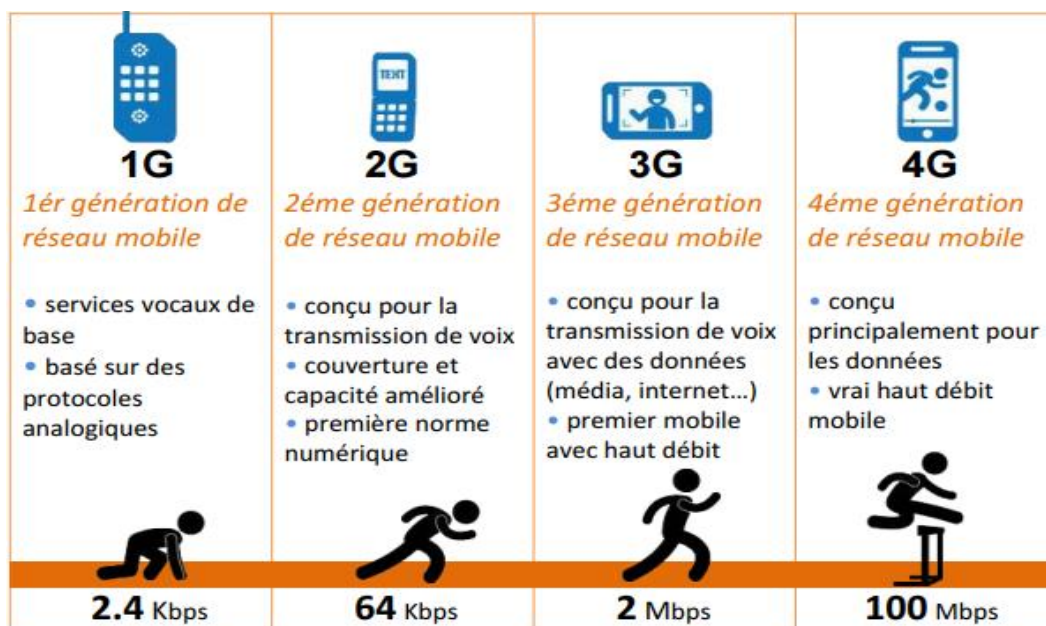


Figure III.6: comparaison des réseaux mobiles

III.4.1.2 Réseau GSM

Typiquement, le réseau GSM est composé de trois sous-ensembles :

- **Sous-système radio BSS**(Base Station Sub-system) : assure et gère les transmissions radios

- **Sous-système réseau NSS**(Network Station Sub-system) : comprend l'ensemble des fonctions nécessaires de commutation et de routage
- **Sous-système opérationnel OSS**(Operating Sub-System) : permet à l'opérateur d'exploiter son réseau.

La topologie du réseau GSM est simplifiée dans la Figure

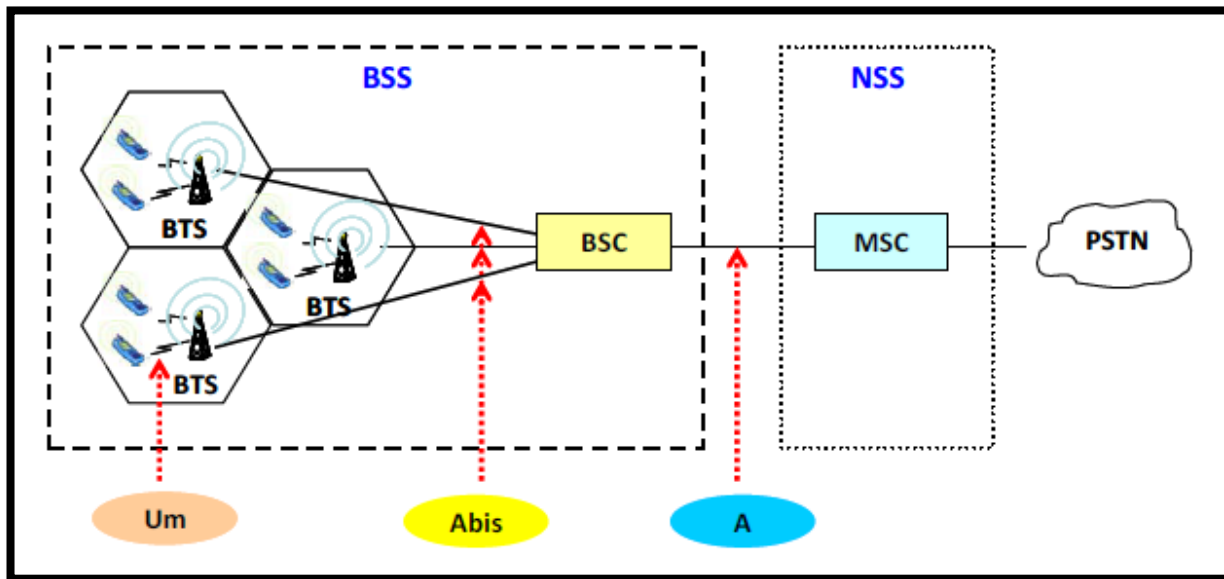


Figure III.7: Structure du réseau GSM simplifiée

Les composants principaux de cette structure du réseau GSM sont :

- **BTS** (Base Transceiver Station) : permet de communiquer avec les mobiles sur l'interface radio (interface Um). Elle est comme un émetteur-récepteur central pour chaque zone cellule qui comprend un ou plusieurs TRX (Transmission/Réception), chaque TRX peut supporter 8 communications simultanées.
- **BSC** (Base Station Controller) : permet de contrôler un ensemble de BTS sur l'interface Abis. Il prend en charge l'allocation de la ressource radio et la décision de l'activation/désactivation d'un canal vers un mobile. Le BSC s'occupe aussi de la gestion du «<<handover>>» quand le mobile passe d'une BTS à l'autre.
- **MSC** (Mobile Switching Center) : est un commutateur téléphonique qui permet de gérer les appels. Il multiplexe les trafics en provenance de plusieurs BSC sur l'interface A et les relie au réseau téléphonique commuté public (PSTN : Public Switched Telephone Network).

III.4.1.3 Réseau UMTS

Le réseau UMTS est composé de deux parties principales : le réseau d'accès (similaire au sous-système BSS dans le réseau GSM) et le réseau cœur. Comme un réseau GSM/GPRS, le réseau cœur de l'UMTS est composé de deux domaines : d'une part, le domaine de commutation de paquets (PS : Packet Switched) permet l'accès à Internet ; d'autre part, le domaine de commutation de circuits (CS : Circuit Switched), qui est très similaire à celui du NSS, le réseau GSM est utilisé principalement pour la téléphonie.

La topologie du réseau UMTS est montrée par la Figure.....

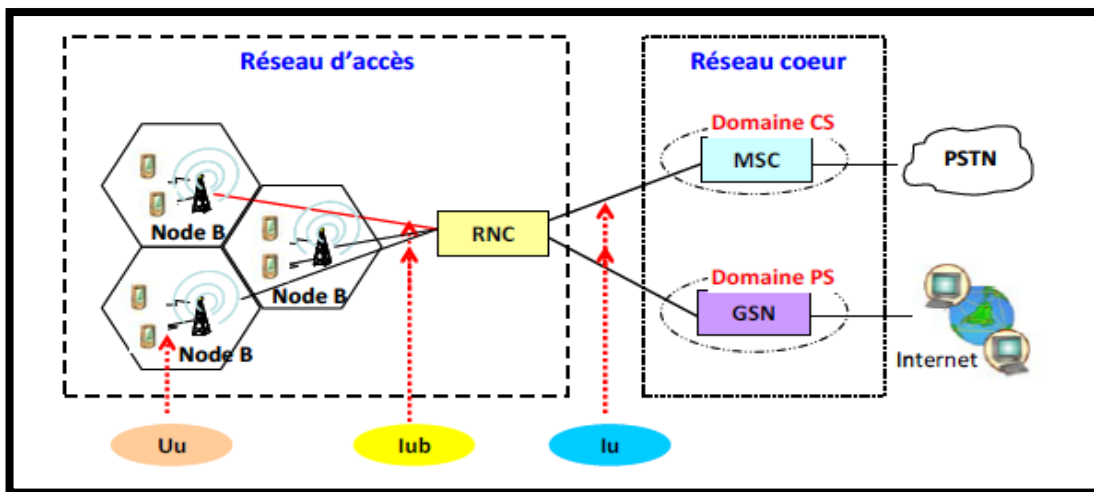


Figure III. 8 : Structure du réseau UMTS simplifiée

III.4.1.4 la liaison GSM/UMT par satellite

Dans le contexte de la communication téléphonie mobile via satellite, le lien peut être utilisé pour chaque segment du réseau GSM/UMTS montré précédemment, c'est-à-dire, chaque interface peut être employée comme liaison satellite.

