

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**

**INSTITUT D'AÉRONAUTIQUE ET DES ÉTUDES SPATIALES  
LABORATOIRE DES SCIENCES AÉRONAUTIQUES**



**PROJET DE FIN D'ÉTUDES**

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Aéronautique

**Département : Navigation Aérienne  
Options : CNS/ATM**

**THÈME**

**Transmission des données VHF via un support  
Satellitaire VSAT**

***Présenté par :***  
KHERCHAOUI Fadila  
AIBOUD Rabah

***Promoteur : Mr. AMAR ZABOT  
Proposé par : Mme BOUZERZOUR***

***Promotion 2021***

## *Remerciements*

*Nous remercions avant tout, Dieu le tout puissant de nous avoir donné santé, patience et courage pour mener à terme ce mémoire.*

*Nos remerciements pour notre promoteur Mr. ZABOT pour ses suggestions et son aide précieuse.*

*Nous tenons à remercier Mme BOUZERZOUR pour nous avoir pris en charge et pour son soutien*

*Nous tenons également à remercier les membres du jury pour avoir accepté de juger notre travail.*

*Nos profonds remerciements sont adressés à tous ceux qui nous ont apportés leurs aides de près ou de loin ainsi que leur soutien moral et matériel.*

*Plus encore, nos remerciements à vous qui être en train de lire notre mémoire.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

- ❖ *Mes chères parents qui m'ont soutenu jusqu'à l'aboutissement de mes études universitaires.*
- ❖ *Mes frères et sœurs Samia, Jiji, Hocine, Sid Ali, Hamid et en particulier Sabrina qui me manque beaucoup.*
- ❖ *Ma chère épouse et sa famille.*
- ❖ *Fadila et sa petite famille.*
- ❖ *Tous mes amis (es) en particulier Karim et Thiziri.*
- ❖ *Toute la promotion 2021 en particulier les étudiants d'option CNS/ATM.*

**Rabah.**

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

- ❖ *la mémoire de mon père (que Dieu ait pitié de son âme).*
- ❖ *Ma très chère mère (que Dieu la protège).*
- ❖ *Mon Epoux et mes enfants qui m'ont soutenus et encouragés .*
- ❖ *A mes Frères et Sœurs*
- ❖ *A mes Belles Sœurs et Beaux Frères*
- ❖ *A ma très chère amie et Sœur Zineb qui ma vraiment encouragé et soutenue*
- ❖ *A Rabah et toute sa famille*
- ❖ *Toutes mes amies en particulier Mounia,Naima et Faiza*
- ❖ *A tous mes collègues de travail en particulier Monsieur Adrouche Chawki ; Monsieur Hadid et Monsieur Djezzar pour leur aide précieuse*
- ❖ *Toute la promotion 2020/2021*

**Fadila**

## **Résumé:**

L'objectif de ce mémoire été d'étudier et simuler une transmission des données VHF via un support satellitaire VSAT entre la station de **Tiaret** et la station d'**Alger**, cette nouvelle liaison est, en fait, venue assurer la redondance des supports terrestre déjà en service.

Après une étude théorique du bilan de cette liaison et une évaluation de la qualité du lien, ensuite une simulation de cette liaison. Des équipements de transmission répendent aux besoins de l'entreprise (ENNA) ont été proposés.

**Mots clés :** VHF, Transmission satellitaire, VSAT, Bilan de liaison.

## **Abstract:**

The objective of this thesis was to study and simulate a transmission of VHF data via a VSAT satellite support between the Tiaret station and the Algiers station, this new link has, in fact, come to ensure the redundancy of the terrestrial supports already in service.

After a theoretical study of the balance sheet of this link and an evaluation of the quality of the link, then a simulation of this link. Transmission equipment for business needs (ENNA) has been proposed

**Keywords:** VHF, Satellite transmission, VSAT, link budget.

كان الهدف من هذه الأطروحة دراسة ومحاكاة إرسال بيانات VHF  
VSAT بين محطة تيارت ومحطة الجزائر العاصمة ، وقد جاء هذا الرابط الجديد ،

بعد دراسة نظرية للميزانية العمومية لهذا الرابط وتقييم جودة الرابط ثم محاكاة لهذا  
الرابط. تم اقتراح معدات نقل لاحتياجات العمل (ENNA)

الكلمات المفتاحية: VHF ، إرسال الأقمار الصناعية ، VSAT ، ميزانية الوصل.

## Liste des figures

### CHAPITRE 1

- Figure I.1** – Les classes de communications sol bord.  
**Figure I.2** – Les sous réseaux air/sol existant.  
**Figure I.3** - Couverture Inmarsat.  
**Figure I.4** - Orbite de satellites Iridium.  
**Figure I.5** - orbite de satellites Iridium.  
**Figure I.6** - Communication critique et non critique par satellites.  
**Figure I.7** – Image d’un satellite INTELSAT.  
**Figure I.8** – Nouveaux systèmes et nouvelles applications.  
**Figure I.9** - Réseau AD-HOC.  
**Figure I.10** –Aeronautical telecommunication Network (ATN).  
**Figure I.11** - Architecture ATN.

### CHAPITRE 2

- Figure II.1** - Atténuation du signal en fonction de la distance – trait continu : en espace libre et trait interrompu en présence d’une réflexion.  
**Figure II.2** - TR-7750 VHF AM Digital Multimode Transceiver 50w.  
**Figure II.3** -  
**Figure II.4**- Unité de changement d'antenne.  
**Figure II.5** - Coupleur VHF Hybrid.  
**Figure II.6** - Schéma de l’antenne VHF.

### CHAPITRE 3

- Figure III.1** : Composition d’un système de télécommunication par Satellite.  
**Figure III.2** : Secteur Spatial.  
**Figure III.3** - Décomposition du temps a n tranches (TDMA).  
**Figure III.4** - Décomposition de la bande de fréquence a n utilisateurs (FDMA).  
**Figure III.5** : technique de multiplexage par N code différent pour chaque utilisateur (CDMA).  
**Figure III.6** - Liaison satellitaire.  
**Figure III.7** - Architecture générale d’un réseau VSAT.  
**Figure III.8** - Topologie en étoile.  
**Figure III.9** - Topologie Mesh & Full Mesh.  
**Figure III.10** - Synoptique d’une liaison via satellite.

### CHAPITRE 4

- Figure IV.1.** Couverture du satellite INTELSAT Faisceau C.  
**Figure IV.2** : Schéma de l’architecture de la station d’ALGER.  
**Figure IV.3** : Schéma de l’architecture de la station de TIARET.  
**Figure IV.4** : Le LNB.  
**Figure IV.5** : Le BUC.  
**Figure IV.6** : L’Antenne VHF.

**CHAPITRE 5:**

**Figure V.1** – *Interface LSTT.*

**Figure V.2** – *Digital Carrier Definition.*

**Figure V.3**– *Lease transmission plan.*

**Figure V.4** – *Choix du type de la porteuse sur Turbo.*

**Figure V.5** – *Résultats après l'intégration des coordonnées GPS d'ALGER.*

**Figure V.6** – *Résultats après l'intégration des coordonnées GPS de TIARET.*

**Figure V.7** – *Bilan de liaison ALGER-TIARET.*

**Figure V.8** – *Bilan de liaison TIARET-ALGER.*

**Figure V.9** – *HPA Sizing calculator TIARET.*

**Figure V.10** – *HPA Sizing calculator ALGER.*

## Liste des Tableaux

### CHAPITRE 1

**Tableau I.1** - Résumé des caractéristiques des communications Data Link.

**Tableau I.2** – Les caractéristiques des différents services Classic-Aero.

### CHAPITRE 2

**Tableau II.1** : Spectre radiofréquences.

### CHAPITRE 3

**Tableau III.1** – Les bandes de fréquences utilisés pour les télécommunications par satellite.

### CHAPITRE 4

**Tableau IV.1** : Résultats obtenus par le calculateur de pointage d'INTESAT.

**Tableau IV.3** : FIR SOUTH TRANSPONDER 54.

**Tableau IV.2** : FIR NORTH TRANSPONDER 51.

### CHAPITRE 5 :

**Tableau V.1** – Résultats de la simulation.

**Tableau V.2** - Carrier & information.

**Tableau V.3** - Informations sur le budget de liaison par carrier.

**Tableau V.4** - Les liens par opérateur et informations sur les marges.

**Tableau V.5** - Informations de coordination ASI par transporteur.



## Glossaries des acronyms

**VSAT:** Very Small Aperture Terminal.

**VHF:** Very High Frequency.

**TDM:**Time Division Multiplex

**TDMA:** Time Division Multiple Access

**FDM:**Frequency division multiplex.

**FDMA:** Frequency Division Multiple Access.

**CDMA:** Code Division Multiple Access.

**CNR:** Carrier to Noise Ratio.

**BUC:** Bloc UP Converter.

**FEC:** Forward Error Correction.

**FSK:**Frequency Shift Keying.

**QPSK:**Quaternary Phase Shift Keying.

**GPS:** Global Positioning System..

**IP :** Internet Protocol.

**LNA :** Low Noise Amplifier.

**LNB:**Low Noise Block-converter.

**ODU:**Outdoor Unit.

**IDU:**Indoor Unit.

**PEB:** Power Equivalent Bandwidth.

**PIRE :** Puissance isotrope rayonnée équivalente.

**CEPT :**Allotissement des Bandes.

**DTH :** Direct To the Home, ou Direct-broadcast satellite.

**UIT:**Union International des Telecommunication.

**OACI:** Organisation d'Aviation Civil International.

**VSWR LNA :** standing wave ratio, **SWR :** c'est le rapport d'onde stationnaire .

**VSWR :** Voltage Standing Wave Ratio (c'est une mesure de l'onde stationnaire produite sur un guide d'onde par réflexion).

**PEB : Power Equivalent Bandwidth(MHz).** (La bande passante équivalente à la puissance, c'est une mesure (en MHz) qui indique le pourcentage de puissance utilisée par rapport à la puissance disponible du transpondeur par rapport à la bande passante totale du transpondeur.

**TBA : Total BW allocated** (c'est la consommation réelle en Mhz de la bande passante sur le transpondeur).

**Total BW available** (c'est la bande passante qui doit être payé par le client, qui ne peut être égale à consommation réelle vu que l'opérateur vend un chiffre rond de la bande passante).

**HPA : High Performance Amplifier (Amplificateur Haute performance) sortie** (c'est le rapport entre la puissance de sortie de saturation maximale et la puissance de sortie moyenne inférieure. Plus le backoff est grand, moins la distorsion non linéaire sera).

## Table des matières

<b>Remerciements</b> .....	2
<i>Dédicaces</i> .....	3
<b>Résumé:</b> .....	5
<b>Liste des figures</b> .....	6
<b>Liste des Tableaux</b> .....	8
<b>Glossaries des acronymes</b> .....	9
<b>Table des matières</b> .....	10
Introduction Générale.....	15

### CHAPITRE I

#### Généralités sur les communications satellitaires

I.1 Introduction :.....	17
I.1.1 Les communications aéronautiques :.....	17
I.1.2 Air Traffic Services Communication (ATSC).....	18
I.1.3 Aeronautical Opération Control (AOC).....	18
I.1.4 Aeronautical Administrative Control (AAC).....	18
I.1.5 Aeronautical Passenger Communication (APC).....	19
I.2 Les limite de capacité des communications vocales :.....	19
I.3 Communication air-sol Data-Link.....	20
I.4 Les sous-réseaux air/sol existants.....	20
I.5 Solution par liaison sol : .....	21
I.5.1 VDL (VHF Data Link) :.....	21
I.5.1.1 VDL-Mode 1:.....	21
I.5.1.2 VDL-Mode 2:.....	21
I.5.1.3 VDL-Mode 3 : .....	22
I.5.1.4 VDL-Mode 4 : .....	22
I.5.2 L’HF DL (HF Data Link) :.....	23
I.6 Solution par liaison satellitaire :.....	23
I.6.1. La constellation INMARSAT : .....	24
I.6.1.1. Nouveaux services :.....	25

## Table des matières

I.6.2. La constellation IRIDIUM : .....	26
I.6.3. Satellite INTELSAT : .....	27
I.7 Le projet SESAR : .....	28
I.8. Le réseau ATN : .....	30
Conclusion : .....	32

### CHAPITRE II

#### Introduction à la VHF

II.1. Introduction.....	34
II.2. Spectre de radiofréquences : .....	34
II.3. Terminologie Officielle .....	35
II.4. Description des bandes de fréquences : .....	36
II.5 Portée et propagation : .....	37
II.6.1 Dans l'espace : .....	38
II.6.2 Les pertes de propagation : .....	40
II. 6.2.1 Pertes en espace libre : .....	40
II.6.2.2 Pertes atmosphériques : .....	40
II.6.2.3. Pertes dues au pointage des antennes : .....	42
II.7. Architecture des stations VHF ENNA : .....	43
.....	44
Conclusion : .....	48

### CHAPITRE III

#### Transmission de données Via Satellite

Introduction : .....	50
III.1. LIAISON SATELLITAIRE : .....	50
III.1.1. Le secteur spatial : .....	51
III.1.1.1. Les satellites .....	51
III.1.1.2. Couverture d'un Satellite de télécommunication géostationnaire et le délai de propagation de son signal : .....	52
III.1.1.3. Les bande de fréquences : .....	53
III.1.2. Paramètres de la Bande C : .....	53
III.1.3. Le secteur terrien : .....	54
III.2. STATION TERRIENNE : .....	54
III.2.1. Présentation générale : .....	54

## Table des matières

III.2.2. Fonctionnement en émission : .....	54
III.2.3. Fonctionnement en réception : .....	55
III.3. LES TECHNIQUES UTILISEES EN TELECOMMUNICATION : .....	56
III.3.1. Les modes de liaison : .....	56
III.3.2. La transmission des signaux radioélectriques en bande de base : .....	56
III.3.3. Le multiplexage : .....	57
III.3.3.1. Le mode d'accès TDMA (Time Division Multiple Access) : .....	57
III.3.3.2. Le mode d'accès FDMA (Frequency Division Multiple Access) : .....	58
III.3.3.3. le mode d'accès CDMA (Coded Division Multiple Access) : .....	58
III.3.4. La modulation utilise dans les télécommunications satellitaires : .....	59
III.3.4.1. Modulation analogique : .....	59
III.3.4.2. Modulation numérique : .....	59
III.3.4.3. Autres types de modulation (DSSS) : .....	60
III.3.4.4. Correcteur d'erreurFEC : .....	60
III.4. La liaison Satellitaire : .....	60
III.5 Réseau VSat : .....	61
III.5.1. Station de type VSAT : .....	61
III.6. Réseaux satellite : .....	63
III.6.1. Topologies des réseaux satellitaires : .....	63
III.6.1.1. La topologie en étoile : .....	63
III.6.1.2 Topologie Mesh& Full Mesh : .....	64
III.6.1.3 Topologie Hub_less : .....	64
III.6.1.4 Topologie Hybride : .....	64
III.7 Les applications du service VSAT : .....	64
III.8. Assignement aux ressources satellite : .....	65
III.8.1. Assignement fixe : .....	65
III.8.2. Demande d'assignement : .....	65
III.8.3. Options du Hub : .....	66
III.8.3.1. Hub dédié : .....	66
III.8.3.2. Hub mutualisé : .....	66
III.8.3.3. Mini-Hub : .....	67
III.9. Stations Terriennes du Réseau Vsat : .....	67
III.9.1. L'unité extérieure (ODU) : .....	67
III.9.2. L'unité intérieure (IDU) : .....	67

## Table des matières

III.9.3. Station centrale (Hub) : .....	68
III.10. Généralités sur les bilans de liaison .....	68
III.10.1. Principe du bilan de liaison : .....	68
III.10.2. Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente(PIRE) : .....	70
III.10.3. La sensibilité du récepteur : .....	70
III.10.4. La situation géographique de la station au sol : .....	70
III.10.5. Les pertes sur la liaison : .....	70
III.10.6. Etablissement d'un bilan de liaison : .....	71
• Pe : Puissance de l'antenne émettrice.....	72
• Ge : gain de l'antenne émettrice .....	72
• PIREsol : la PIRE de l'antenne émettrice.....	72
• G/Tsat : la sensibilité des antennes réceptrices du satellite .....	72
• Psat : la puissance d'émission des antennes du satellite.....	72
• Gsat : le Gain des antennes d'émission du satellite.....	72
• PIREsat : la PIRE des antennes d'émission du satellite .....	72
• C/N : Facteur de bruit en réception de la station réceptrice .....	72
Conclusion : .....	75

## CHAPITRE IV

### Etude Théorique de la liaison SatellitaireALGER-TIARET

Introduction : .....	77
IV.1. Bande Passante Requise : .....	77
IV.2. Caractéristiques Du Système VSat ENNA : .....	77
IV-3 Composition Des Stations VSat ENNA : .....	77
IV.4. Utilisation Du Segment Spatial : .....	78
IV.5. Architecture du réseau de transmission VHF via VSAT : .....	78
IV.5.1. Choix des équipements du segment terrestre : .....	79
IV.5.1.1. Compositions des unités IDU et ODU des deux stations : .....	79
IV.5.1.2 Le choix des antennes : .....	85
IV.5.1.3 Pointage d'antenne : .....	85
Conclusion : .....	88

**CHAPITRE V**

Simulation d'une transmission des données via VHF

Introduction :.....	90
V.1. Description de l'outil de simulation :.....	90
V.1.1. Satellite flight : .....	90
V.1.2. Transponder Freq slot :.....	91
V.1.3. Résultat après carrier :.....	92
V.1.4. Résultats après intégration des coordonnées GPS de la station d'ALGER :.....	93
V.1.5. Résultats après intégration des coordonnées GPS de la station de TIARET :.....	94
V.1.6. Analyse du bilan de liaison ALGER –TIARET : .....	95
V.1.7. Analyse du bilan de liaison TIARET-ALGER :.....	96
V.1.8. Rapport du bilan de liaison : .....	98
V.1.8.1 Informations récapitulatives :.....	98
V.1.8.2 Carrier & information :.....	99
V.1.8.3. Informations sur le budget de liaison par carrier :.....	100
V.1.8.4. Récapitulatif des liens par opérateur et informations sur les marges :.....	101
V.1.8.5. Informations de coordination ASI par transporteur : .....	102
V.2. Comparaison Entre La Partie Théorique Et La Partie Simulation : .....	103
Conclusion :.....	103
Conclusion Générale .....	104
Bibliographie .....	105

### Introduction Générale

De nos jours, nous remarquons que le satellite prend et prendra de plus en plus de place dans les télécommunications présentes et futures. Nous ne parlons plus du satellite comme étant un nœud répéteur mais bien plus que cela. Les techniques de transmission satellitaires ont beaucoup évolué. Les satellites peuvent actuellement supporter plusieurs types de transmissions : broadcast, multicast et même de la communication point à point.

En aéronautique, la transmission de données et d'information en temps réel et avec une qualité maximale est très importante, pour cela plusieurs méthodes et moyens sont déployés pour réaliser l'objectif requis, en combinant des moyens de transmission satellitaires et terrestres,

Dans le cadre de la gestion du trafic aérien et afin d'assurer une continuité de service des équipements, en plus du support par fibre optique existant, l'ENNA envisage d'installer des stations VSAT qui seront utilisées en secours pour palier à toute insuffisance ou défaillance du support terrestre qui reste le support principal, notamment les plus citées le problème du relief.

Vu le domaine d'utilisation du réseau VSAT à acquérir qui est la sécurité aéronautique qui nécessite le traitement de données en temps réel, la plus grande attention sera accordée au choix de la topologie du réseau et des équipements à mettre en œuvre afin de réduire au maximum les délais de transmission des données d'un point vers un autre.

C'est dans cette perspective que se situe notre projet de fin d'étude. Nous allons étudier la transmission des données VHF via VSAT,

Le travail que nous allons réaliser est présenté dans ce mémoire en Cinq chapitres :

Dans le premier chapitre ; nous allons donner des généralités sur les télécommunications, en insistant sur les techniques utilisées dans la transmission par satellite, sur les différents accès multiples et les bandes de fréquences, en fin nous allons présenter les réseaux satellitaires, l'utilisation VSAT et son importance dans le domaine des télécommunications spatiales,

Dans le deuxième chapitre, nous allons accentuer notre étude sur la VHF dans le domaine aéronautique et les fréquences utilisées

Pour le troisième chapitre, il sera consacré aux transmissions des données via satellite ;

Dans le chapitre 4, nous allons faire une étude théorique d'une liaison satellitaire ;

Dans le cinquième et dernier chapitre, nous allons simuler la transmission des données VHF via VSAT entre ALGER et TIARET à l'aide d'un simulateur professionnel dédié pour calculer les bilans des liaisons satellitaires. Nous allons extraire les résultats de la simulation et les analysés tout en les comparant avec les valeurs requises.

En fin on termine par une conclusion générale.

## **CHAPITRE I**

### Généralités sur les communications aéronautique



## I.1 Introduction :

La communication est le fait d'établir une relation avec une autre personne ou un autre groupe en lui transmettant un message. L'émetteur (celui qui envoie le message) peut donc communiquer avec un ou plusieurs récepteurs (celui qui reçoit le message).

En aéronautique, Les systèmes de communication permettent à l'équipage de rester en contact avec le monde extérieur, que ce soit les contrôleurs aériens, le bureau du répartiteur, les autres aéronefs dans une formation, les forces policières de sécurité civile, ou un client. Elle permet de transmettre des clairances et des informations importantes pour la sécurité de la circulation aérienne et l'efficacité de la gestion du trafic aérien.

### I.1.1 Les communications aéronautiques :

Les communications entre aéronefs et les stations au sol permettent à l'équipage sont codifiées et réglementées dans le but d'éviter les erreurs d'interprétation. Elles sont concises, précises et font appel à une phraséologie conventionnelle.

Les communications entre avions sont envisagées pour répondre aux besoins de nouvelles applications. Elles partagent en deux types : vocales ou de données.

- **Les échanges vocaux :**

Les échanges vocaux représentent encore aujourd'hui la majorité des communications entre le sol et le bord. Comme exemple, nous pouvons citer les clairances envoyées par les contrôleurs aériens aux pilotes afin d'assurer la séparation des avions dans l'espace aérien et ainsi leur sécurité. Ces échanges vocaux se font majoritairement au travers de liaisons radio sur la bande VHF (Very High Frequency), pour l'aéronautique, elle est actuellement, de 117.975 MHz à 137 MHz , espacés de 25 KHz donc un total de 760 canaux.

Dans les zones où les portées offertes par la radio VHF ne sont pas suffisantes (comme au-dessus des océans et déserts), Les communications vocales sont transmises soit par radio High Frequency (HF) (de 3 MHz à 30 MHz), soit par Satellite (SATCOM).

- **Les échanges de données numériques :**

Elles sont également appelés communications datalink (Liaisons de données numériques), Ce sont les compagnies aériennes qui ont été les premiers secteurs à prendre conscience de l'intérêt des communications datalink en introduisant le premier système d'échange de données sol/bord, connu sous le nom de Aircraft Communications Addressing and Reporting System (ACARS). Ce système également appelé Plain Old Acars (POA) (en référence à la première version du système qui a évolué depuis). Ce système offre un débit de

2,4 kbps grâce à l'utilisation de canaux VHF de 25 kHz sur la bande passante réservée aux communications vocales.

La première application utilisée grâce de ce système à été Out, Off, On, In (OOOI), en envoyant à la compagnie l'heure exacte à laquelle l'avion quitte la porte (Out), décolle (Off), atterrit (On) puis revient à la porte (In).

Les communications aéronautiques sont classées en quatre (04) catégories.

### **I.1.2 Air Traffic Services Communication (ATSC)**

Désignant les communications entre les pilotes et les services de contrôle aérien. Ces communications servent à la sécurité et à l'efficacité du vol et sont donc critiques.

Cette catégorie regroupe :

- Les services de communications relatifs à l'information en vol : FIS (Flight Information Service) : informations météorologiques, informations générales (ex : fréquences radio de certains services)
- Les services de communications de contrôle du Traffic aérien : ATC (Air Traffic Control) : actions de contrôle (clearance, compte rendu systématique de vol).
- Service d'alertes.

### **I.1.3 Aeronautical Opération Control (AOC)**

Correspondent aux échanges liés à l'exploitation entre les avions d'une compagnie et leur base. Cette catégorie regroupe l'ensemble des "communications nécessaires 'a l'exercice de l'autorité sur le commencement, la continuation, le déroutement ou l'achèvement du vol pour des raisons de sécurité, de régularité ou d'efficacité".

Les applications possibles sont la transmission des horaires de décollage et atterrissage, la transmission du niveau de carburant, d'information du vol, des plans de vols révisés, coordination des correspondances, échanges de paramètres liés au suivi technique du vol.

### **I.1.4 Aeronautical Administrative Control (AAC)**

Elles Regroupent l'ensemble des communications liées aux besoins de la compagnie exploitante. L'AAC désigne les communications entre les pilotes et les compagnies qui ne sont pas liées à la sureté des vols. Il s'agit de l'envoi d'informations concernant le personnel navigant, liste de passager en correspondance, changement de programme lors d'une rotation, gestion des déroutements, échanges divers,....

### 1.1.5 Aeronautical Passenger Communication (APC)

Regroupant l'ensemble des services offerts aux passagers tels que internet, tv on ligne, téléphonie et fax. Bien que non critique pour la sécurité des vols, cette catégorie intéresse fortement les compagnies aériennes qui y voient la possibilité de se démarquer et fait donc l'objet de beaucoup de travaux de recherche. La multiplication des besoins d'échanges de données entre le sol et le bord a eu pour conséquence la nécessité de trouver de nouvelles solutions liés au débit très faible.

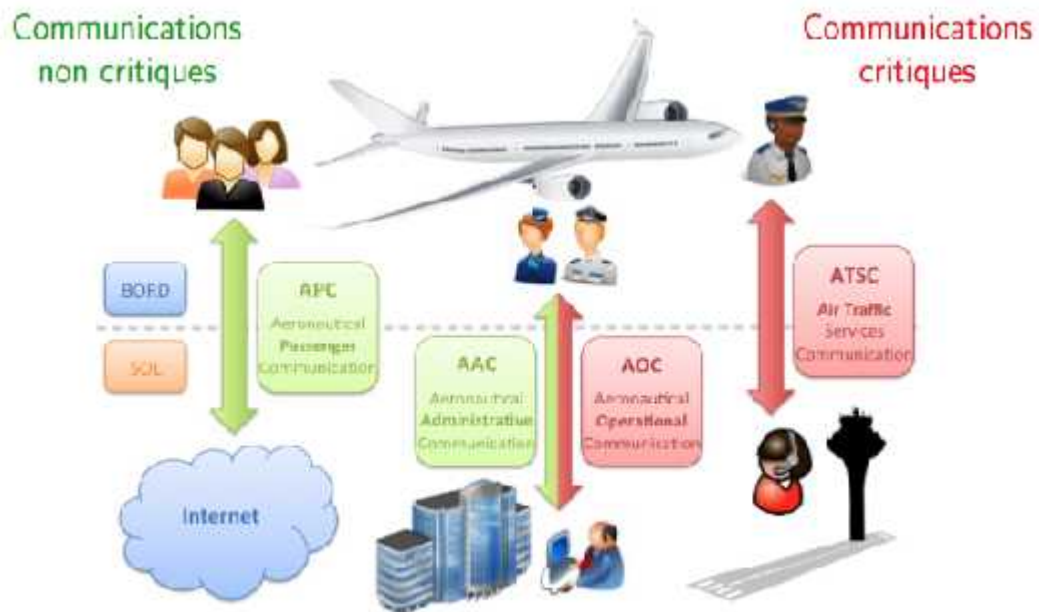


FIGURE I.1 – Les classes de communications sol bord

Figure I.1 – Les classes de communications sol bord.

## I.2 Les limite de capacité des communications vocales :

La création de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) était dans le but d'élaborer des normes pour standardiser le transport aéronautique international. Et Au cours de la conférence mondiale des radiocommunications, organisée par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT), la bande VHF de 118 à 132 MHz est allouée aux services aéronautiques mobiles.

Aujourd'hui, les fréquences de radiocommunication sont très convoitées. Il est donc difficile d'étendre la bande aéronautique VHF. De plus, la séparation des canaux de 8,33 kHz correspond à l'espacement minimal qui permet de transmettre de la voix avec une qualité suffisante, avec la modulation actuelle DSB-AM (Double Side Band - Amplitude

Modulation). Il est donc à présent très difficile d'augmenter la capacité des systèmes de communications vocales. Cette augmentation est pourtant nécessaire pour répondre notamment à la croissance du trafic aérien.

### I.3 Communication air-sol Data-Link

Dans l'aviation civile, un système de liaison de données (appelé Contrôleur de liaison de données pilote) permet d'échanger des informations entre aéronefs et contrôleurs aériens lorsqu'un aéronef est trop éloigné de l'ATC pour permettre la communication vocale par radio et les observations radar. Ces systèmes sont utilisés pour les aéronefs traversant les océans Atlantique et Pacifique. Ce système utilise l'ordinateur de gestion de vol de l'avion pour envoyer des informations sur la position, la vitesse et l'altitude de l'avion à l'ATC. L'ATC peut alors envoyer des messages à l'aéronef concernant tout changement de cap nécessaire.