La topologie GSM/UMTS par satellite est montrée par la Figure :

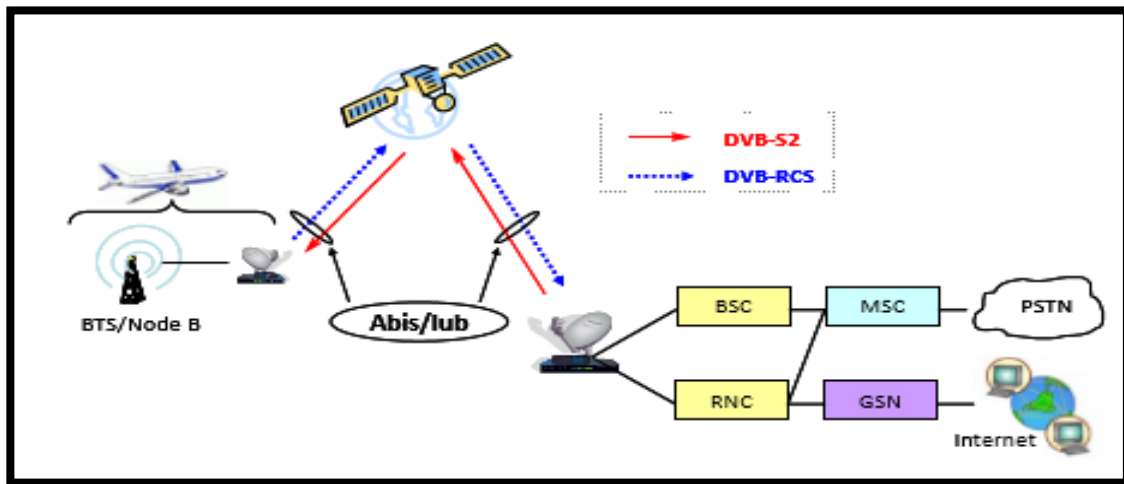


Figure III.9: la topologie GSM/UTMS par satellite

III.4.2 Services d'accès à Internet

Aujourd'hui, l'Internet permet au public de communiquer sur un réseau informatique mondial et il est devenu un élément important pour la vie professionnelle et quotidienne. De plus, pour les compagnies aériennes, l'Internet haut débit à bord représente un marché à la croissance prometteuse à la condition que les tarifs soient abordables. Aussi, les services envisagés dépendent fortement des besoins de passagers et des coûts liés aux techniques proposées.

Deux principaux services qui sont les plus utilisés par les «internauts» : le courrier électronique (Email) et le World Wide Web (WWW).

L'architecture générale d'un réseau est définie par l'ensemble des couches et les protocoles associés. Pour les services Internet, l'architecture de référence de réseaux est le modèle TCP/IP d'après le nom de deux protocoles majeurs : le protocole de transport TCP (Transmission Control Protocol) et le protocole réseau IP (Internet Protocol). Par rapport au modèle de référence OSI (en 7 couches), TCP/IP (en 4 couches) offre les avantages suivants :

- L'implémentation du TCP/IP est moins complexe
- La normalisation est plus libre
- La technologie TCP/IP est plus optimisée et efficace pour assurer l'interconnexion de systèmes hétérogènes
- TCP/IP est un modèle largement utilisé au niveau mondial

Le modèle TCP/IP illustré dans la Figure III.10 est basé sur le modèle de référence OSI mais adapté à l'implémentation de l'Internet.

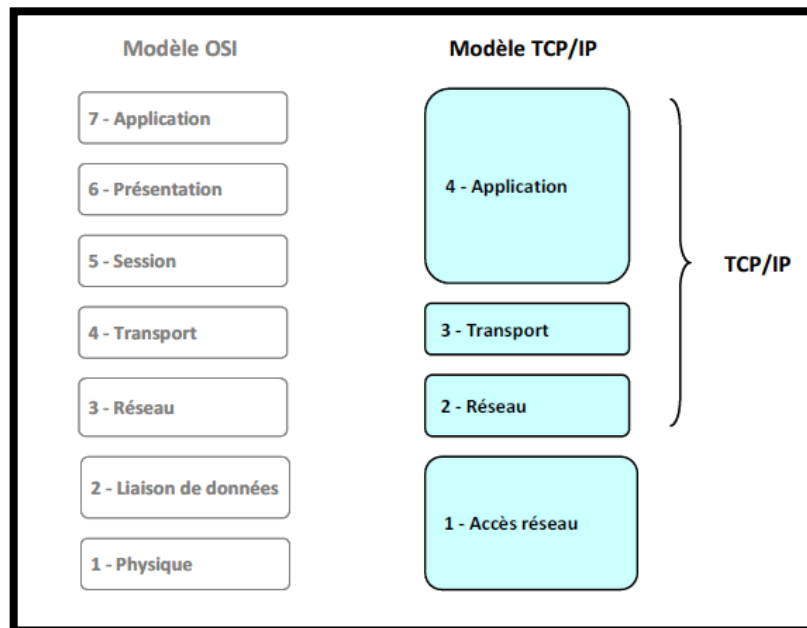


Figure III.10: Model TCP/IP

Dans le modèle TCP/IP, la couche Application qui se situe tout en haut du modèle TCP/IP correspond aux trois couches supérieures du modèle OSI : Application, Présentation et Session. Cette couche contient tous les protocoles de haut niveau, comme par exemple HTTP (HyperText Transfer Protocol), FTP (File Transfer Protocol) et SMTP (Simple Mail Transfer Protocol). Le choix du protocole de la couche Application définit quel protocole de Transport doit être utilisé. A la réception des données, les protocoles de Transport déterminent à quelle Application le paquet doit être délivré.

- **La couche Transport** du modèle TCP/IP joue le même rôle que celui de modèle OSI, c'est-à-dire, gérer les communications de bout en bout entre des entités. La couche Transport utilise deux protocoles principaux : TCP (Transmission Control Protocol) et UDP (User Datagram Protocol). TCP est un protocole fiable orienté connexion qui permet des transmissions de paquets sans erreurs. UDP est un protocole plus simple mais non fiable. UDP est souvent utilisé dans les cas où la rapidité de transmission est nécessaire et que la perte de données n'est pas trop gênante.
- **La couche Réseau** est la couche essentielle dans l'architecture TCP/IP, elle permet d'acheminer des paquets de données (appelés datagrammes) dans le réseau en mode non connecté.
- **La couche accès réseau** peut être considérée comme la « combinaison » des couches Physique et Liaison de données du modèle OSI. Cette couche sous-réseau correspond à l'infrastructure de communication limitée à la couche liaison de données (par exemple : LAN, satellite, etc.) et ne fait pas partie de TCP/IP.

Une illustration de l'architecture IP via satellite basée sur la norme [ETSI 301 790] est décrite dans la Figure III.11

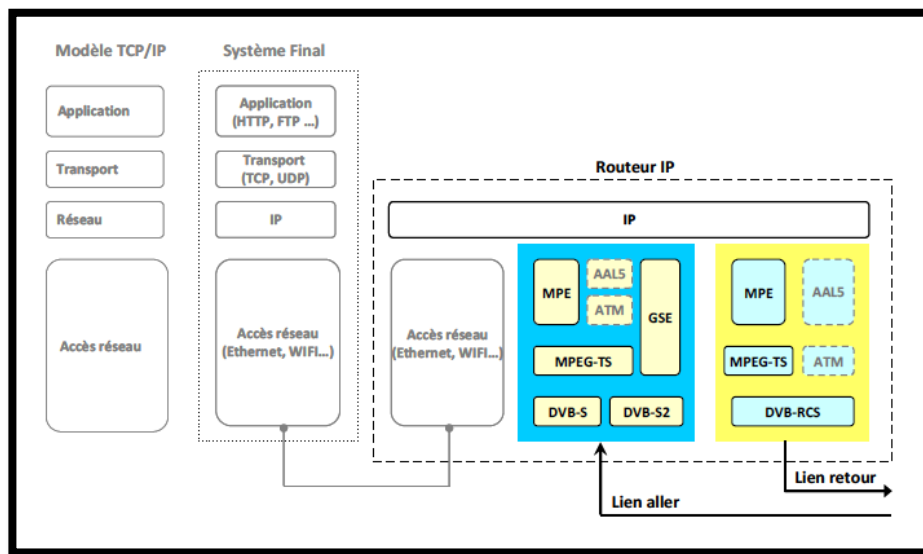


Figure III.11: Pile protocolaire du système IP via satellite.

III.5. Convergence des trafics sur la liaison satellite

La fonction essentielle pour introduire la liaison satellite dans une architecture réseau est d'adapter les paquets de données (par exemple : CLNP, TRAU, IP...) au format de données DVB.

Le projet DVB (Digital Video Broadcasting) a été introduit en 1993. L'objectif est de créer une plateforme européenne commune pour toutes les spécifications et les normes pour la diffusion de télévision numérique. Le système DVB permet de transmettre des données en utilisant plusieurs supports de diffusion : câble (C) ; satellite (S) ; transmission terrestre (T) ou son adaptation pour les récepteurs portables (H). Les normes correspondantes définissent les spécifications des niveaux liaison de données et physique du système diffusion. Dans cette étude, nous nous intéressons au type de diffusion par satellite DVB-S.

Le système DVB-S utilise une modulation sur 4 phases (QPSK : Quadrature Phase Shift Keying) et une correction d'erreur directe "Convolutional / ReedSolomon" qui permettent d'avoir une transmission efficace à faible rapport signal à bruit.

La norme DVB-S a ensuite évolué vers une solution bidirectionnelle pour satisfaire la demande croissante en services interactifs.

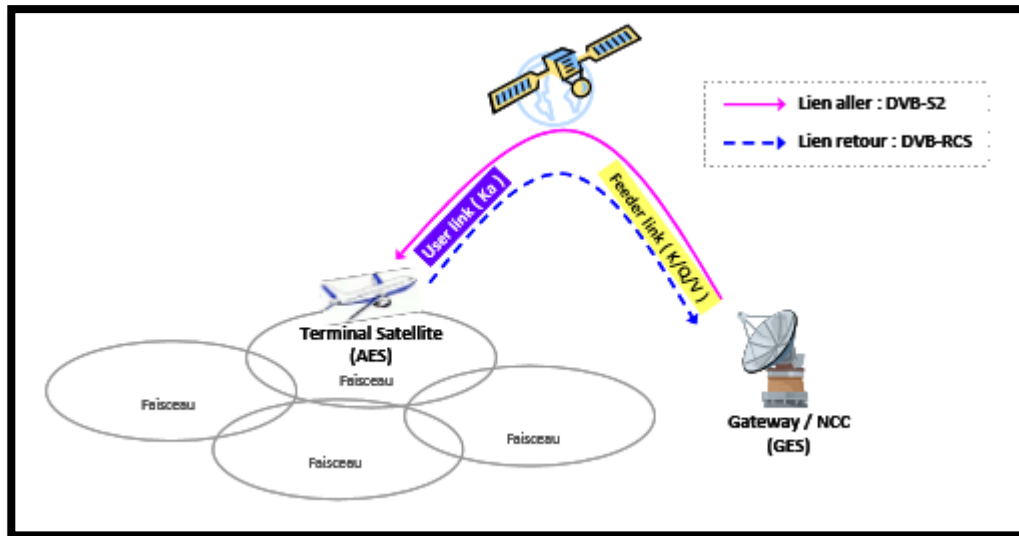


Figure III. 12: réseau d'accès DVB-S2/DVB-RCS

➤ Lien aller DVB-S2

Pour le lien aller DVB-S2, le transport des données peut se faire à travers le flux de transport MPEG-TS [ETSI 301 192]. Plus précisément, les trafics sont multiplexés en encapsulant les paquets dans les trames MPEG de taille fixe (188 octets) dont la séquence forme un flux de transport MPEG-TS.

➤ Lien retour DVB-RCS :

Sur le lien retour, l'accès au canal satellite est en mode partage entre plusieurs terminaux reposant sur la technique MF-TDMA, des bursts de trafic de la super-trame MF-TDMA sont basés soit sur des cellules ATM soit sur des paquets MPEG-TS.

Méthodes d'encapsulation :

Avant de présenter différentes méthodes d'encapsulation, nous distinguons tout d'abord les termes utilisés pour décrire le type de paquet traité à chaque niveau du réseau pendant l'encapsulation.

Nom	Niveau	Exemple
PDU (Protocol Data Units) ou Datagramme	Couche réseau	IP, CLNP
SNDU (SubNetwork Data Unit)	Couche d'adaptation	Paquet encapsulé MPE
Trame	Couche de liaison	ATM, MPEG

Tableau III.1: les types de paquet

III.5. Méthode d'encapsulation sur le flux générique

❖ GSE (Generic Stream Encapsulation) :

Les caractéristiques principales de cette méthode d'encapsulation sont :

- permettre l'encapsulation pour plusieurs protocoles de la couche réseau (IP, Ethernet, ATM, etc.)
- être flexible pour appliquer les techniques FMT (ex : ACM) dans la deuxième génération du système DVB
- supporter plusieurs modes d'adressage : sans/avec l'adresse MAC (6 octets), adresse de 3 octets (ex : 1 octet group ID et 2 octets logon ID dans le DVB-RCS, serial number dans IPoS)
- permettre le filtrage par l'adresse IP.
- proposer une mise en œuvre simple

Le principe de la méthode GSE est d'encapsuler les PDUs dans les paquets de la couche 2 (SNDU GSE) de taille variable qui peuvent être directement placés dans la charge utile 'Base Band Frame' (BB FRAME) de la couche physique :

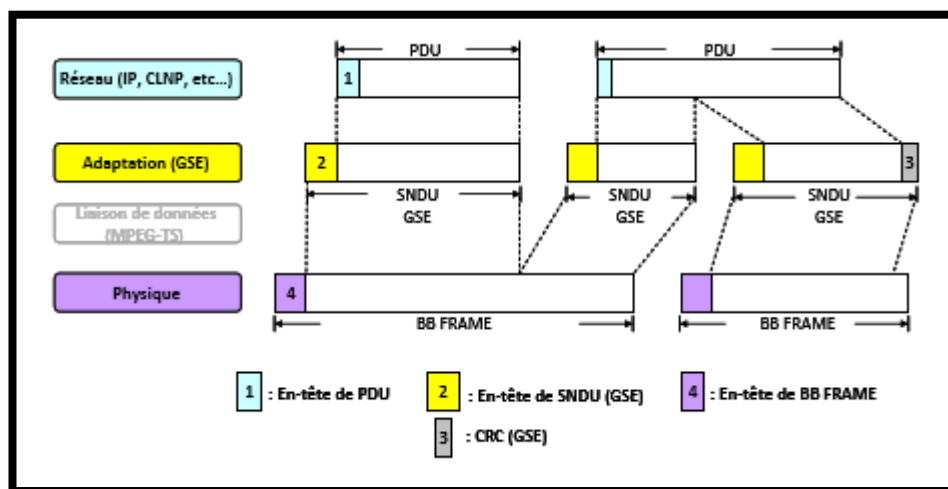


Figure III.13: Encapsulation GSE.

III.6 Méthode d'encapsulation sur le flux de transport MPEG

❖ MPE (Multi Protocol Encapsulation) :

Les caractéristiques principales de cette méthode d'encapsulation sont :

- MPE peut être utilisée dans des applications au-delà du DVB, par exemple la norme américaine ATSC (Advanced Television Standards Committee).

- MPE fournit un mécanisme d'encapsulation des paquets PDUs au-dessus de MPEG -TS.
- Il peut être appliqué dans le cas de flux unicast (les datagrammes sont adressés à un récepteur unique) ; multicast (les datagrammes sont adressés à un groupe des récepteurs) et broadcast - diffusion (les datagrammes sont destinés à tous les récepteurs).

Le principe de cette méthode d'encapsulation est illustré par la Figure :

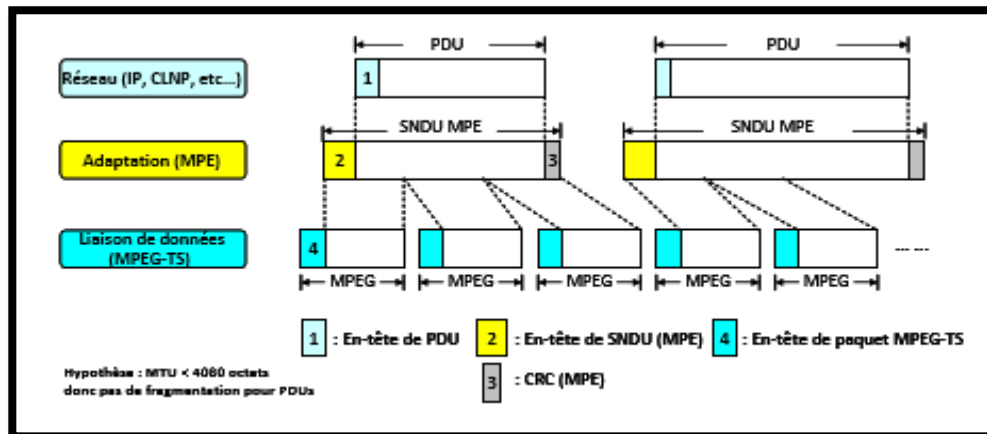


Figure III.14: Encapsulation MPE

III.7 Qualité de service requise

Le terme de qualité de service a une signification spécifique dans le monde de communication réseaux mobiles. Il se rapporte à la rentabilité et à la fiabilité du réseau et de ses services. Les exigences de performance des services multimédia sont définies par les différents groupes de normalisation comme ITU, ETSI et 3GPP. Dans ces recommandations, les paramètres utilisés pour évaluer les performances sont précises. Les limites de ces critères sont exprimées d'une manière générique et indépendamment de la technique retenue.