### I.4 Les sous-réseaux air/sol existants

Le point commun entre tous les systèmes décrits précédemment est la nécessité de s'appuyer sur un sous-réseau air/sol permettant de transmettre les données entre le Bord et le sol. Actuellement, trois sous-réseaux existent : la VHF Data Link (VDL) mode 2, la HF Data Link (HFDL) et la SATCOM.

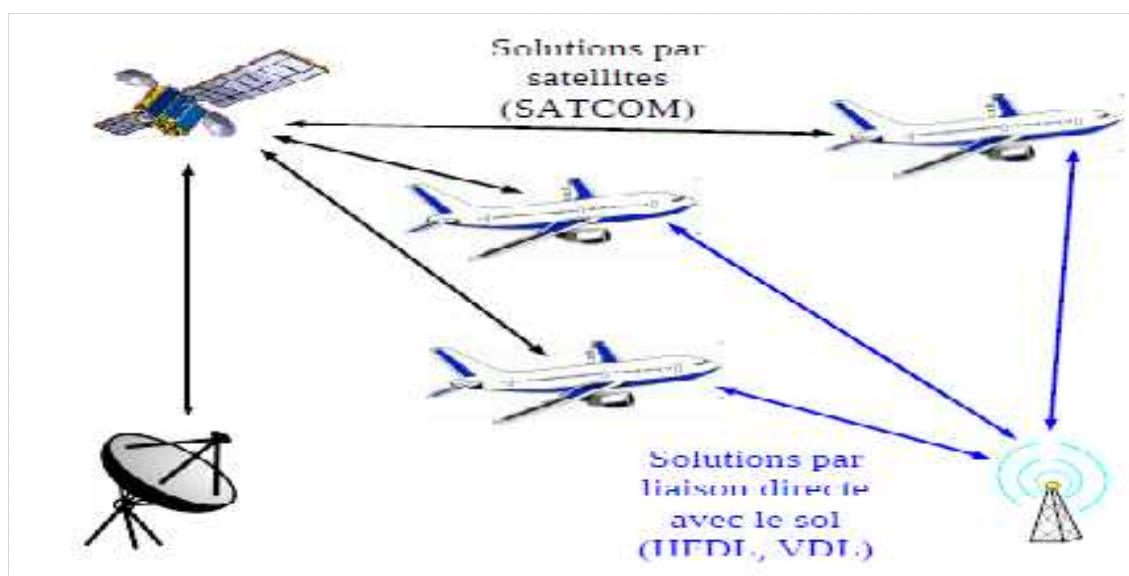


Figure I.2 – Les sous réseaux air/sol existant.

## I.5 Solution par liaison sol :

### I.5.1 VDL (VHF Data Link) :

La liaison de données VHF ou liaison numérique VHF (VDL) est un moyen d'envoyer des informations entre l'aéronef et les stations au sol. Les liaisons de données aéronautiques en ondes métriques utilisent la bande 117,975–137 MHz attribuée au service mobile aéronautique (R) par l'Union internationale des télécommunications. Il existe des normes ARINC pour ACARS sur VHF. Le mode 2 est le seul mode VDL implémenté de manière opérationnelle pour prendre en charge les communications CPDLC (Controller Pilot Data Link Communications). Il existe quatre modes de VDL:

#### I.5.1.1 VDL-Mode 1:

Le VDL-Mode 1 est un mode à moindre risque mais limité. Il utilise la technologie des radios ACARS actuelles et assure la validité des SARPs (standards and recommandation procédures) de l'OACI. D'autre part le taux de données est très faible (600 bps dans le canal reparté pour l'ensemble des avions). Les procédures CSMA utilisent un accès arbitraire au canal ce qui cause des retards dans le transit de données. Ces performances sont inadaptées aux applications CNS/ATM, il est improbable de trouver ce mode en opérations.

#### I.5.1.2 VDL-Mode 2:

La VDL mode 2 est le principal système déployé sur les zones continentales (notamment en Europe de l'ouest), c'est la version principale de VDL. Ce sous-réseau s'appuie sur des stations au sol émettant dans un rayon de 200 Nm sur la bande VHF et capables de prendre en charge jusqu'à 200 avions. Elle a été spécifiée par l'OACI en 1997 et prévue initialement comme sous-réseau support à l'ATN. Ce mode fournit une liaison de données air-sol compatible avec l'ATN et exploite des techniques radios numériques.

Dû au manque d'intérêt des compagnies aériennes et des services de contrôle pour l'ATN, ce sous-réseau peut également être utilisé pour l'ACARS. Nous parlons alors d'ACARS Over AVLC (AOA), en opposition au POA qui correspond à l'utilisation de la VHF analogique pour transmettre les données.

VDL Mode 2 est le seul mode VDL implémenté de manière opérationnelle pour prendre en charge les communications CPDLC (Controller Pilot Data Link).

### I.5.1.3 VDL-Mode 3:

Le mode 3 de VDL utilise les mêmes canaux de communication et le même schéma de modulation que le mode 2 de VDL. Toutefois, son utilisation de la technologie TDMA lui permet d'utiliser beaucoup plus efficacement la bande passante disponible. La station au sol attribue de manière dynamique la bande passante à la demande et en fonction de la priorité indiquée par l'aéronef en concurrence pour accéder au canal de communication. Cela permet à VDL3 d'offrir les garanties de service nécessaires pour prendre en charge l'utilisation de CPDLC pour l'ATC tactique. Pour des raisons similaires, VDL3 peut également offrir des communications vocales numériques. En effet, une configuration typique consiste à utiliser un canal de 25 kHz pour fournir trois canaux vocaux et un canal de données. Le canal de données est partagé par l'avion à l'aide des canaux vocaux.

### I.5.1.4 VDL-Mode 4:

La norme de l'OACI pour le mode VDL 4 spécifie un protocole permettant aux aéronefs d'échanger des données avec des stations au sol et d'autres aéronefs. VDL Mode 4 utilise un protocole (STDMA, inventé par le suédois Håkan Lans en 1988) auto-organisé, lui permettant de s'auto-organiser, ce qui signifie qu'aucune station sol principale n'est requise. Cela simplifie considérablement la mise en œuvre par rapport à VDL Mode 3.

En novembre 2001, ce protocole a été adopté par l'OACI en tant que norme mondiale. Sa fonction principale était de fournir une couche physique de fréquence VHF pour les transmissions ADS-B. Le médium VDL mode 4 peut également être utilisé pour les échanges air-sol. Il est préférable de l'utiliser pour les transmissions de messages courts entre un grand nombre d'utilisateurs, par exemple, fournir une connaissance de la situation, la gestion numérique de l'information aéronautique (D-AIM), etc.

Les applications «navigation et surveillance» font principalement référence à 2 applications:

- La liaison montante des messages d'augmentation GNSS différentiel (DGNSS), afin de fournir des corrections et des messages d'intégrité aux récepteurs GPS / GLONASS.
- La transmission de données Surveillance dépendante automatique - Diffusion (ADS-B). Il s'agit d'une application dans laquelle tous les utilisateurs diffusent leur position à tous les autres utilisateurs. Ces données peuvent être utilisées pour certaines applications de surveillance et dans le cas de VDL, le mode 4 est utilisé pour faciliter la gestion de la communication. L'une des applications principales de l'ADS-B est de fournir aux pilotes un affichage de la situation de la circulation indiquant l'ensemble du trafic aérien environnant. (L'ADS-B diffère du TCAS en ce sens qu'il a une portée beaucoup plus grande et que tout le trafic aérien est entièrement étiqueté avec identification du vol et vitesse. ADS-B est un outil

de planification stratégique pour les pilotes, par rapport au TCAS qui est un filet de sécurité tactique. )

MODE	MODULATION	ACCÈS AU RESEAU	NOTES
<b>Mode 1 (ACARS)</b>	AM/MSK @2,400 bps	CSMA	Souffre d'un taux de transfert lent
<b>Mode 2</b>	D8PSK @31,500bps	CSMA	Optimisé par communications aperiodique air-sol en remplacement d'ACARS.
<b>Mode 3</b>	D8PSK @31,500bps	TDMA 30ms /slot 4slots /frame	Support voix et données 4 canaux.
<b>Mode 4</b>	FM/GMSK @19,200 bps	STDMA 6.67 ms / slot 9000slots / frame	Allocation dynamique des slots supporte communication périodique et aperiodiques.

**Tableau I.1** - Résumé des caractéristiques des communications DataLink.

### I.5.2 L'HFDL (HF Data Link) :

La portée des stations VDL mode 2 étant limitée à 200 Nm, ce système ne peut pas être utilisé partout, notamment au-dessus des océans. La technologie HFDL peut alors être utilisée en complément pour couvrir les zones océaniques et polaires. La caractéristique principale des transmissions HF est de pouvoir établir des communications au-delà de la ligne de vue grâce aux réflexions successives entre le sol ou la mer et l'ionosphère. Cela permet aux stations HFDL d'avoir des portées bien plus importantes que la VDL mode 2. Aujourd'hui, 17 stations sol sont déployées tout autour de la planète pour assurer une couverture mondiale. La HFDL utilise trois types de modulation de phase : BPSK, QPSK et 8PSK. Le débit étant de 1800 symboles par seconde, quatre débits binaires sont disponibles suivant la modulation de phase utilisée : 1800 bits/s (8PSK), 1200 bits/s (QPSK), 600 bits/s et 300 bits/s (BPSK).

### I.6 Solution par liaison satellitaire :

Outre les liens directs en VHF ou HF, les communications de données pour le contrôle aérien peuvent reposer sur des liens par satellite. Ce type de solution permet d'assurer une très grande couverture, dans le cas de satellite géostationnaire ou de constellation de satellites en orbite basse.

### I.6.1. La constellation INMARSAT :

Inmarsat, est fondé en 1979, est certainement l'une des compagnies de télécommunication la mieux implantée dans le secteur aéronautique. Elle possède et opère sur trois constellations complètes de satellites géostationnaires : 4 satellites Inmarsat-2 lancés au début des années 90 (retirés du service), 4 satellites Inmarsat-3 lancés à la fin des années 90, 4 satellites Inmarsat-4 lancés en 2005 et 2008 et 3 satellites Inmarsat-5 (2013- 2017). Les satellites Inmarsat offrent ainsi une couverture globale entre +/-80° de latitude environ. Effectivement, compte-tenu de leur position au-dessus de l'équateur, les satellites géostationnaires ne peuvent pas couvrir les zones polaires. La figure montre la couverture des services aéronautiques d'Inmarsat (Inmarsat Swift 64 et Classic Aeronautical).

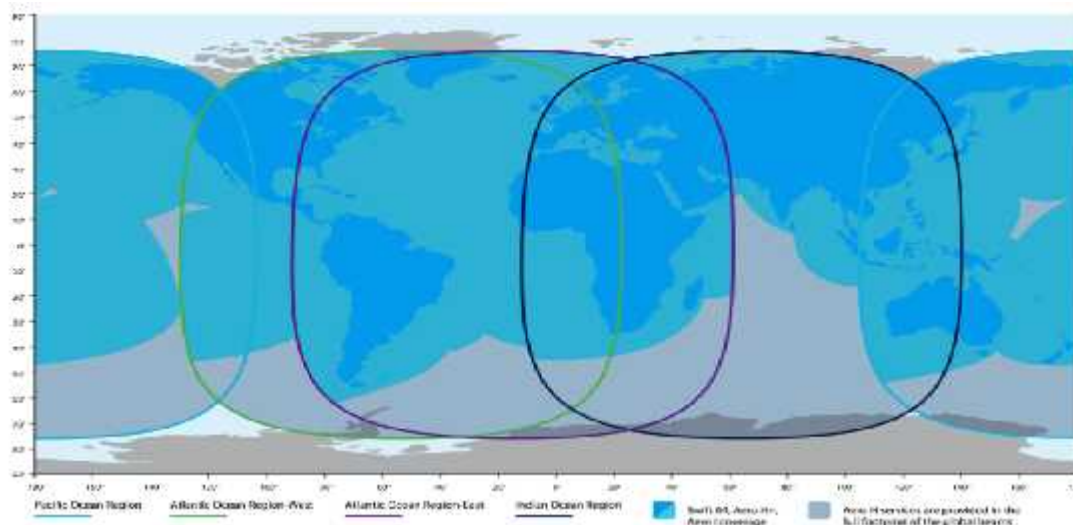


Figure I.3 - Couverture Inmarsat.

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, — SwiftBroadband. L'OACI a approuvé le service Classic-Aero pour les communications critiques cockpit (services ATSC).

Service	Aero H/H+	Aero I	Aero L	Mini M Aero	Aero C
Voix	Multiplés canaux	Multiplés canaux	-	Un canal	-
Données	10,5 kbit/s	4,8 kbit/s	1,2 kbit/s	2,4 kbit/s	0,6 kbit/s
Gain Antenne	élevé	Intermédiaire	faible	faible	faible
Approbation OACI	oui	oui	oui	non	non

Tableau I.2 – Les caractéristiques des différents services Classic-Aero



### I.6.1.1. Nouveaux services :

- **Le service Swift 64 :**

Le Swift64 est le nom de la technique Inmarsat GAN pour le marché aéronautique. Il fournit un canal circuit de 64kb/s. Inmarsat autorise jusqu'à 4 canaux Swift64 par aéronef, ce qui permet des connexions ISDN agrégées jusqu'à 256kb/s.

Applications : données, Internet, phonie, fax

- **Le service Swift Broadband :**

Ce système représente la dernière génération mise en service par Inmarsat. Il s'agit d'un réseau beaucoup plus orienté IP que les services précédents. Il fournit le même type de services que le swift64, mais la partie Mobile Packet Data est très différente puisqu'au lieu d'un simple canal partagé de 64kb/s, il propose 432kb/s par canal, que l'on peut utiliser au choix en mode Background (débit partagé entre les terminaux, facturation au volume) ou en mode Streaming (débit garanti, facturation à la durée). Ce réseau s'inspire très fortement des principes des réseaux GSM 3G. Le service Swift Broadband est fourni uniquement par les satellites I-4, soit un total de quatre satellites.