VIII.1. Le matériel :

La qualité de service se réalise au niveau de la couche 3 du modèle OSI. Elle doit donc être configurée sur les routeurs ou la passerelle reliée à Internet.

VIII.2 Les critères du QOS :

Les paramètres principaux sont généralement utilisés pour caractériser la qualité des services:

- **Débit** (*bandwidth*), parfois appelé *bande passante* par abus de langage, il définit le volume maximal d'information (bits) par unité de temps.

- **Gigue** (en anglais *jitter*) : elle représente la fluctuation du signal numérique, dans le temps ou en phase.
- **Latence, délai ou temps de réponse** (en anglais *delay*) : elle caractérise le retard entre l'émission et la réception d'un paquet.
- **Perte de paquet** (en anglais *packet loss*): elle correspond à la non-délivrance d'un paquet de données, la plupart du temps due à un encombrement du réseau.
- **Déséquencement** (en anglais *desequencing*) : il s'agit d'une modification de l'ordre d'arrivée des paquets.

VIII.3. Classes de services

- **Vidéo** : La classe de service pour le transport de la vidéo possède un niveau de priorité plus élevé que les classes de service de données.
- **Voix** : La classe de service pour le transport de la voix possède un niveau de priorité équivalent à celui de la vidéo, c'est-à-dire plus élevé que les classes de service de données.
- **Données très prioritaires (D1)** : Il s'agit de la classe de service possédant le plus haut niveau de priorité pour les données. Elle sert notamment aux applications ayant des besoins critiques en termes de performance, de disponibilité et de bande passante.
- **Données prioritaires (D2)** : Cette classe de service correspond à des applications non critiques possédant des exigences particulières en termes de bande passante,
- **Données non prioritaires (D3)** : représentant la classe de service la moins prioritaire.

VIII.4. Niveaux de services :

Le « **niveau de service** » définit le niveau d'exigence pour la capacité d'un réseau à fournir un service point à point ou de bout en bout avec un trafic donné. On définit généralement trois niveaux de QoS :

- **Meilleur effort** : ne fournissant aucune différenciation entre plusieurs flux réseaux et ne permettant aucune garantie. Ce niveau de service est ainsi parfois appelé *lack of QoS*.
- **Service différencié** : permettant de définir des niveaux de priorité aux différents flux réseau sans toutefois fournir une garantie stricte.
- **Service garanti** : consistant à réserver des ressources réseau pour certains types de flux. Le principal mécanisme utilisé pour obtenir un tel niveau de service est RSVP (*Resource reservation Protocol*, traduisez *Protocole de réservation de ressources*).

La qualité de service sur internet

L'internet étant un ensemble de réseaux interconnectés d'architectures et de performances variables, les paramètres de QOS dépendent de l'ensemble des maillons traversés pour atteindre un destinataire. Elle désigne la capacité du réseau à offrir des garanties sur différents paramètres de leur transmission : débit, délai de transmission (latence), variation du délai de transmission (gigue) et taux d'erreur, détaillés dans le tableau ci-après. Les valeurs nécessaires au bon fonctionnement de la téléphonie sur IP (ToIP), une application sensible au délai mais ne nécessitant pas un débit très élevé, sont données à titre comparatif.

Paramètre	Définition	Facteurs	Valeurs usuelles	Applications sensibles (exemples)	Valeurs ToIP
Débit	Quantité de données transmises pendant une unité de temps	Capacité du support physique ; vitesse moyenne des équipements actifs	Du kbit/s au Gbit/s	Téléchargement de fichiers, transmission vidéo...	< 100 kbit/s
Délai de transmission (latence)	Temps nécessaire à la traversée du réseau	Encombrement du support physique ; vitesse instantanée des équipements actifs	Quelques dizaines de ms	Téléphonie, jeu en ligne...	< 150 à 300ms
Variation du délai (gigue)	Écart entre les délais de transmission des différents paquets consécutifs	Variation temporelle de l'encombrement du réseau ; différence des chemins parcourus par des paquets consécutifs	De quelques ms à quelques dizaines de ms	Téléphonie, vidéo en streaming...	< 15 ms
Taux d'erreur	Pourcentage de paquets de données perdus/altérés sur le total de paquets envoyés	Saturation des équipements actifs ; niveau d'atténuation et saturation du support physique	Quelques pourcents	Téléphonie, télévision, jeu en ligne...	< 5%

Tableau III.2: le QoS sur internet

Remarque : Sur l'internet, la qualité de service, au sens technique, s'observe au niveau des paquets de données transportés.

Conclusion :

Les communications aéronautiques pour les passagers ne sont pas soumises aux mêmes exigences de disponibilité, d'intégrité et de continuité que les communications du contrôle aérien car elles n'impactent pas la sûreté de l'avion. Le développement de nouveaux moyens de communication est donc simplifié et il existe un grand nombre de solutions pour les compagnies aériennes. Nous allons voir dans le chapitre suivant l'une des solutions proposées par ATS (Algérie Télécom Satellite) pour les compagnies aériennes algérienne.

Introduction :

L'introduction de nouveaux services pour les passagers à bord des avions civils est un besoin clairement identifié. En effet, le fait de pouvoir se connecter à Internet depuis un avion est une demande de plus en plus forte de la part des passagers et des compagnies.

L'homme d'affaire pourra ainsi consulter ses mails, suivre le cours de la bourse, faire une visioconférence, ...

Le touriste pourra consulter l'actualité, la météo de sa destination, faire de la messagerie instantanée avec ses amis, ou encore regarder une vidéo en streaming pour se détendre pendant le vol. C'est pourquoi de nombreuses compagnies et de nombreux équipementiers aéronautiques recherchent actuellement des moyens de fournir de tels services aux passagers.

IV.1 le VSAT

ALGERIE TELECOM SATELLITE propose pour les compagnies aériennes une solution VSAT i-Direct satellitaire basée sur la technologie VSAT (Very Small Aperture Terminal) qui permet une interconnexion à haut débit entre plusieurs sites localisés en zones isolées ou en zones démunies d'infrastructures de télécommunication au sol.

Le VSAT, en utilisant les technologies SCPC, DVB-RCS, et le iDirect offre une multitude de services tels que :

- Intranet.
- Extranet.
- Internet.
- Visioconférence.

ATS propose un service large bande, économique et adapté aux besoins des entreprises.

IV.1.1. LE DVB-S2/SCPC (DVB-S2 SCPC)

Le DVB-S2/SCPC est une excellente technologie pour les liens internet par satellite à débit 100% garantis. La fourniture d'internet par satellite existe depuis de nombreuses années.

Le nouveau standard, DVB-S2, apporte des possibilités pour améliorer les performances des réseaux IP par satellite.

Des fonctions avancées de correction d'erreur de réception de paquets IP sont disponibles sur le DVB-S2 SCPC, ce qui permet une augmentation de la bande passante disponible.

Ainsi, un transpondeur classique peut maintenant offrir des bandes passantes supérieures à 100Mbps EN DVB-S2 SCPC contre 40Mbps auparavant.

Les formes de modulation deviennent plus sophistiquées avec le DVB-S2. Le support du VCM et de l'ACM nous donnent des outils pour optimiser l'utilisation du segment spatial:

- le VCM permet d'optimiser une connexion Internet par satellite en bande C en assignant différents FEC à différents VSAT en fonction de leur position sur la zone de couverture du satellite
- l'ACM permet d'optimiser une connexion Internet par satellite en bande Ku en définissant dynamiquement le MODCO par VSAT.
- l'encapsulation IP dans du MPEG-TS a été optimisée par l'introduction du Generic Streams qui apporte une efficacité renforcée quand il est utilisé sur des connexions Internet par satellite DVB-S2.

DVB-S2/SCPC signifie que la technologie utilisée en réception est le DVB-S2 et que la technologie utilisée en émission est le SCPC, la bande passante de ce type de service est 100% garantie.

IV.1.1.1 Les avantages

- prix de la bande passante inférieur au SCPC/SCPC traditionnel
- excellentes performances de la réception grâce aux nombreuses améliorations apportées par le DVB-S2

- meilleure disponibilité des liens en bande Ku par temps de pluie grâce à l'ACM (Adaptive Coding Modulation) présent dans le DVB-S2

IV.1.1.2 Les inconvénients

- disponible uniquement en bande passante 100% garantie et donc assez haut de gamme
- le prix des modems peut être assez conséquent en fonction de leurs performances même si nous proposons des modems tout en un dans certains de nos services
- la latence d'un lien Internet par satellite DVB-S2/SCPC est moins stable que sur un lien SCPC/SCPC car les optimisations réalisées peuvent faire varier la latence.

IV.1.1.3 Plateforme DVB RCS

Le choix entre le service dédié et le service partagé ont plusieurs formules pour les débits montants et descendants de chaque service, et a plusieurs avantages tels que :

- Couverture de zones isolées.
- Progression rapide quelles que soient la distance et la difficulté d'accès.
- Application temporaire en cas de d'évènements spécifiques.
- Déploiement à faible coût.
- Regroupement de différents services sur les mêmes liens avec partage dynamique de la bande passante.
- Coûts avantageux d'infrastructure pour les zones à faible trafic
 - La norme DVB-RCS (Digital Vidéo Broadcast- Return Channel System), soutenue par l'Européen Télécommunications Institut (ETSI), autorise un service d'accès large bande à travers le satellite.
 - Cette norme décrit comment le trafic bidirectionnel des données devrait être transmis via satellite. Suivant le DVB-RCS, le terminal satellite du client peut recevoir une transmission standard de DVB envoyée par la station satellite maîtresse (HUB).
 - La norme permet de transporter le protocole IP mais prend en compte également de nombreux protocoles de routage (RIP, IGMP) et de transport (RTP, UDP, TCP).
 - La transmission depuis l'installation client vers cette même station peut également être envoyée via la même antenne. La technologie de transmission utilise la technique de traitement de signal MF-TDMA (Multi-Frequency Time

Division Multiple Access), ce qui permet de partager la capacité du lien entre différents sites clients.

- La communication se fait entre le terminal (S.I.T) et la station centrale (HUB) dans les 2 sens avec : Une voie descendante (du HUB vers le terminal) >>> Up to 45M
- Une voie de retour (du SIT vers le HUB) >>> Up to 2

La plateforme DVB-RCS a été installée et mise en service à LAKHDARIA,

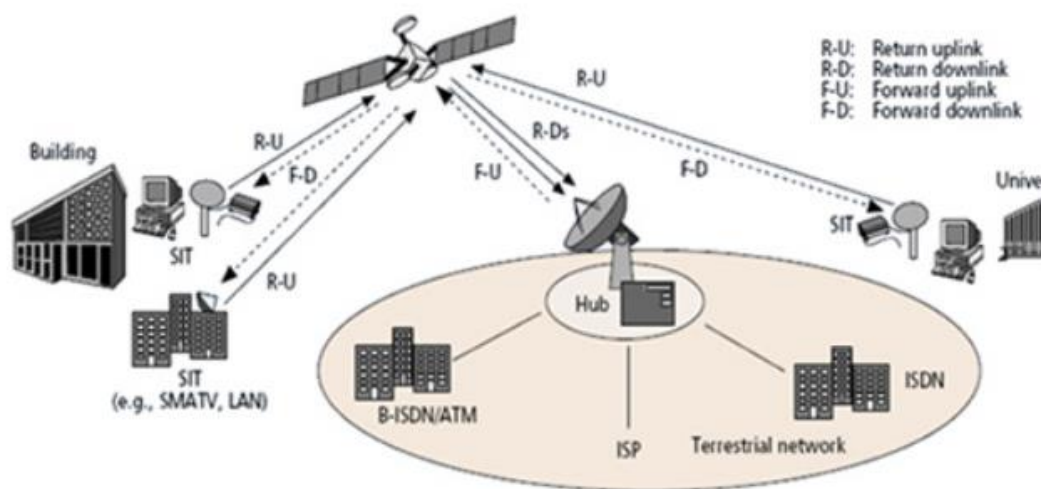


Figure IV.1: la plateforme DVB-RCS

IV.1.1.4 Caractéristique:

Cette technique compte plusieurs caractéristiques et on dénombre :

- Standard.
- Bande passante à la demande.
- Utilise un seul satellite.
- Modulaire: possibilité d'intégrer d'autres équipements.
- Extensible: supporte jusqu'à 2000 terminaux par HUB.
- Management.
- Fonctions avancées: types d'utilisateurs, profiles de trafic, QoS.
- Avantages
 - Vitesse Up 45Mbps en voie descendante et 2 Mbps en voie de retour.
 - Routing.

- Multiples Sous-réseaux.
- Firewall.
- Web Cache.
- Interface de gestion.
- Gestion de la bande passante.
- Serveur FTP.
- Serveur DHCP.
- Serveur/client VPN.

IV.2 Vsat i-Direct

Avec une couverture géographique étendue, la solution VSAT i-Direct proposée par ALGERIE TELECOM SATELLITE vous offre une connexion à large bande, fiable et sécurisée quel que soit l'emplacement et sans égard à l'infrastructure terrestre. Cette solution assure la connectivité nécessaire à des services IP de transmission des données, de téléphonie IP (VoIP) et de connectivité Internet. Ce réseau VSAT peut assurer la transmission de données à des vitesses allant de 64 kbps à 20 Mbps, depuis un site éloigné, et jusqu'à 150 Mbps en provenance du HUB vers les sites éloignés.

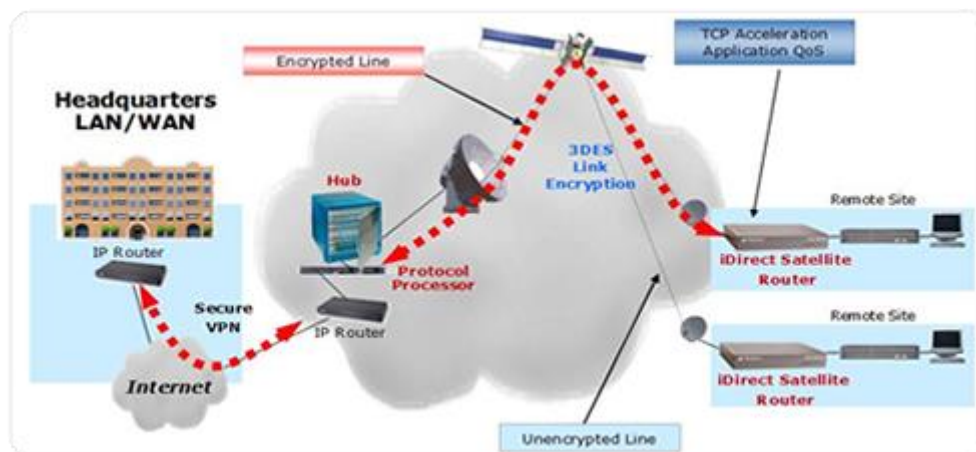


Figure IV.2: la technologie VSAT iDirect

IV.2.1 Caractéristiques

La technologie VSAT iDirect compte plusieurs caractéristiques et on dénombre

- Support des applications d'entreprise
 - Qualité de Service (QoS) au niveau applicatif et système.
 - Débit de retour le plus élevé (jusqu'à 4.2 Mbps).

- Sécurité intégrée (3DES/AES).
- Gestion de trafic en temps réel (VoIP, Vidéo).
- Supporte les bandes radio C, Ku et Ka
- Flexibilité de configuration inégalée
 - Accès à des satellites multiples (05) à partir du même hub.
 - Supporte des milliers de sites distants.
 - Réseau privé réel.
 - Routeur satellite intégrant 5 fonctions.
- Utilisation plus efficace de la capacité transpondeuse
 - Économise 30-50% du segment spatial.
 - Turbo Product Codes et retour adaptif.
 - Optimisation de la bande passante avec le mode TDMA ou DVB-S



Figure IV.3: model de Hub

IV.2.2 Avantages

- Performance des applications
 - Supporte toutes vos applications autour d'IP (même les applications d'entreprise en temps réel).
- Extensibilité
 - Configuration et gestion des réseaux de 128 Kbps à 18 Mbps.
- Disponibilité de réseau important :
 - Assure l'accès continu au réseau à vos utilisateurs.
 - Augmente le nombre de stations VSAT pour la même capacité satellitaire.
- Flexibilité
 - Supporte de multiples topologies de réseaux à partir de la même plate-forme.

- Gestion centralisée de la Solution
- La solution iDirect intégrée et compacte fournit le transport et la gestion du trafic IP les plus avancés

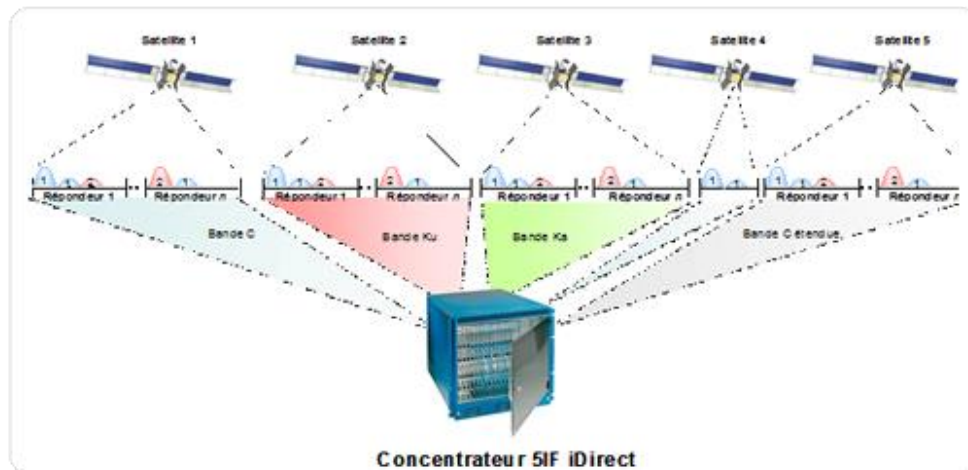


Figure IV.4: transport de la gestion du trafic IP

IV.3 Le iDirect :

Le iDirect est une entreprise qui est :

- Le leader en mobilité.
- Le plus grand fabricant mondial de TDMA VSAT – 32% de part de marché (Comsys 13ème édition).