- **Le service Global Xpress :**

Le GX est le premier service satellitaire commercial mondial en bande Ka. Les satellites I-5 fonctionnent avec une combinaison de faisceaux étroits fixes qui permettent à Inmarsat de fournir des vitesses plus élevées grâce à des terminaux plus compacts et de faisceaux orientables, ce qui permet de diriger la capacité supplémentaire en temps réel là où elle est nécessaire. Opérant dans la bande Ka résiliente, tout en s'intégrant parfaitement au réseau Inmarsat éprouvé en bande L, GX permet aux clients des secteurs de l'aviation, de la marine, des entreprises et du gouvernement d'avoir un accès fiable et sûr aux communications à haut débit.

Global Xpress permet :

- ❖ du streaming audio et vidéo en temps réel
- ❖ un accès Internet haut débit : 50 Mbps / 5 Mbps max
- ❖ la possibilité de transférer des fichiers lourds (via FTP)
- ❖ de la multi-phonie

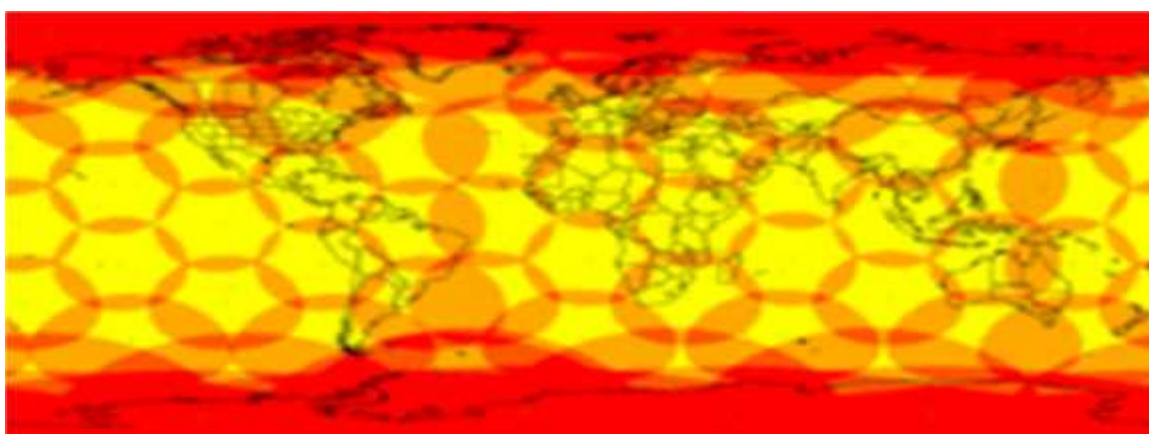
### I.6.2. La constellation IRIDIUM :

Iridium propose un service de communication par satellite en bande L depuis novembre 1998. Comme le montre la figure, ce système est composé d'une constellation de 81 satellites dont 66 en service, 9 de rechange et 6 satellites additionnels au sol ; Les satellites sont en orbite basse à 780 kilomètres d'altitude, répartis en 6 plans orbitaux de 11. Cette constellation permet de garantir une couverture mondiale. Elle met en œuvre des communications entre ses satellites. Deux stations de contrôle terrestres ont été prévues, une pour les communications civiles et une pour les communications militaires.



**Figure 1.4** - Orbite de satellites Iridium.

Iridium constitue à présent une alternative intéressante au système Inmarsat pour les communications aéronautiques par satellites dédiés aux services critiques cockpit. Cette solution assure une couverture mondiale, y compris en zone polaire, et moins chère. Depuis 04/01/2017, 75 satellites de la nouvelle génération ont été lancés de la base de Vandenberg (Californie ; USA).



**Figure 1.5** - orbite de satellites Iridium.

En fait Iridium conclut un marché global avec Aireon (en), pour l'intégration d'une charge utile ADS-B dans chaque satellite.

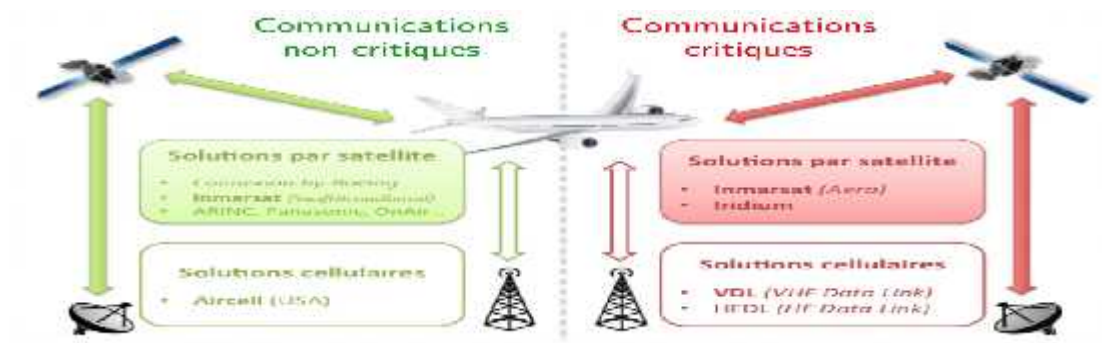


Figure 1.6 - Communication critique et non critique par satellites.

### I.6.3. Satellite INTELSAT :

International Télécommunications SATellite-organization (INTELSAT) est une coopérative à but non lucratif comprenant 136 pays. Tous les pays du monde ne sont pas reliés par des fibres optiques. Mais la plupart sont reliés aux satellites d'INTELSAT. Cette organisation gère les satellites internationaux qui fonctionnent dans la bande de radiofréquences réservée aux « satellites fixes ».

- Les satellites d'INTELSAT transmettent simultanément plusieurs dizaines de milliers de conversations téléphoniques. A bord des satellites INTELSAT, l'énergie fournie par des panneaux solaires et par de petits réacteurs utilisant un carburant embarqué (comme l'hydrazine) maintient les antennes en direction de la Terre, en rectifiant la position du satellite. L'ASECNA est liée à INTELSAT par un contrat de location de bande de fréquences sur le satellite 10-02 appelée IS 10-02.

IS 10-02 @359°E a été conçu et fabriqué en Europe par EADS Astrium pour le compte de l'opérateur international INTELSAT. Il est l'un des plus gros satellites de communication jamais construits et le plus puissant d'INTELSAT. Il offre une couverture de premier ordre, de l'Europe, de l'Afrique et du Moyen-Orient et une couverture complète s'étendant à l'est depuis l'Asie (Inde) jusqu'à l'ouest (Amérique du Sud et l'Amérique du Nord). Tous les pays membres de l'ASECNA sont reliés par ce satellite



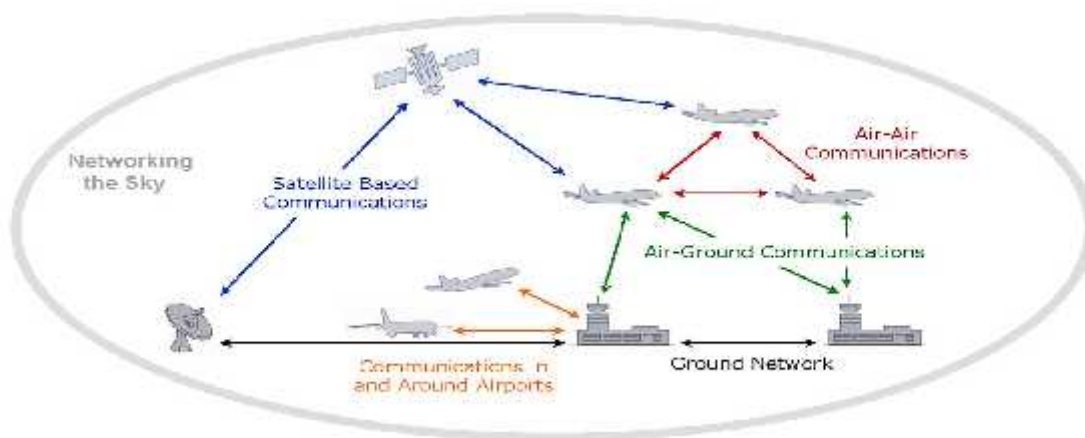
**Figure 1.7** – Image d'un satellite INTELSAT.

#### **Caractéristiques techniques :**

- Masse : 5 600 kg.
- Envergure de 45 m après déploiement en orbite.
- Fréquence centrale 6280 MHz.
- Polarisation dépendant du type de station au sol.
- Largeur de bande passante 36 MHz.
- Orbite Géostationnaire.

#### **I.7 Le projet SESAR :**

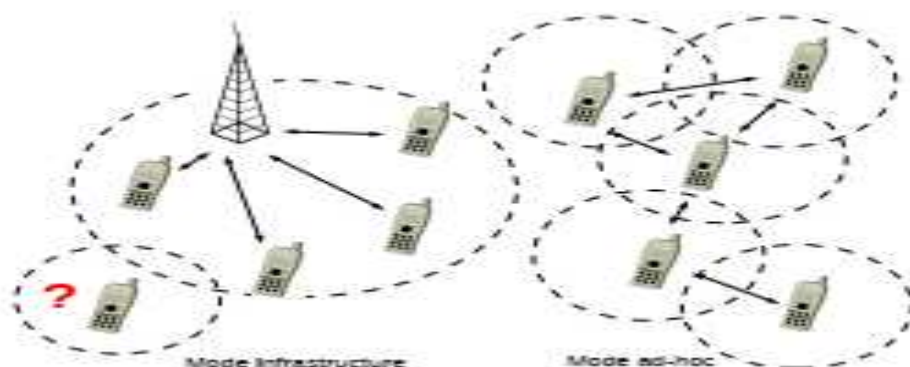
Le projet SESAR est donc un projet européen très ambitieux. Son objectif global est de définir et d'implémenter de nouvelles solutions techniques et opérationnelles pour satisfaire les besoins du contrôle aérien. Il permet de multiplier par trois la capacité de l'espace aérien, et de multiplier par dix la sûreté des vols tout en réduisant de 10% les émissions de CO<sub>2</sub> et de 50% les coûts du contrôle aérien. Un projet similaire existe aux Etats-Unis sous la direction de la FAA. Il s'agit de NEXTGEN (Next Generation Air Transportation System). Dans le contexte du projet SESAR, l'infrastructure retenue sera basée sur plusieurs nouveaux systèmes de communication de données numériques qui seront déployés progressivement :



**Figure 1.8** – Nouveaux systèmes et nouvelles applications.

- Un système de communication directe pour les zones continentales, le **LDACS** (L-band Digital Aeronautical Communication System). Deux versions sont actuellement candidates pour ce système : le L-DACS 1 et L-DACS 2. Les deux systèmes opèrent en bande L et offrent une capacité d'environ 200 kbit/s. Le L-DACS 1 utilise une méthode de partage du canal en fréquence (FDD : Frequency Division Multiplex) et une modulation de type OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Le L-DACS2 est basé sur une méthode de partage temporel du canal (TDD : TIME DIVISION MULTIPLEX) et utilise une modulation de type CPFSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying). Des prototypes de chacune des deux versions sont actuellement en cours de développement pour des tests en situation réelle puis retenir la version adéquate.
- Un système par satellite défini dans le programme **IRIS** de l'Agence Spatiale Européenne. Une solution par satellite reste nécessaire pour répondre aux exigences de disponibilité, de capacité et de qualité de service des futures communications aéronautiques, en particulier en espace océanique. Le débit offert par le satellite IRIS devrait être de quelques dizaines de kbit/s.
- Un système pour les communications avec les avions dans les aéroports (Airport Surface Datalink) appelée l'**Aeromacs**. Il s'agit d'une adaptation du standard IEEE 802.16 (Wimax) qui fonctionnera en bande C (4 à 8 GHz). Ce système doit permettre un accès haut débit pour télécharger par exemple des cartes ou de mettre à jour des bases de données.
- La figure résume cette infrastructure. On peut noter que les différents sous-systèmes sont interconnectés par des liaisons terrestres. De plus, des

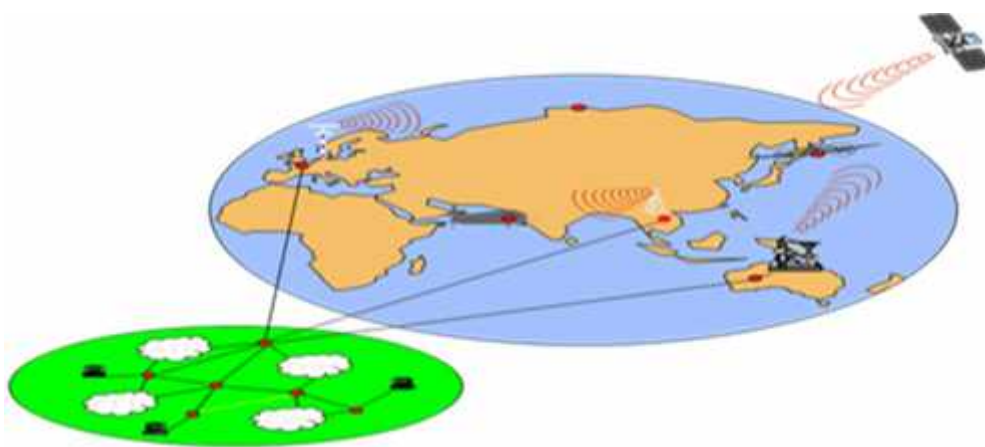
communications directes entre avions sont envisagées. En généralisant cette dernière solution et en dotant les équipements embarqués de fonctionnalités de routage et réacheminement des données, on peut imaginer de finalement proposer des réseaux ad hoc aéronautiques. Il s'agit alors d'un réseau Ad Hoc mobile dont les nœuds seraient les avions en vol. Même si quelques projets ou études ont abordé ce sujet, cette dernière solution est certainement celle qui représente le champ d'investigation le plus ouvert d'un point de vue recherche.



**Figure I.9** - Réseau AD-HOC

### I.8.Le réseau ATN :

Le comité FANS a proposé qu'un réseau mondial de télécommunications aéronautiques (ATN) intègre les différents supports de communication, notamment le service mobile aéronautique par satellite (AMSS), la liaison de données VHF, la liaison de données Mode S par radar de surveillance secondaire (SSR), / réseaux publics sol-sol. Basé sur le modèle de référence d'interconnexion de systèmes ouverts (OSI) de l'Organisation internationale de normalisation (ISO), l'ATN couvre les frontières organisationnelles et internationales, créant ainsi un service de transfert de données commun.



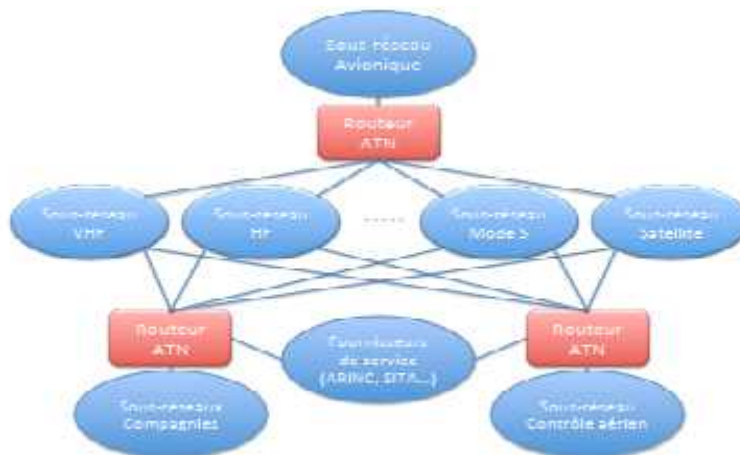
**Figure 1.10** –Aeronautical telecommunication Network (ATN).

Le modèle architectural de l'ATN est basé sur le modèle de référence OSI. Il distingue deux types de systèmes :

- Les systèmes d'extrémité (ES) hébergent les applications qui utilisent les services de communication ATN pour échanger des données. Ils contiennent le logiciel d'application «utilisateur final», ainsi que les couches de communication ATN qui offrent les services de communication ATN aux applications.
- Les systèmes intermédiaires (IS) contrôlent le routage des informations sur le réseau. Le routage des paquets d'informations est une fonction complexe, en particulier sur l'ATN où les hôtes mobiles doivent être pris en charge. Les IS sont entièrement responsables de la fonction de routage, ce qui permet aux SE de se concentrer sur les applications de l'utilisateur final.

Alors que l'ATN a été réalisé comme prévu et est maintenant déployé en Europe, en Amérique du Nord et en Extrême-Orient, la technologie de communication sous-jacente s'est concentrée sur VDL Mode 2. La liaison de données Mode S s'est avérée lente et coûteuse. Seule technologie disponible dans les régions océaniques, elle est également lente et coûteuse. Les futures technologies de communication utilisées pour l'ATC pourraient inclure les communications terrestres SATCOM à large bande passante et les communications terrestres à large bande. L'ATN a montré qu'il pouvait être adapté aux nouvelles technologies et constituer le fondement des futures communications ATC DataLink.

Le réseau de télécommunications aéronautiques (ATN) de l'OACI est avant tout une stratégie visant à rassembler tous les types de réseaux air / sol et sol / sol en un «réseau» unique. Il a été conçu pour interconnecter les différents systèmes de communications, y compris les systèmes existants.



**Figure I.11** - Architecture ATN.

## Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons pu voir les différents services assurant communication en aéronautique, nous nous sommes étalés sur les limites de capacités des communications vocales, ensuite mentionnés les types communication existant en aéronautique ainsi que les sous-réseaux existants.

Durant nos recherches, nous avons pu élaborer les solutions proposés par liaison sol et liaison satellitaire afin de donner un aperçu sur les communications satellitaire.

En fin, nous avons donné un exemple de communication par satellite déjà existant, utilisé pour transmettre des données VHF, que l'on va aborder dans le prochains chapitre de ce mémoire.



## **CHAPITRE II**

### Introduction à la VHF

## II.1.Introduction

La bande aéronautique VHF est une bande de fréquences du spectre radioélectrique, réservée à l'aéronautique par des traités internationaux. Elle est utilisée pour les communications à courte et moyenne distance entre les pilotes et le personnel des stations au sol. Elle permet de transmettre des clairances et des informations importantes pour la sécurité de la circulation aérienne et l'efficacité de la gestion du trafic aérien.

Le contrôle aérien et les pilotes communiquent pour l'essentiel en VHF correspondant à des fréquences entre 30 et 300 MHz mais seule la plage 108-137 MHz est utilisée en aéronautique. La bande aéronautique entre 108 – 117,975 MHz est attribuée aux systèmes de navigation VHF (Localiser ILS, VOR, BAS/VDB, VDL mode 4). La bande entre 118 et 137 MHz est utilisée pour les communications à courte et moyenne distance entre les pilotes et le personnel des stations au sol.

Cette bande de fréquence est de grande importance et subit actuellement des mutations structurelles étant donné que satisfaire aux demandes d'assignations de fréquence est devenu aujourd'hui de plus en plus difficile car les demandes pour les besoins des fournisseurs de services de navigation aérienne ne cessent de croître.

## II.2.Spectre de radiofréquences :

Les fréquences radioélectriques et les orbites de satellites sont des ressources précieuses et limitées, exploitées par différents systèmes fondés sur la radiodiffusion, qui ouvrent d'immenses possibilités de développement social. Les progrès technologiques constants ont rendu possible une variété de nouvelles applications qui ont accru l'intérêt et la demande à l'égard du spectre. Les sociétés modernes sont beaucoup plus tributaires des radiocommunications, sous une forme ou une autre, depuis quelques années et le spectre est soumis à des demandes toujours plus grandes sous l'effet de la multiplication et de la diversification des applications – qui exigent souvent une large bande passante – et de la hausse considérable des attentes des utilisateurs. 1.2 Un grand nombre de services, systèmes et applications recourent énormément au spectre des fréquences radioélectriques: systèmes de radiocommunication fixes et mobiles, radiodiffusion, secteur aéronautique, transport ferroviaire et maritime, défense, électronique médicale, services d'urgence, contrôle et Surveillance à distance, radioastronomie, exploitation de la terre , recherche spatiale et une foule d'autres application.

## II.3.Terminologie Officielle

Une onde radio est classée en fonction de sa fréquence exprimée en Hz ou cycles par seconde ; l'ensemble de ces fréquences constitue le spectre radiofréquence. Le spectre est divisé conventionnellement en bandes d'une décade, dont les appellations internationales sont normalisées.

Désignation internationale	Fréquence	Longueur d'onde	Exemples d'utilisation
<b>ELF</b> (Extremely Low Frequency)	3 Hz à 30 Hz	100 000 km à 10 000 km	Détection de phénomènes naturels
<b>SLF (Super Low Frequency)</b>	30 Hz à 300 Hz	10 000 km à 1 000 km	Communication avec les sous-marins
<b>ULF (Ultra Low Frequency)</b>	300 Hz à 3 000 Hz	1 000 km à 100 km	Détection de phénomènes naturels
<b>VLF (Very Low Frequency)</b>	3 kHz à 30 kHz	100 km à 10 km	Communication avec les sous-marins, Implants médicaux, Recherches scientifiques...
<b>LF</b> (Low Frequency)	30 kHz à 300 kHz	10 km à 1 km	Radioamateur, Radionavigation, Radiodiffusion GO, Radio-identification
<b>MF (medium frequency)</b>	300 kHz à 3 MHz	1 km à 100 m	Radioamateur, Radiodiffusion PO, Service maritime, Appareil de recherche de victimes d'avalanche
<b>HF</b> (High Frequency)	3 MHz à 30 MHz	100 m à 10 m	Organisations diverses, Militaire, Radiodiffusion OC, Maritime, Aéronautique, Radioamateur, Météo, Radio de catastrophe, etc.

<b>VHF (Very High Frequency)</b>	30 MHz à 300 MHz	10 m à 1 m	Radiodiffusion FM, Radiodiffusion RNT, Aéronautique, Maritime, Radioamateur, Gendarmerie nationale française, Pompiers, SAMU, Réseaux privés, taxis, militaire, Météo, etc.
<b>UHF (Ultra High Frequency)</b>	300 MHz à 3 GHz	1 m à 10 cm	Réseaux privés, militaire, GSM, GPS, téléphones sans fil (DECT), Téléphonie mobile, Wi-Fi, Télévision, Radioamateur, etc.
<b>SHF (Super High Frequency)</b>	3 GHz à 30 GHz	10 cm à 1 cm	Réseaux privés, Wi-Fi, Téléphonie mobile, Micro-onde, Radiodiffusion par satellite (TV), Faisceau hertzien, Radar météorologique, Radioamateur.
<b>EHF (extremely high frequency)</b>	30 GHz à 300 GHz	1 cm à 1 mm	Réseaux privés, Téléphonie mobile, Radars anticollision pour automobiles, Liaisons vidéo transportables, Faisceau hertzien, Radioamateur, etc.
<b>Téraherz</b>	300 GHz à 3 000 GHz	1 mm à 100 $\mu$ m	Scanner corporel

**Tableau II.1** : Spectre radiofréquences.

#### II.4. Description des bandes de fréquences :

La répartition des fréquences est effectuée par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) Organisme international dont le siège est à Genève et qui dépend de l'ONU. Divers modes de classification sont utilisés par désignation les bandes de fréquences du spectre EM.

## II.5 Portée et propagation :

La portée des ondes VHF étant quasi-optique, cette bande est utilisée pour des communications à courte ou moyenne distance. Pour des communications sur de grandes distances (traversée des océans, etc.), la bande HF est utilisée.

La portée  $D$  (en milles nautiques) entre un aéronef de hauteur  $H$  (en pieds) et une station au sol de hauteur  $h$  (en pieds) est exprimée par la relation :

$$D = 1,23(\sqrt{H} + \sqrt{h}) \quad (\text{II.1})$$

ou, avec  $H$  et  $h$  en mètres et  $D$  en kilomètres :

$$D = 4,188(\sqrt{H} + \sqrt{h}) \quad (\text{II.2})$$

Les ondes radioélectriques ou ondes hertziennes sont des ondes électromagnétiques qui se propagent de deux façons :

- dans l'espace libre (propagation rayonnée, autour de la Terre par exemple)
- dans des lignes (propagation guidée, dans un câble coaxial ou un guide d'onde)

## II.6 Intérêt de l'étude de la propagation des ondes radio :

Il est essentiel de comprendre les principes de la propagation des ondes pour pouvoir prédire les chances et les conditions d'établissement d'une liaison radio entre deux points de la surface de la Terre ou entre la Terre et un satellite.

Cela permet par exemple :

- Le calcul de la puissance minimale d'un émetteur de radiodiffusion afin d'assurer une réception confortable sur une zone déterminée ;
- la détermination de la position d'un relais pour la radiotéléphonie mobile ;
- l'estimation des chances d'établissement d'une liaison transcontinentale sur ondes courtes ;
- l'étude des phénomènes d'interférence entre émetteurs ;

- le calcul du champ électromagnétique à proximité d'un équipement d'émission (radar, relais, tour de transmission...) pour déterminer les risques encourus par la population se trouvant à proximité.
- l'anticipation de la transmission par calcul de la couverture de l'émetteur, des phénomènes de propagation qui ont lieu à travers le canal (guidage d'onde, réflexions, diffractions, etc.).

Le niveau du signal reçu à l'extrémité du parcours sera plus ou moins élevé donc plus ou moins exploitable en fonction de la fréquence d'émission, l'époque par rapport au cycle solaire, la saison, l'heure du jour, la direction et la distance entre l'émetteur et la station réceptrice, etc. L'étude des lignes de transmission et des phénomènes de propagation d'un signal dans une ligne peut aider à optimiser les câbles utilisés dans l'établissement d'un réseau de transmission ou pour l'alimentation d'une antenne.

### II.6.1 Dans l'espace :

- **Déplacement d'une onde électromagnétique dans l'espace**

Les ondes provoquées par la chute d'un caillou à la surface d'un étang se propagent comme des cercles concentriques. L'onde radio émise par l'antenne isotrope (c'est-à-dire rayonnant de façon uniforme dans toutes les directions de l'espace) peut être représentée par une succession de sphères concentriques. On peut imaginer une bulle se gonflant très vite, à la vitesse de la lumière  $c$ , très proche de 300 000 km/s. Au bout d'une seconde, la sphère a 600 000 km de diamètre. Si le milieu de propagation n'est pas isotrope et homogène, le front de l'onde ne sera pas une sphère.

Dès que l'onde électromagnétique s'est suffisamment éloignée de sa source (à une distance de l'ordre de la longueur d'onde), on peut la considérer comme constituée par l'association d'un champ électrique  $E$  et d'un champ magnétique  $H$ . Ces deux champs oscillants sont orthogonaux entre eux et orthogonaux à la direction de propagation. Le rapport  $E/H$  entre l'amplitude de ces deux champs est égal à 377 ohms. La connaissance de l'un entraîne la connaissance de l'autre. Pour cette raison, on définit en général l'amplitude de l'onde par l'amplitude de son champ électrique.

Comme une onde radio est une vibration, au bout d'une période, l'onde aura parcouru une distance notée  $\lambda$  et appelée longueur d'onde. La longueur d'onde est une

caractéristique essentielle dans l'étude de la propagation ; pour une fréquence donnée, elle dépend de la vitesse de propagation de l'onde.

On appelle polarisation d'une onde radio la direction du champ électrique. Par exemple, une antenne filaire verticale émettra une onde polarisée verticalement, c'est-à-dire avec un champ E vertical. Mais on peut trouver des ondes dont le sommet du vecteur E décrit une ellipse: La polarisation est elliptique. Une onde à polarisation elliptique peut être considérée comme la superposition des deux ondes "linéaires" polarisées à 90° l'une de l'autre.

- **Variations du champ électrique**

Plus on s'éloigne de l'antenne, plus l'intensité du champ électromagnétique rayonné est faible. Cette variation est régulière dans un espace homogène, dans le vide, par exemple. Dans ce cas, la puissance transportée par l'onde par unité de surface est inversement proportionnelle au carré de la distance à la source (dès que l'on atteint une distance dite de Fraunhofer). Le champ électrique de l'onde est, lui, inversement proportionnel à la distance : le champ est divisé par deux si on se trouve deux fois plus loin. Pour calculer le champ à une distance D de l'antenne, il est important de définir si E désigne l'amplitude maximale du champ, ou bien la valeur efficace du champ. Il faut également définir l'antenne : doublet électrique élémentaire, dipôle demi-onde, antenne isotrope, etc.

- **Les causes de dégradation du signal :**

La qualité du signal transmis et reçu peut être dégradée, suite à l'effet de nombreux facteurs, pouvant être autant d'origine naturelle qu'artificielle. Les causes naturelles de dégradation du signal sont principalement les atténuations subies par celui-ci au long de son trajet, sous l'effet des différents paramètres géophysiques, en particulier le soleil, les nuages, la pluie, mais aussi des différentes couches atmosphériques traversées par le signal ; tandis que les causes artificielles proviennent essentiellement de l'action des composants constitutifs des appareils du système, les composants électroniques.

$$L_{FS} = (4\pi d / \lambda)^2 = (4\pi d f / c)^2 \quad (\text{II.3})$$

## II.6.2 Les pertes de propagation :

### II. 6.2.1 Pertes en espace libre :

Elles sont les plus importantes en termes de perte de puissance du signal. Afin d'évaluer les pertes en espace libre, il est important de déterminer les pertes dans le cas d'une propagation sous un ciel clair. Celles-ci restent constantes avec le temps. Elles se calculent comme indiqué par la formule :

$$PEL = 10 \log (4\pi r f / c)^2 \quad (\text{II.4})$$

Où : f est la fréquence de communication sur la liaison

r est la distance entre l'émetteur et le récepteur

PEL sont les pertes en espace libre.