Plus de 50% des terminaux VSAT maritimes installés sont fabriqués par iDirect.

Plus de 1 000 avions volent avec la technologie iDirect à bord.

IV.3.1. Qu'est-ce qu'elle fait ?

- Développe la première grande infrastructure terrestre HTS de l'industrie pour les services d'entreprise et de mobilité, Global Xpress®, d'Inmarsat.
- Ouvre la voie à de nouvelles applications de mobilité grâce à un terminal d'antenne à panneau plat révolutionnaire.
- Favorise la collaboration de l'industrie pour l'intégration des satellites et de la 5G grâce à la participation à des groupes de travail de l'industrie.
- Atteint une étape importante dans l'intégration du satellite avec 5G.
- Fournir la technologie pour permettre à nos partenaires d'optimiser leurs réseaux, différencier et développer leurs activités de manière rentable.

IV.3.2. Tendances et applications :

IV.3.2.1 Connectivité satellite

La couverture du réseau satellite est nationale, et même mondiale. En d'autres termes, il est possible de profiter d'une connexion internet à peu près partout en Algérie, mais aussi dans le monde. Le simple fait que la connexion passe par des satellites suffit à expliquer cela. Ceux-ci sont reliés entre eux et couvrent la planète. Donc, même au milieu de l'océan, il est possible d'en profiter.

La solution est intéressante malgré quelques faiblesses. Ces dernières concernent le débit et le temps de latence. La latence peut être importante. Toutefois, avec une connexion internet par satellite, il est possible d'avoir internet là où les connexions passant par un câble ne peuvent aller. Qui plus est, le point de réception peut parfaitement être mobile. Tant que ce dernier reste dans le champ de couverture du réseau satellitaire employé, la connexion est maintenue. Il faut également que la parabole utilisée reste bien calibrée, ce qui n'est pas toujours évident. Par ailleurs, cette solution est encore, à l'heure actuelle, le seul moyen de couvrir l'ensemble du territoire avec une connexion.

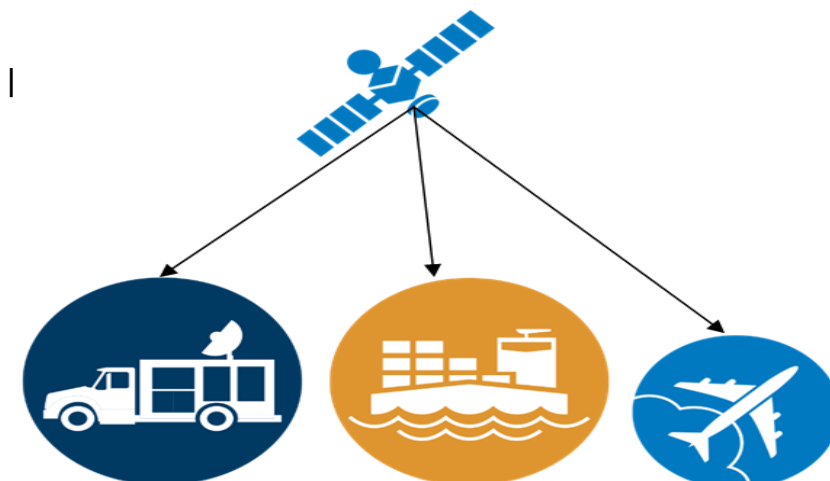


Figure IV. 5: les applications de la connexion par satellite

Dans le tableau ci-après on présente les trois domaines d'application de la connexion internet :

Sur le terrain	En mer	Dans l'air
<ul style="list-style-type: none">• Emplacements ruraux village, propriétés isolées• Sites industriels éloignés• mines, plates-formes de forage,• Trains• Réseaux d'accueil des	<ul style="list-style-type: none">• Croisière• Navires marchands• Pêche	<ul style="list-style-type: none">• SFI• Jets d'affaire

Tableau IV.1 : les domaines d'application de l'internet par satellite

IV.4. Profil du marché :

IV.4.1 Aéro commercial

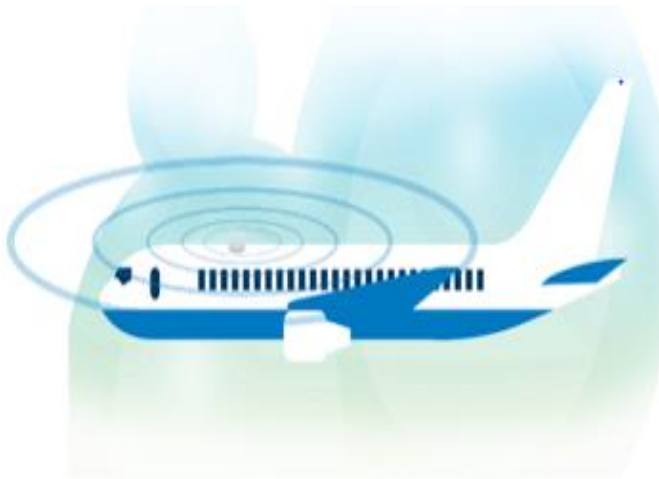


Figure IV.6 Avion équipé du SATCOM

- Les grandes compagnies aériennes adoptent VSAT pour offrir un service à large bande en vol et améliorer les opérations à bord ainsi que les services dans le poste de pilotage et les solutions pour l'équipage.
- Les jets à large corps atteindront 87 % de pénétration VSAT d'ici 2023, tandis que le corps étroit en verra 34 %. (NSR).
- Près de 115 000 cellules peuvent être équipées d'un satellite équivalant à environ 23 000 avions commerciaux. (NSR)
- Pour le service global **SATCOM** dominera car ATG a une portée limitée et des défis de spectre sur le marché de l'aéronautique commerciale.



Figure IV.7: service d'internet dans l'aéronautique

IV.4.2 Exécuter les décisions

Les commandants en vol effectuent la planification de la mission et savent ce qui se passe en

tout temps grâce à la vidéoconférence, à la connexion téléphonique et aux données.

Recueillir des renseignements

Volet en haute définition du renseignement, de la surveillance et de la reconnaissance (RSR)

Vidéo sur les forces au sol, ou retour à d'autres emplacements de commandement

Prêts à passer à l'action

Le commandement, le contrôle et les communications tactiques tiennent tout le monde informé et prêt à intervenir

IV.5. Connecté à 10 000 mètres - le wifi fonctionne t-il pour les avions?

- Unité LAN sans fil dans la cabine

Dans l'avion, il y a deux points d'accès et quatre ensembles d'antennes. Ainsi, chaque point d'accès possède deux antennes, une pour 2,4 et une pour 5 GHz, et est alimenté avec trois câbles coaxiaux, dans un système MIMO.

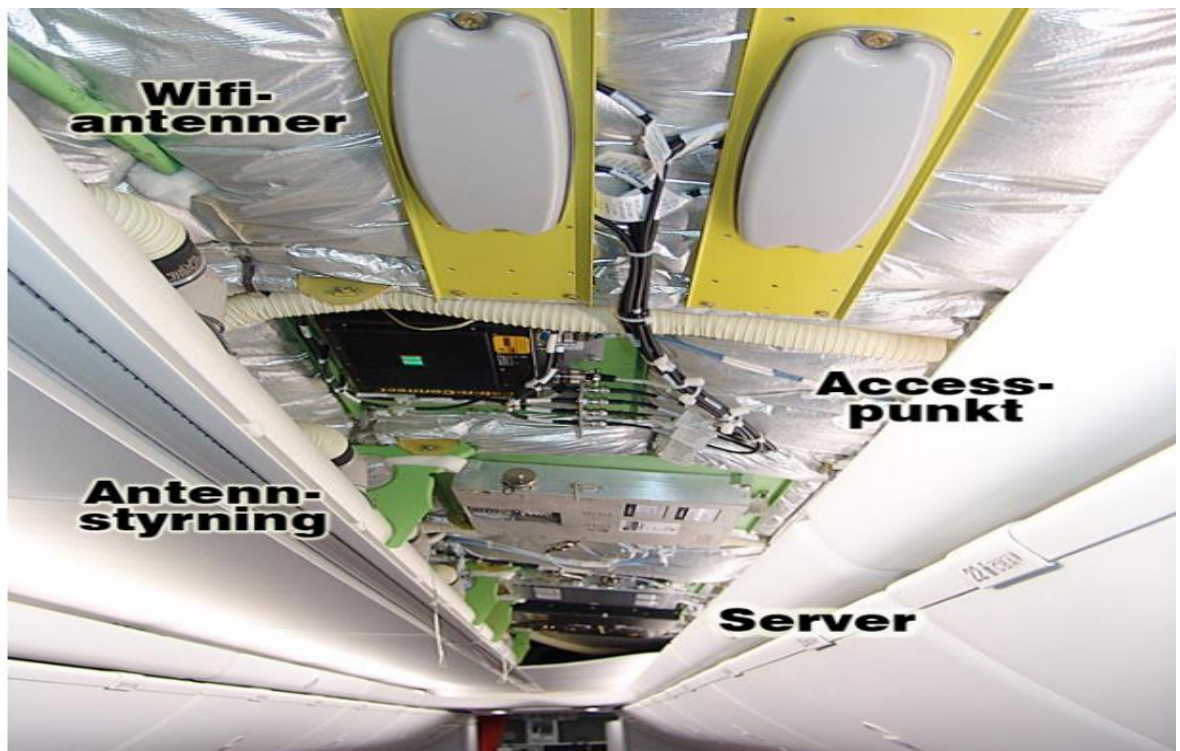


Figure IV.8 : L'installation des antennes WIFI

➤ Dans le cockpit

Il appartient au pilote de décider quand les passagers doivent utiliser Internet à bord. Il existe deux commutateurs sur un sous-panneau pour le panneau supérieur des pilotes dans le cockpit, appelé Panneau de configuration du poste de pilotage (FDCP). Là, le pilote peut simplement éteindre ou allumer le système réseau (POWER) et éteindre le SSID du passager (LAN SANS FIL). Normalement, le pilote n'arrête le système que pendant le dégivrage afin d'éviter d'irradier le personnel. Le wifi du passager s'arrête automatiquement en dessous de 10 000 pieds.



Figure IV.9 : panneau de configuration du poste pilotage

IV.6. Assemblage d'antenne satellite, SAA

L'antenne rotative est simplement un réseau d'antennes à commande électrique réglable à 360 degrés.

En [télécommunications](#), une antenne réseau à commande de phase (phased array antenna en anglais) est un groupe d'[antennes](#) élémentaires alimentées avec des signaux dont la [phase](#) est ajustée de façon à obtenir le [diagramme de rayonnement](#) voulu.

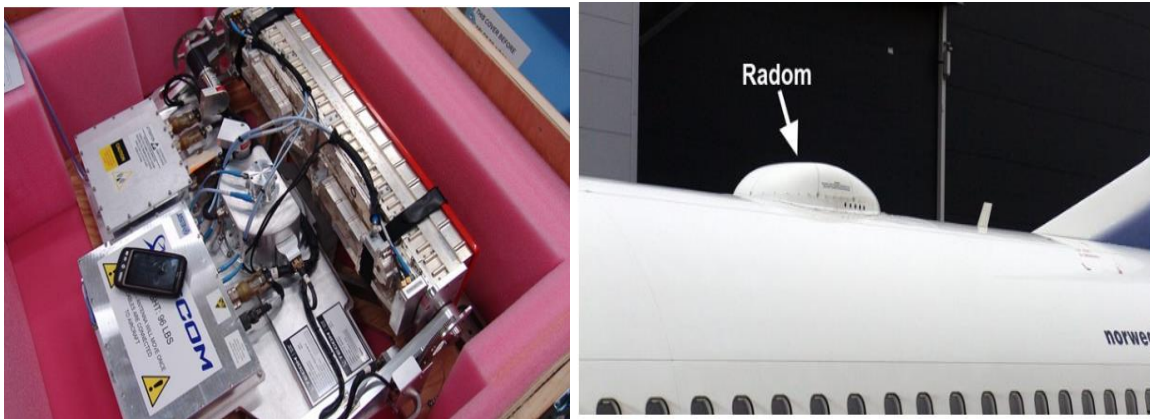


Figure IV.10 : Assemblage de l'antenne SAA

IV.7. Portefeuille des affaires maritimes et aéronautiques

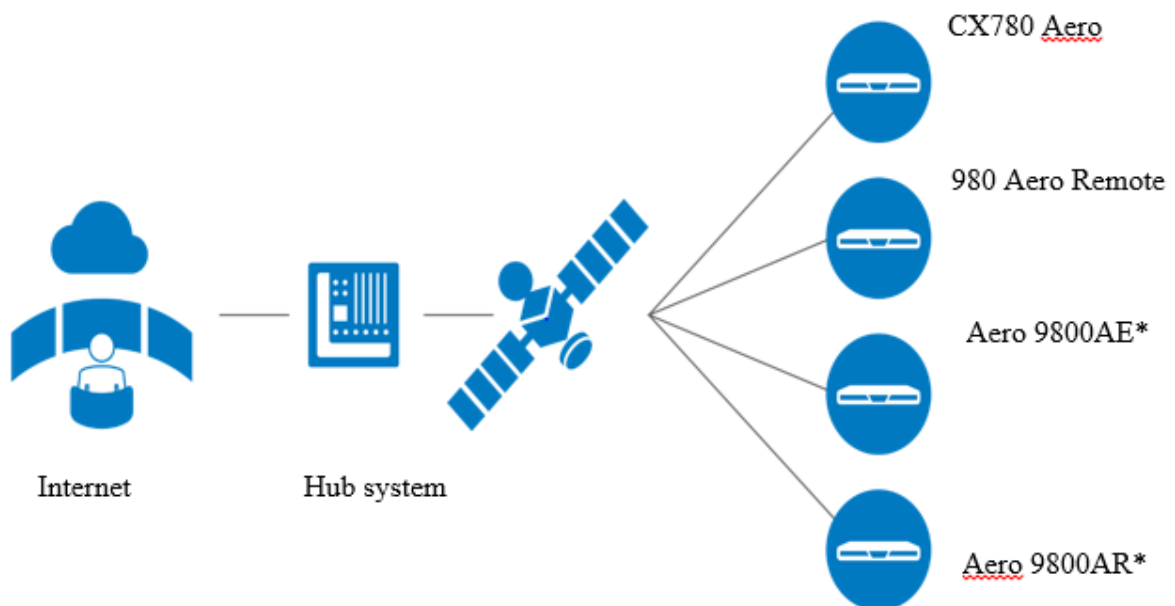


Figure IV.11: Nouveaux produits et fonctionnalités

IV.7.1 Caractéristiques du système

- Haute performance et efficacité pour applications de mobilité
- Système flexible, universel de moyeu et de carte de ligne
- Ensemble de fonctions de mobilité avancée

IV.7.2 Cartes Universal Hub & Line

- *Moyeu flexible avec cartes de lignes universelles (ULC) pour le service.
- *fournisseurs exploitant de multiples IP haut rendement à large bande.
- *réseaux sur l'évolution et la vitesse.
- *Se connecte à n'importe quelle bande de fréquences, jusqu'à 5 satellites
- *Jusqu'à 20 emplacements de carte de ligne à l'échelle avec la demande des clients
- *Interrupteurs LAN Gigabit Ethernet 48 ports et KVM 8 ports
- *Options d'opérateur de réseau virtuel (VNO), géoredondance, routage IP intelligent et équilibrage de charge



Series 15100

➤ ULC/DLC-T : carte de ligne DVB-S2X

DVB-S2 jusqu'à 45 Msps (MODCOD jusqu'à 32APSK)

DVB-S2X prêt jusqu'à 119 Msps (MODCOD jusqu'à 256APSK*)

Prédistorsion linéaire



ULC-T

➤ ULC/DLC-R : Démonstration multicanaux jusqu'à 16 canaux

Jusqu'à 29 Msps/Mcps agrégés

TDMA adaptatif retourne jusqu'à 29 Msps et 29Mcps* Spectre de propagation

Cartes de lignes de défense (DLC) avec FIPS 140-2

Sécurité de niveau 3, revêtement conforme et TRANSEC



ULC-R

IV.7.3 Carte intégrée commerciale Aero : CX780

Conçu pour les boîtiers ARINC 600 destinés à être utilisés sur des avions commerciaux DVB-S2/ACM et TDMA adaptative

Commutateur Gige à deux ports

*Un actuellement pris en charge

*2ème démodulateur pour superposition multicast ou commutation de faisceaux

Mobilité : Global NMS, ABS, Openamip, High-speed COTM, Spread Spectrum (sous licence)

Sécurité : Chiffrement AES 256 bits (sous licence)



Ligne de transmission

Conçu pour répondre aux normes DO-160G et ARINC 791

IV.7.4 Routeurs de satellites Aero : 9800 AE*, 9800 AR*

Idéal pour les opérations d'aéronefs militaires dans l'enceinte ARINC (AE) et le support de roulis/roulis (AR)