### II.6.2.2 Pertes atmosphériques :

Elles résultent de l'absorption de l'énergie du signal par les gaz atmosphériques. On en distingue deux principaux types : l'absorption et l'atténuation atmosphérique, qui résultent majoritairement des effets de l'ionosphère et de la troposphère.

- **Les effets de l'ionosphère :**

Les ondes radio transmises par le satellite en direction de la Terre et vice versa, traversent l'ionosphère, la couche la plus haute de l'atmosphère. Celle-ci contient des particules ionisées provenant des radiations solaires. Les électrons libres forment des nuages ou couches qui résultent en ce que l'on qualifie de perturbations ionosphériques dans le déplacement de l'onde. Les effets résultant sont : la rotation de la polarisation, les effets de scintillation, l'absorption du signal, la variation de la direction d'arrivée du signal, l'incrémentement du délai de propagation du signal, la dispersion du signal, le changement de fréquence.

Les effets les plus importants sont la rotation de polarisation et les effets de scintillation, qui sont d'une grande influence pour les communications par satellite.

- **La rotation de la polarisation :**

Lorsque l'onde radio passe au travers de l'ionosphère, il rencontre les nuages d'électrons qui se déplacent conformément au champ magnétique de la Terre. A cause de la



rencontre, la direction de ces électrons ne sera plus parallèle au champ électrique de l'onde, changeant ainsi sa polarisation.

- **Les effets de scintillation :**

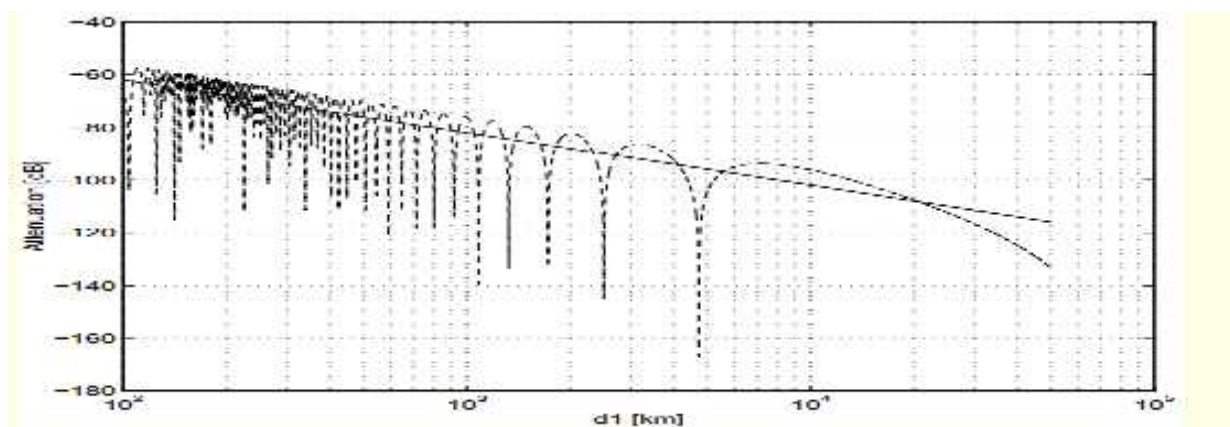
Ceux-ci résultent de la différence des indices de réfraction dans l'atmosphère et de l'effet multi trajet, dus aux différentes directions que les rayons diffractés prendront dans l'atmosphère, et se manifestent en changement de l'amplitude, de la phase, de la polarisation et de l'angle d'arrivée des ondes radio au niveau du réception.

- **Les effets de la troposphère :**

La troposphère est une couche de l'atmosphère composée de molécules de plusieurs composés chimiques et de gaz atmosphériques. Lors de sa traversée par les ondes radio, ces dernières peuvent subir des effets tels que la dispersion, la dépolarisation, l'absorption et par conséquent être atténuée.

- **L'atténuation :**

lorsque l'onde radio traverse la troposphère, l'énergie radio fréquence va être convertie en énergie thermique, ce qui aura pour effet d'atténuer le signal. Elle va aussi être dispersée dans plusieurs directions de l'espace, ce qui implique qu'une partie de l'onde ne parviendra pas à l'antenne de la station de réception. Ce phénomène est plus présent pour les bandes de fréquence se situant au dessus de 10GHz [9].



**Figure II.1:** Atténuation du signal en fonction de la distance – trait continu : en espace libre et trait interrompu en présence d'une réflexion.

- **Absorption due aux gaz :**

Dans des conditions normales, seuls l'oxygène et la vapeur d'eau contribuent à l'absorption atmosphérique ; les autres gaz ne prennent de l'importance que lorsque l'air est

très sec, au-delà des 70GHz. Par conséquent, les pertes dues à l'absorption atmosphérique varient en fonction de la fréquence. Elle est représentée dans le calcul du bilan de liaison par le paramètre Labs. En dehors de ces deux catégories de pertes, on distingue également les pertes locales. Elles font ici référence à la proximité des stations terriennes, qui peut être source d'interférences pour le signal reçu. Mais ce facteur est généralement peu important et même négligeable pour les liaisons satellitaires.

#### **II.6.2.3. Pertes dues au pointage des antennes :**

Pour une réception idéale, la valeur des pertes sont dues au défaut d'alignement des stations émettrices et réceptrices. Ce qui implique que, une fois que les deux stations sont alignées à 100%, le gain maximum de l'antenne de la station au sol est atteint. On distingue deux types de défauts d'alignement :

Les off-axis loss au niveau des satellites, considérés comme défaut de fabrication de l'antenne ; Les off-axis loss au niveau de la station au sol, représentant les pertes dues au pointage de l'antenne.

#### **II.6.2.4. Les pertes locales :**

Nous faisons ici référence aux pertes sur la qualité du signal au niveau des stations terriennes.

- **Pertes dues aux équipements :**

Les pertes dans le feeder se manifestent au niveau des composants se trouvant entre l'antenne de réception et l'équipement de réception du récepteur (télévision, téléphone portable...), tels que les coupleurs, les filtres, les guides d'ondes. Elles sont présentes autant en émission qu'en réception, et se manifestent dans le cas de l'émission entre l'antenne d'émission et la sortie du HPA (High Power Amplifier ou amplificateur de grande puissance).

- **Pertes dues à l'environnement :**

Elles dépendent de la région géographique dans laquelle se situe la station terrienne en liaison avec le satellite. En effet, chaque région possède ses caractéristiques, en fonction de ses coordonnées géographiques, ce qui peut dans certains cas provoquer une variation du signal reçu, comme par exemple atténuer celui-ci dans le cas où la distance entre la station au sol et le satellite est élevée ou dans les zones tropicales sujettes à de forts taux de précipitations.

- **Les autres facteurs :**

Influençant le signal En dehors des facteurs présentés ci-dessus, on distingue d'autres paramètres qui peuvent avoir une influence non négligeable sur le signal et sa propagation.

- **L'éclipse solaire :**

Ce sont des pertes de communication entre le satellite et les stations terriennes dues au fait que le soleil obscurcisse le satellite pendant une certaine période. Dans ce cas-là, la station au sol voit le soleil derrière le satellite. Ce phénomène a lieu 5 ou 6 jours avant l'équinoxe et peut durer au maximum 8 minutes, soit un total de 60 minutes par an. Il se manifeste par une élévation de la température de bruit du système, qui peut entraîner des conséquences négatives sur le système de communication. Ce phénomène affecte tous les types de satellites, excepté les satellites LEO.

- **L'éclipse satellitaire :**

Il survient lorsque le satellite croise le cône d'ombrage de la Terre. Elles apparaissent le 21 mars et le 23 septembre et durent au maximum 70 minutes, pouvant provoquer des changements en température dans le système, notamment une élévation de la température du système. Durant cette éclipse, les satellites fonctionnent sur batterie et certains transpondeurs sont déconnectés. Ce phénomène n'affecte que les satellites géosynchrones du fait de leur position fixe par rapport à la Terre.

## II.7. Architecture des stations VHF ENNA :

Les stations VHF sont composées des équipements suivants :

- ❖ **Radio Numérique AM VHF :** Cette radio permet le :

- Traitement avancé du signal numérique (DSP).
- Contrôle à distance via Ethernet.
- Configuration et contrôle faciles.
- Fonctionnement en mode AM et VDL 2.
- Design compact.
- Signalisation intrabande pour PTT et Squelch.
- Cycle de service continu.
- Support décalé.

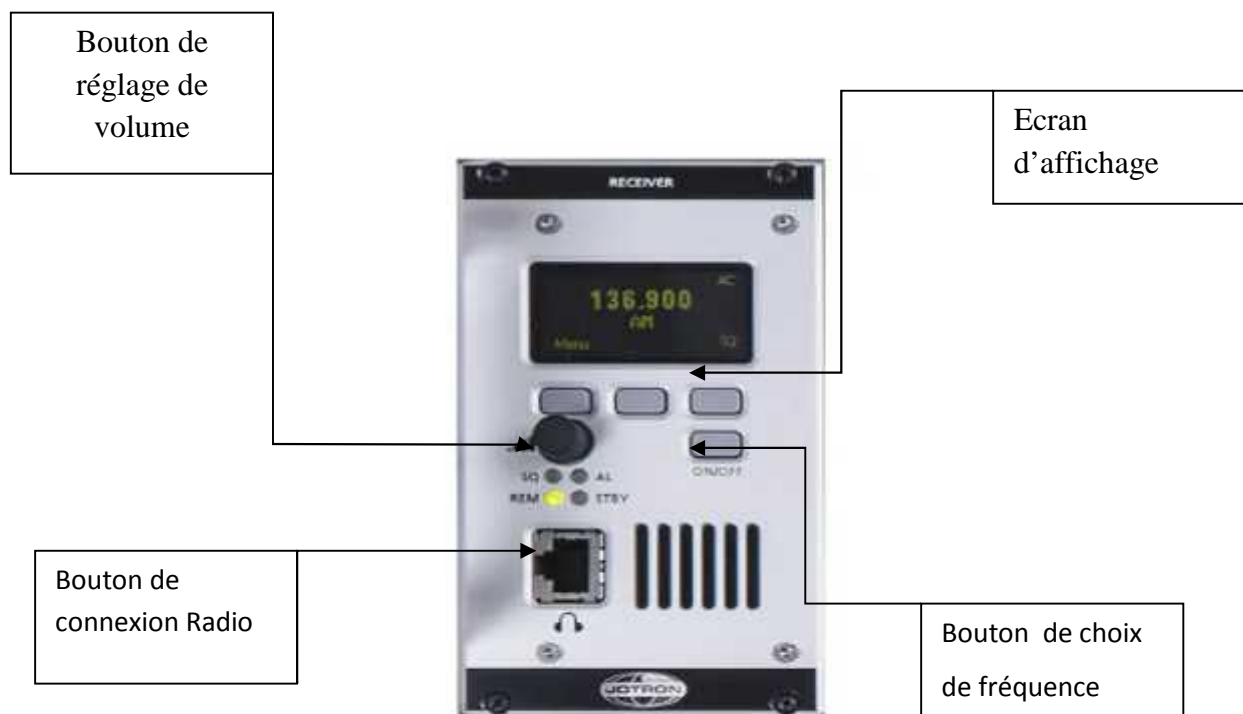
- VoIP selon ED-137.
- Temps de démarrage <6 secondes.
- Fonctionnement en parallèle (interfaces analogiques et VoIP).

La radio est de marque Jotron 7000 avec d'excellentes performances RF dans les zones encombrées



**Figure II.2 :** TR-7750 VHF AM Digital Multimode Transceiver 50w.

Voici une partie en zoom du Transceiver



### ❖ Unité de changement d'antenne :

L'unité de changement d'antenne Jotron, ACU3 est un relais d'antenne de secours principal qui commute l'antenne de l'unité principale à l'unité de secours si une erreur se produit dans l'unité principale.

L'ACU3 peut être fixé sur un rail DIN avec des clips ou monté sur le mur d'un sous-rack.

#### Modes de fonctionnement

L'unité peut fonctionner dans différents modes. La sélection du mode se fait à l'aide du commutateur DIP situé sur la carte à l'intérieur de l'unité. Il existe deux modes de fonctionnement distincts, à clé ou à alarme. En mode contrôlé par clé, l'ACU sélectionnera l'émetteur qui est entré et restera sur cet émetteur jusqu'à ce que l'autre émetteur soit entré. L'autre mode principal est contrôlé par alarme. Dans ce mode, le relais ACU3 est contrôlé par l'état d'alarme des émetteurs. Chaque mode a différentes options qui peuvent être activées ou désactivées. Reportez-vous au tableau 1 pour plus de détails sur tous les modes de fonctionnement et options.

Noter! En raison du temps de commutation dans le relais RF, un délai RF de 5 ms doit être défini dans les deux émetteurs lors de l'utilisation du mode contrôlé par clé.



**Figure II.4-**Unité de changement d'antenne.

### ❖ Coupleur VHF Hybrid :

Coupleur VHFJotronHybrid est un coupleur hybride qui peut être utilisé pour distribuer les signaux de deux antennes à deux récepteurs, ou les signaux de deux récepteurs de deux émetteurs.

Le coupleur Hybrid peut être monté sur le mur d'un sous-rack.



**Figure II.5** - Coupleur VHF Hybrid

### ❖ Microphones Portable Peiker Tm110/ Peiker Tm168 Col De Cygne

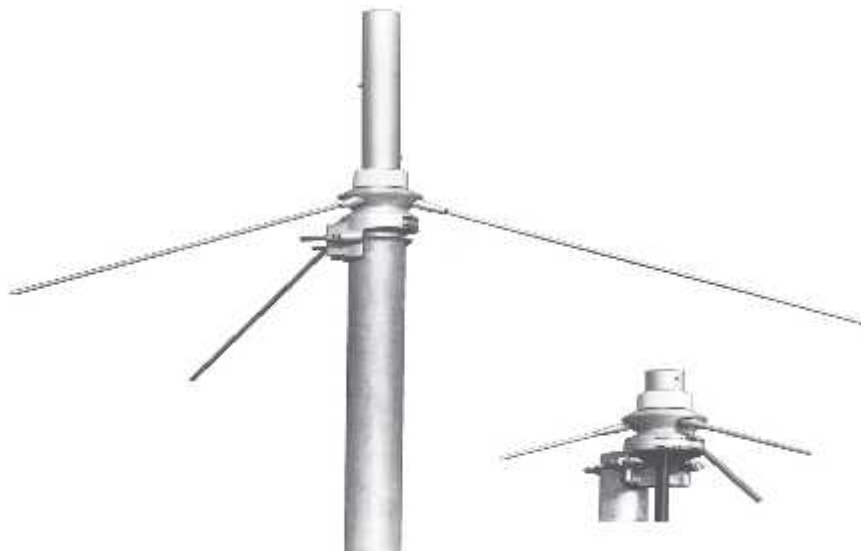
Les PeikerTM110TF et TM168 sont des dynamiques de qualité professionnelle microphones dotés de caractéristiques antibruit. A utiliser ensemble

### ❖ Micro-casque supraplusdynamic avec deux canaux de réception indépendants Modele : fds 2492-01

Les micro-casques/oreillettes Plantronics Supra Plus Dynamic tirent parti de la conception éprouvée de la norme HW261N pour définir de nouvelles normes en matière de confort, de fiabilité et de qualité audio. Les microphones antibruit dynamiques permettent des communications claires et sans interruption dans les applications critiques. La conception serre-tête offre une tenue stable pour une usure prolongée. Des coussinets Circummaural (vendus séparément) sont également disponibles. Modèles et références : SDS 2491-01 – N/P

92491-01 (casque binaural avec déconnexion rapide supra) SDS 2491-02 – N/P 92491-02 (casque binaural avec déconnexion rapide série H) SDS 2610-01 – N/P 92610-01 (casque binaural avec déconnexion rapide TA6M) P/N 83195-01 (kit circum bruyant)

❖ **Antenne omnidirectionnelle 116 – 152 MHz/K512631**



**Figure II.6** - Schéma de l'antenne VHF

❖ **GRC Système de commande et de surveillance à distance<sup>31</sup> :**

Au nom de Remote Control and Monitoring System (Le RCMS) permet non seulement aux utilisateurs de surveiller les alarmes et l'heure, mais c'est un système complet de test et de mesure radio qui permet au technicien d'effectuer à distance des mesures qualificatives complètes aussi facilement que s'il était physiquement présent au site de la radio.

Associé à l'outil de reporting complet intégré au système RCMS, cela permet d'économiser du temps et de l'énergie pour les opérateurs du réseau radio.

## Conclusion :

Durant la présentation de ce chapitre, nous avons pu décrire le réseau VHF installé sur les sites choisis, et nous avons avant cela fait une initiation pour comprendre la VHF aéronautique ainsi que ses caractéristiques ;

Nous avons pu faire un résumé sur les modes de propagation des signaux qui sont traduits en données à transmettre via un support de données. Dans notre projet, on a choisi le support de transmission Satellitaire à l'aide d'une station VSat qui sera le sujet du prochain chapitre de ce mémoire.



## **CHAPITRE III**

### Transmission de données Via Satellite

## Introduction :

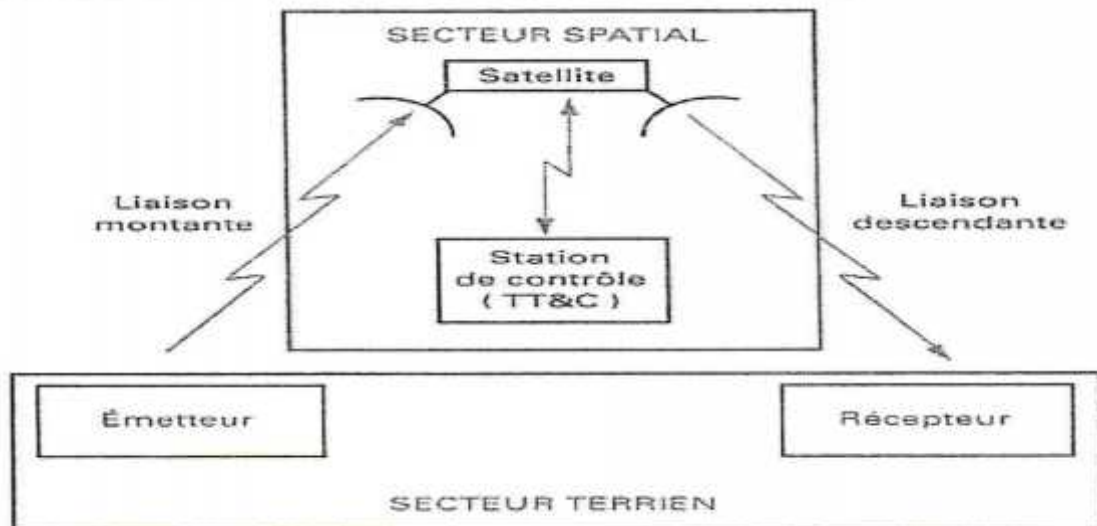
Ce chapitre aura pour but d'apporter les explications et les informations utiles sur la transmission de données par satellite, cette technique qui nécessite une architecture bien précise qui se compose essentiellement de deux segments : le segment spatial et le segment terrestre, on commencera par le segment spatial, les notions de base sur les satellites et l'ensemble des stations de poursuite situés au sol , on poursuivra par le segment terrien constitué des stations terriennes a savoir dans notre étude les stations VSAT ou on citera les différentes technologies et les équipements utilisés, et la technique choisie pour la transmission de la donnée VHF via VSAT.

Tout d'abord, nous allons nous intéresser à la structure d'un satellite, ainsi qu'aux techniques Utilisées pour réaliser les différentes liaisons. Ensuite, nous nous attarderons sur les notions de station terrienne et de VSAT.

### III.1. LIAISON SATELLITAIRE :

Un système de télécommunication par satellite est décomposé en deux principaux secteurs:

- Le secteur spatial
- Le secteur terrien.



**Figure III.1** - Composition d'un système de télécommunication par Satellite.

### III.1.1. Le secteur spatial :

Le secteur spatial est constitué par:

- le satellite lui-même;
- l'ensemble des stations de contrôle au sol, c'est à dire les stations télémétrie et de télécommande appelées TT&C (Tracking, Telemetry and Command);
- le centre de contrôle du satellite, où sont décidées toutes les opérations liées au maintien opérationnel, et où sont vérifiées les fonctions vitales du satellite.

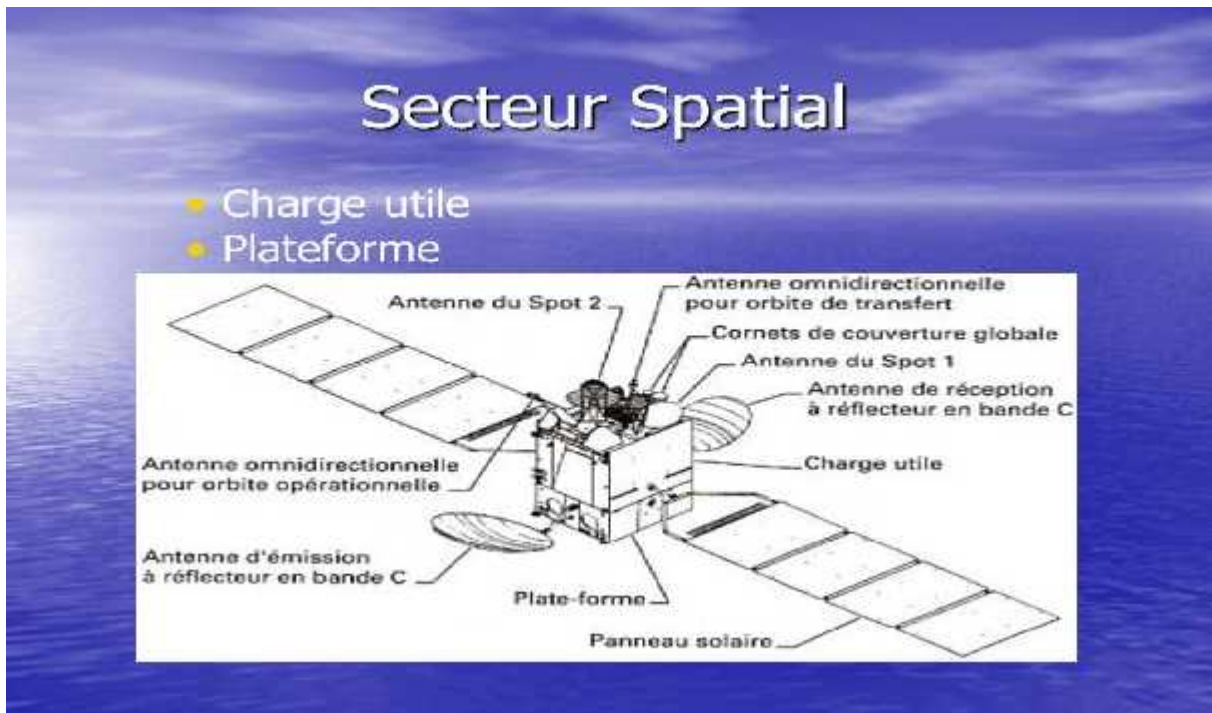


Figure III.2 - Secteur Spatial.

#### III.1.1.1. Les satellites

Un satellite de télécommunication peut être considéré comme une sorte de relais hertzien. En effet, il ne s'occupe pas de la compréhension des données: ce n'est qu'un simple miroir. Son rôle est de régénérer le signal qu'il a reçu et de le retransmettre amplifié en fréquence à la station réceptrice. Le satellite offre également une capacité de diffusion. C'est-à-dire qu'il peut retransmettre les signaux captés depuis la terre vers plusieurs stations. La démarche inverse peut également être effectuée. Le satellite peut récolter des informations venant de plusieurs stations différentes et les retransmettre vers une station particulière.

Les fréquences porteuses sont situées dans le domaine des micro-ondes ou bande SHF (3-30 GHz).

Le satellite est constitué de 2 sous-systèmes principaux:

- La charge utile qui exécute les fonctions définies par la mission
- La plateforme qui permet à la charge utile de remplir sa mission.

Les satellites utilisent la force gravitationnelle de notre planète afin de se maintenir à une position et à une distance déterminée de la terre. Il est ainsi possible de définir à tout moment quelles sont les caractéristiques du satellite pour établir des transmissions. Le satellite évolue sur une trajectoire appelée orbite. Il peut être sur une orbite basse(LEO), géosynchrone (MEO) ou géostationnaire(GEO)

- Les orbites géostationnaires (GEO): situé sur le plan équatorial à une altitude de 3578Km, dans ce cas les satellites semblent fixes et immobiles pour un utilisateur sur la terre ;
- Les orbites terrestres basses (LEO): les satellites sont conçus pour fonctionner à Des altitudes comprises entre 400 et 1500 Km ;
- Les orbites terrestres moyennes (MEO): les satellites gravitent à une altitude s'échelonnant entre 7000 et 12000 Km.

Le signal est reçu par l'antenne. Puis il est amplifié et converti à la fréquence descendante par le récepteur. Il traverse les commutateurs, atténuateurs et multiplexeurs, avant d'être amplifié et rayonné vers la terre. La grande partie de l'énergie transmise est perdue lors de la propagation du signal dans l'espace. La performance d'un satellite de télécommunications est essentiellement évaluée grâce au bilan de liaison.

### **III.1.1.2. Couverture d'un Satellite de télécommunication géostationnaire et le délai de propagation de son signal :**

Le satellite de télécommunication fait le rôle d'un relais hertzien, il capte le signal reçu de la station au sol et le transmet après l'avoir amplifier à la station réceptrice ;

Outre sa position fixe par rapport à la surface de la planète, le satellite géostationnaire présente l'avantage, du fait de l'altitude élevée, que ses instruments peuvent communiquer/observer pratiquement un tiers de la planète. Avec trois satellites on peut ainsi assurer une couverture de l'ensemble de la planète. Toutefois les zones situées

aux latitudes élevées ( $> 60^\circ$  latitude) reçoivent un signal perturbé, et des satellites suivant une orbite différente (Orbite de Molnia) sont généralement utilisés. La contrepartie de la grande distance du sol est que les instruments d'observation loin de la surface de la Terre ont une résolution faible et que le temps de transmission d'une émission est nettement perceptible (plus de 0,2 seconde pour une communication Terre-satellite-Terre), ce qui interdit ou limite certaines applications de télécommunications nécessitant une faible latence.

### III.1.1.3. Les bande de fréquences :

La plupart des fréquences utilisées pour les télécommunications par satellite se situent dans les bandes SHF et VHF du spectre de fréquences radioélectriques. Nous avons:

Symbole littéral	Utilisation pour radar (GHz)		Radiocommunications spatiales	
	Régions du spectre	Exemples	Désignation nominale	Exemples (GHz)
L	1-2	1,215-1,4	Bande des 1,5 GHz	1,525-1,710
S	2-4	2,3-2,5 2,7-3,4	Bande des 2,5 GHz	2,5-2,690
C	4-8	5,25-5,85	Bande des 4/6 GHz	3,4-4,2 4,5-4,8 5,85-7,075
X	8-12	8,5-10,5	–	–
Ku	12-18	13,4-14,0 15,3-17,3	Bande des 11/14 GHz Bande des 12/14 GHz	10,7-13,25 14,0-14,5
K	18-27	24,05-24,25	Bande des 20 GHz	17,7-20,2
Ka	27-40	33,4-36,0	Bande des 30 GHz	27,5-30,0
V	–	–	Bande des 40 GHz	37,5-42,5 47,2-50,2

**Tableau III.1** – Les bandes de fréquences utilisés pour les télécommunications par satellite.

### III.1.2. Paramètres de la Bande C :

La bande C est la partie du spectre électromagnétique définie par les fréquences :

- De 3,4 à 4,2 GHz en réception et de 5,725 et 7,075 GHz en émission attribué au service de Radiodiffusion par Satellite (Broadcasting) particulièrement utilisée sur les zones tropicales et faiblement sur les autres zones.

- De 4 à 8 GHz pour des usages comme les radars météorologiques.

La puissance d'émission, qui lui est généralement associée, est relativement faible, en comparaison avec la bande Ku par exemple. Elle nécessite donc des paraboles de grande taille pour sa réception (de 2,5 à 3 mètres de diamètre). Cependant la bande C est moins sensible à la pluie que la bande Ku.

### III.1.3. Le secteur terrien :

Le secteur terrien est constitué de l'ensemble des stations terriennes. Elles sont le plus souvent raccordées aux terminaux des usagers par un réseau terrestre. La liaison est directe, dans le cas de petites stations (*VSAT : Very Small Aperture Terminal*) et de stations mobiles. Cette partie sera largement abordée dans le point suivant.

## III.2. STATION TERRIENNE :

### III.2.1. Présentation générale :

Une station terrienne constitue le terminal d'émission et de réception d'une liaison de télécommunications par satellite.