DVB-S2/ACM et TDMA adaptative

Opérationnel à 50 000 pieds (AE), 25 000 pieds (AR)

Processeur intégré et commutateur Gigabit

Bouton zeroize TRANSEC

2ème démodulateur pour superposition multicast ou commutation de faisceaux

Mobilité : NMS mondial, ABS, Openamip, Ultra haute vitesse COTM*, spectre de diffusion (licence)

Sécurité : Chiffrement AES 256 bits (sous licence)

FIPS niveau 3, TRANSEC

MIL-STD 810G, 704E, 461F, DO 160G (AE)

Certification WGS prête



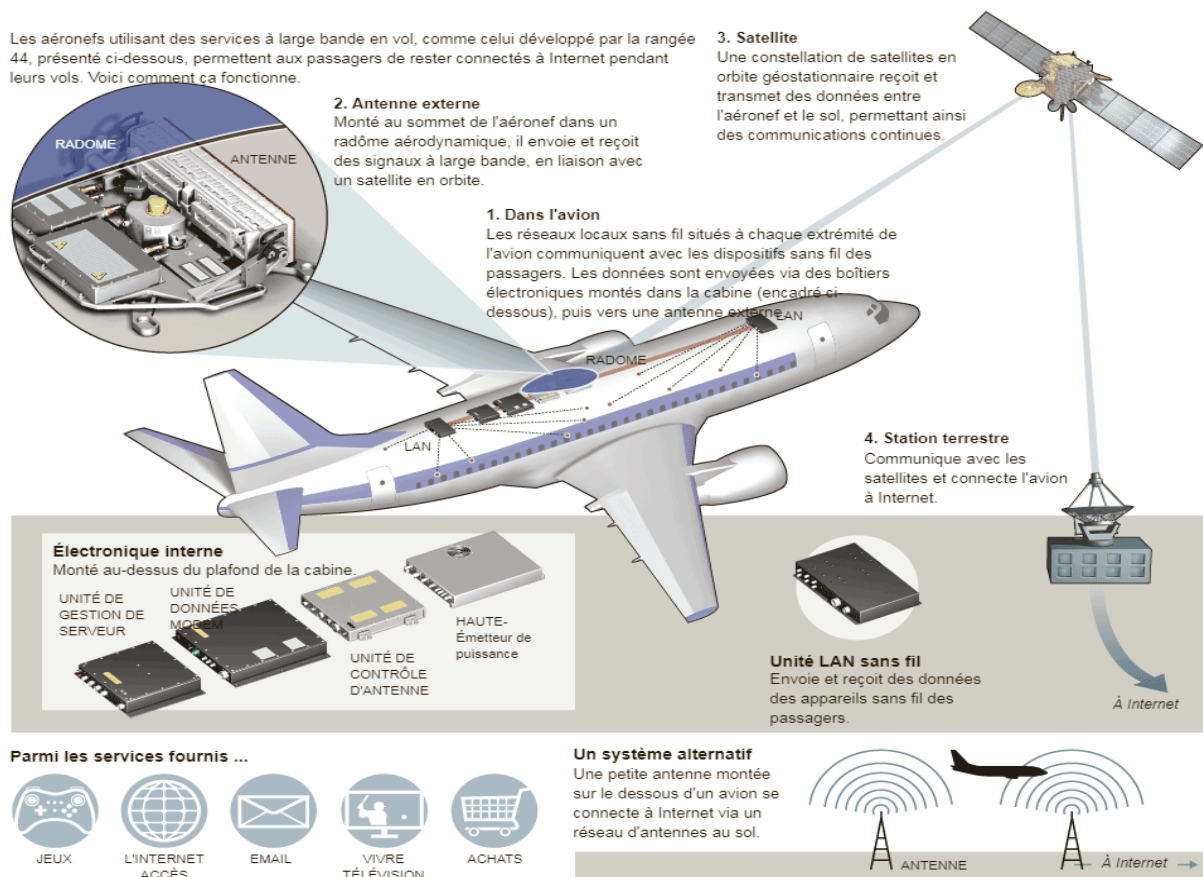


Figure IV.12 : schéma global du système SATCOM

Conclusion

Dans ce chapitre on conclut que, les services Internet par satellite DVB-S2 SCPC (DVB-S2/SCPC) sont parfaits pour un client qui souhaite avoir une bande passante 100% garantie dont l'usage principal est le Web, les emails et les transferts de fichiers.

La VoIP fonctionnera bien grâce à la mise en place des règles QoS (vue dans le chapitre précédent) mais il est déconseillé de prendre un lien DVB-S2/SCPC si l'usage est 100% VoIP car l'usage de certains boîtiers de compression sera délicat.

Les applications transactionnelles fortement sensibles à la latence fonctionneront mieux avec un lien SCPC/SCPC même si elles fonctionnent bien avec un lien DVB-S2/SCPC.

Les liens DVB-S2/SCPC (DVB-S2 SCPC) remplacent de plus en plus les liens SCPC/SCPC car ils offrent le meilleur rapport qualité/prix pour les connexions Internet par satellite en bande passante 100% garantie.

Conclusion générale

Les systèmes de télécommunications aéronautiques actuels présentent des limites de capacités de communications vocales soit en nombre des canaux soit en couverture. C'est pour cela les satellites sont bien adaptés pour assurer, en complémentarité avec les réseaux terrestres aéronautique (AES), des services de télécommunications à la fois régionaux et mondiaux. Cette solution doit se comprendre aussi bien en termes de sécurisation de réseaux terrestres aéronautique (AES) qu'en termes de fourniture de services SATCOM de téléphonie mobile et d'accès internet à bord des avions. Ainsi pour la communication sol-bord entre l'avion et sa compagnie aérienne, les satellites offrent l'avantage d'une couverture étendue favorisant les liaisons à longue distance, Les progrès technologiques, la concurrence croissante entre opérateurs de satellite du fait de la tendance mondiale à la déréglementation, ont fait évoluer à la baisse les coûts d'accès à la capacité spatiale pour une capacité accrue. Cette tendance devrait se poursuivre. L'émergence de nouveaux services pour les contrôleurs, les compagnies et les passagers alimente le besoin de nouveaux moyens de communications sol-bord.

Tel que indiqué dans le dernier chapitre, la proposition de l'ATS (Algérie Télécom Satellite) concernant l'émergence des nouveaux services pour passagers peut diriger vers le développement de la flotte des compagnies aériennes avec les différentes techniques de diffusion DVB et la technologie de iDirect.

Enfin, il est important de rappeler que l'aspect technique n'est pas totalement maîtrisé, et que l'expérience en ligne, depuis un avion, reste aléatoire et soumise à des paramètres extérieurs qui peuvent altérer le bon fonctionnement. Mais les possibilités sont bien présentées.

Petit à petit, nous nous rapprochons d'un septième ciel connecté, mais le transfert pourrait prendre encore quelques temps avant une arrivée à bon port !

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01]. ICAO - International Standards and Recommended Practices: Aeronautical Telecommunications ANNEX 10 Volume III Part I: Digital Data Communication Systems; Part II Voice Communication Systems
- [02]. <http://www.aeromobile.net/>
- [03]. BOEING 737-600/700/800/900 AIRCRAFT MAINTENANCE MANUAL
- [04]. <http://www.INMARSAT.com/>
- [05]. Antonie VARET, “ Conception, Mise en Œuvre et Évaluation d'un routeur embarqué pour l'avionique de nouvelle génération”, Université de Toulouse, 2013
- [06]. <http://www.newsky-fp6.eu/>
- [07]. ICAO - Aeronautical Communications Panel (ACP), 17th meeting of working group F, “Regulatory best practices on the use of mobile phone on-board the aircraft”, 2007
- [08]. <http://www.tecom-ind.com/files/547dfa557058d-WebKustreamBrochureOct2014.pdf>
- [09]. International Civil Aviation Organization, “Manual of technique provisions for the Aeronautical Telecommunication Network (ATN)”, Third edition, 2002
- [10]. “Satellite Earth Stations and Systems (SES); Broadband Satellite Multimedia (BSM); Transparent Satellite Star - B (TSS-B); IP over Satellite (IPoS) Air Interface Specification”, 2006
- [11]. Na TAO, Etude des Performances et Optimisation d'un Réseau d'Accès par Satellite pour les Communications, UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, 2009
- [12]. <https://archive.nytimes.com/www.nytimes.com/interactive/2012/07/05/business/surfing-at-560-mph.html>
- [13] <https://techworld.idg.se/2.2524/1.644569/wifi-flygplan/sida/1/si>
- [14]. Last Call for SATCOM Security Ruben Santamarta, August 2018
- [15]. Frédéric BESSE, Institut Supérieur de l’Aéronautique et de l’Espace (ISAE), “Réseaux ad hoc aéronautiques“, 2013

[16]. Antoine VARET, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA de Toulouse), “Conception, Mise en OEuvre et Évaluation d'un routeur embarqué pour l'avionique de nouvelle génération“2013