### III.2.2. Fonctionnement en émission :

Les signaux utiles à transmettre attaquent la station terrienne en bande de base au travers d'équipements de multiplexage et de numérisation pour leur mise en trame. Ces équipements sont présentés sous forme de carte. Les signaux traversent les étapes suivantes:

- **La modulation**

Ces signaux numériques mis en trame vont moduler une fréquence porteuse dite Fréquence Intermédiaire (FI) de 70 MHz ou 140 MHz selon le cas.

- **La transposition de fréquence en émission**

La FI est ensuite transposée par un convertisseur de fréquence, Up Converter, dans la bande SHF sur une fréquence définie sur le trajet Station / Satellite par l'exploitant du satellite.

- **Amplification de puissance**

Cette fréquence radio en bande SHF va être amplifiée au niveau des amplificateurs de puissance SSPA pour être ensuite rayonnée au niveau de l'antenne et envoyée vers le satellite.

### III.2.3. Fonctionnement en réception :

Le système d'antenne reçoit les signaux émis par le satellite sur lequel il est pointé et sur les fréquences appariées aux fréquences d'émission. Les signaux captés suivent les étapes suivantes:

- Amplification à faible bruit Les signaux reçus étant très faibles, ils sont amplifiés avec un minimum de bruit électronique.
- Transposition de fréquence en réception

Ces signaux sont ensuite abaissés en fréquence par un convertisseur, Down Converter, pour fournir des signaux exploitables en bande de fréquence intermédiaire (FI) à 70 ou 140 MHz.

- **Démodulation :**

Les fréquences intermédiaires utilisées sont filtrées (passe bande selon le critère de Nyquist) avant d'être démodulées (reconstituées) pour fournir les signaux en bande de base.

- **Restitution utilisateur en bande de base :**

Les circuits de démultiplexage et de conversion assurent alors la restitution des trains numériques aux différents utilisateurs.

La taille des antennes paraboliques permet de distinguer deux catégories principales de station terrienne:

- Les stations de grandes tailles dont le diamètre varie entre 4 et 32 m (station de type IBS).
- Les stations de petites tailles dont le diamètre est inférieur à 4 m (station VSAT).

### III.3. LES TECHNIQUES UTILISEES EN TELECOMMUNICATION :

La mission de télécommunication d'un système à satellite consiste à prendre en charge les informations générées à partir d'une station terrienne, et à les acheminer grâce à un support radioélectrique (ondes porteuses) vers une ou plusieurs stations réceptrices, en utilisant le satellite comme relais radioélectrique. En ce qui concerne les échanges (transmissions et réceptions), il faut distinguer plusieurs techniques, associées entre elles, qui sont utilisées pour les télécommunications par satellite.

#### III.3.1. Les modes de liaison :

Il y a essentiellement deux types de liaison pour les télécommunications par satellites:

- **Les liaisons fixes (de type point à point):**

Il s'agit des liaisons montantes vers un satellite. Dans ce cas, le point d'émission et le point de réception sont parfaitement connus géographiquement, et le trajet de l'information est parfaitement défini.

- **Les liaisons en diffusion hertzienne (de type point à multipoint):**

Le point émetteur est parfaitement connu. Mais la réception se fait sur une zone généralement large dans laquelle les récepteurs sont fixes ou mobiles. Il s'agit, notamment, des émissions de radio ou de télévision reçues par voie hertzienne à partir d'un satellite.

#### III.3.2. La transmission des signaux radioélectriques en bande de base :

Les signaux en bande de base représentent les signaux générés par les terminaux des usagers. Ils sont fournis aux stations terriennes de transmission soit sous forme analogique, soit sous forme numérique.

Pour être transmis par satellite, ces signaux délivrés à la station terrienne modulent une porteuse radioélectrique. Cette porteuse est reçue par le satellite lors d'une liaison ascendante. Et ensuite la station terrienne destinatrice reçoit également à son tour la porteuse lors de la liaison descendante. Pour caractériser la qualité d'une liaison radioélectrique, on considère le rapport  $C/N_0$  entre la puissance  $C$  (en W) de la porteuse et la densité spectrale  $N_0$  (en W/Hz) du bruit total (de station à station) est défini par le rapport  $C/N$ .



### III.3.3. Le multiplexage :

Les signaux délivrés à la station terrienne peuvent être transmis individuellement sur une porteuse radioélectrique ou bien multiplexés. Dans le premier cas, on parle de transmission d'une voie par porteuse SCPC (Single Channel Per Carrier). Dans le second cas, on parle de transmission multivoies par porteuse MCPC (Multi-Channel Per Carrier).

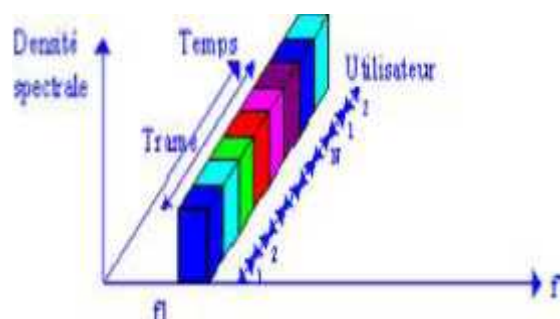
Le multiplexage peut être fréquentiel : c'est le FDM (Frequency Division Multiplex). Ou bien, il peut être temporel : c'est le TDM (Time Division Multiplex).

- ❖ Le FDM permet de partager la bande de fréquence disponible sur la voie haute vitesse en une série de canaux de plusieurs largeurs afin de faire circuler en permanence sur la voie haute vitesse les affluents provenant des différentes voies basses vitesses.
- ❖ Le TDM permet d'échantillonner les signaux des différentes voies basses vitesses et de les transmettre successivement sur une voie haute vitesse en leur allouant la totalité de la bande passante.

De plus, les multiplexages TDM et FDM sont complétés respectivement par des systèmes d'interfaçage comme le TDMA (Time Division Multiple Access), FDMA (Frequency Division Multiple Access) et le CDMA (Coded Division Multiple Access) qui représenteront les techniques d'accès.

#### III.3.3.1. Le mode d'accès TDMA (Time Division Multiple Access) :

Le TDMA permet de travailler à plusieurs émetteurs sur une même fréquence. Chaque émetteur émet successivement son signal et nécessite une bonne gestion des périodes d'émission.

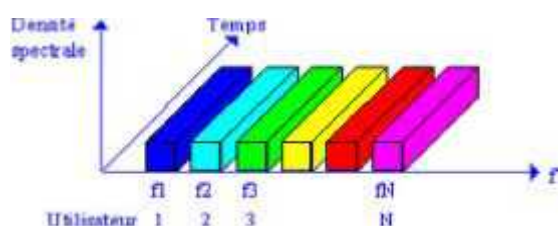


**Figure III.3** - Décomposition du temps a n tranches (TDMA).

### III.3.3.2. Le mode d'accès FDMA (Frequency Division Multiple Access) :

Le FDMA sépare la bande en canaux juxtaposés. Chaque ensemble émetteur-récepteur utilise un canal et donc une fréquence de porteuses différentes. L'émetteur émet une porteuse modulée qui reste à l'intérieur du canal et le récepteur est muni d'un filtre sélectif dont la bande passante correspond à la largeur du canal. Ainsi, le récepteur peut isoler le signal de l'émetteur correspondant et supprimer les signaux des émetteurs adjacents. Deux variantes existent:

- PAMA (PreAssigned Multiple Access): On alloue préalablement des fréquences de transmission aux stations terriennes. La liaison est donc permanente et il n'y a pas de délai d'initialisation d'appel.
- DAMA (DemandAssigned Multiple Access): les fréquences de transmissions sont allouées dynamiquement aux stations terriennes. La liaison est donc temporaire et il y a un délai dû à l'initialisation de l'appel.

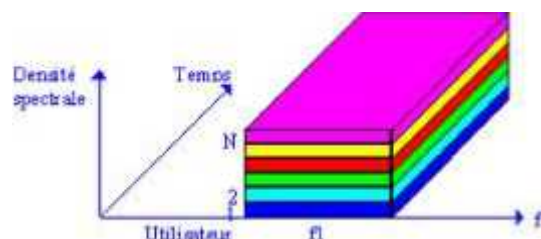


**Figure III.4** - Décomposition de la bande de fréquence à n utilisateurs (FDMA).

### III.3.3.3. le mode d'accès CDMA (Coded Division Multiple Access) :

Le CDMA permet à plusieurs utilisateurs de travailler simultanément sur la même fréquence. La bande disponible est divisée en canaux assez larges. A l'intérieur de chaque canal, plusieurs utilisateurs peuvent travailler simultanément. Le signal à transmettre est mélangé à un code binaire au débit beaucoup plus rapide ce qui donne une émission à spectre relativement large. A chaque émission est associé un code différent ce qui permet à la réception de récupérer le signal à condition de connaître le code utilisé à l'émission. Cela peut provoquer un étalement de spectre.

Grâce à ces systèmes d'interfaçage, les informations multiplexées peuvent être correctement démultiplexées et envoyées au bon destinataire sans risque de confusion.



**Figure III.5 :** technique de multiplexage par N codes différents pour chaque utilisateur (CDMA).

### III.3.4. La modulation utilisée dans les télécommunications satellitaires :

#### III.3.4.1. Modulation analogique :

Pour les signaux analogiques, on utilise le plus souvent la modulation de fréquence. Le choix de la modulation de fréquence résulte de deux considérations:

- La robustesse vis à vis des non linéarités d'amplitude du canal satellitaire.

L'information modulante contenue dans la fréquence instantanée de la porteuse n'est pas affectée par les distorsions d'amplitude.

- La possibilité d'optimiser économiquement la liaison radioélectrique par un échange entre puissance et bande.

#### III.3.4.2. Modulation numérique :

Pour des signaux numériques ou analogiques numérisés, on utilise, le plus souvent une Modulation par Déplacement de Phase (MDP) du type PSK (Phase Shift Keying). Les plus usuelles sont les modulations à deux et quatre états, du type BPSK (Binary Phase Shift Keying) ou MDP2, et QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) ou MDP4. Le choix de modulations par déplacement de phase provient de deux caractéristiques:

- La première concerne la robustesse, pour les mêmes raisons évoquées pour le cas de signaux analogiques vue ci-dessus.
- La seconde caractéristique correspond à une meilleure efficacité spectrale comparée à celle des modulations par déplacement de fréquence du type FSK (Frequency Shift Keying).

Le type de modulation QPSK est celui qui est le plus utilisé dans les télécommunications par satellite.

#### III.3.4.3. Autres types de modulation (DSSS) :

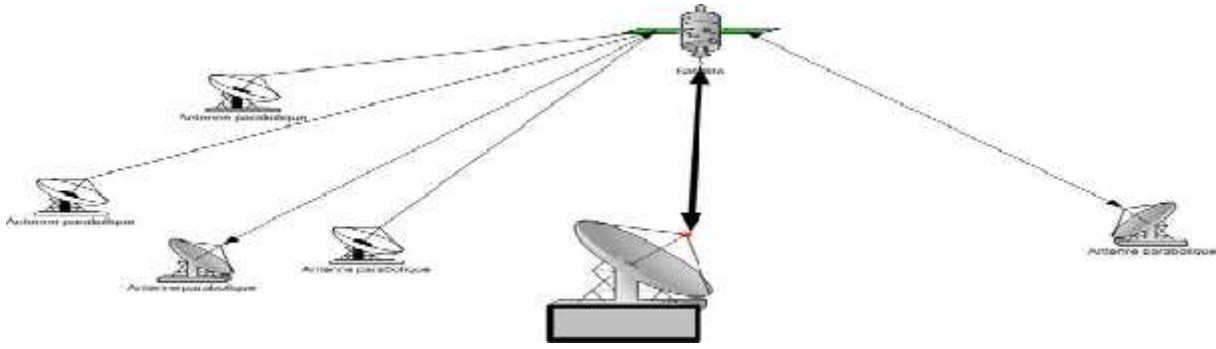
Dans son principe, la modulation par étalement de spectre par séquence directe, DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), est une technique qui vise à réduire la densité spectrale de puissance du signal à émettre en l'étalant sur une bande de fréquence de très grande largeur. Ce procédé DSSS de modulation à étalement de spectre constitue une technique particulièrement souple. Elle permet, dans le cadre des télécommunications par satellites, de satisfaire les normes d'allocation de bandes comme la liaison descendante des satellites où la densité spectrale de puissance ne doit pas dépasser un seuil fixé..

#### III.3.4.4. Correcteur d'erreur FEC :

Le correcteur d'erreur **FEC** est l'abréviation de l'expression anglaise **Forward Error Correction**, relatif au taux de Viterbi. Il signifie la correction anticipée d'erreurs ou code correcteur d'erreurs, c'est les éléments redondants du message numérique ajoutés aux données transmises avant l'envoi du signal audio/vidéo, pour pouvoir les vérifier à la réception et ainsi réduire les risques d'erreurs liés à la diffusion et qui perturberaient la réception. Actuellement, ils vont de 1/2 à 7/8, dans le premier cas, pour deux bits transmis, un seul est utilisé, dans le deuxième, pour huit envoyés, sept sont utiles, seul le huitième est une information redondante servant à la protection du signal, lorsqu'il atteint 1/2, le FEC offre donc une protection optimum. Les plus utilisés sont le 3/4 et à un degré moindre le 2/3.

### III.4. La liaison Satellitaire :

Une liaison satellite typique se compose d'une transmission d'un signal depuis une station terrienne vers un satellite (**liaison montante**). Le satellite reçoit et amplifie le signal et le retransmet ensuite vers la Terre (**liaison descendante**), où il est reçu et amplifié à nouveau par les stations terriennes et les terminaux. Un système de communication par satellite est composé d'un ensemble de stations terrestres d'émission-réception qui communiquent avec un ou plusieurs satellites placés en rotation autour de la Terre,



**Figure III.6 - Liaison satellitaire.**

### III.5 Réseau VSat :

Le réseau VSAT (Very- Small Aperture Terminal) est un système qui repose sur le principe d'un site principal (le Hub), le satellite et d'une multitude de points distants (les stations VSAT) comme le montre la figure 1.1. Le HUB est le point le plus important du réseau, c'est par lui que transitent toutes les données qui circulent sur le réseau, les terminaux disposent de petites antennes de l'ordre d'un mètre de diamètre et de 30 mètres pour les grosses stations fixes. La puissance des VSAT est de l'ordre de 1 Watt et de centaines de Watts pour des grosses stations fixes, en effet le débit peut aller de 19.2kbits/s jusqu'à 10 Mbits/s .

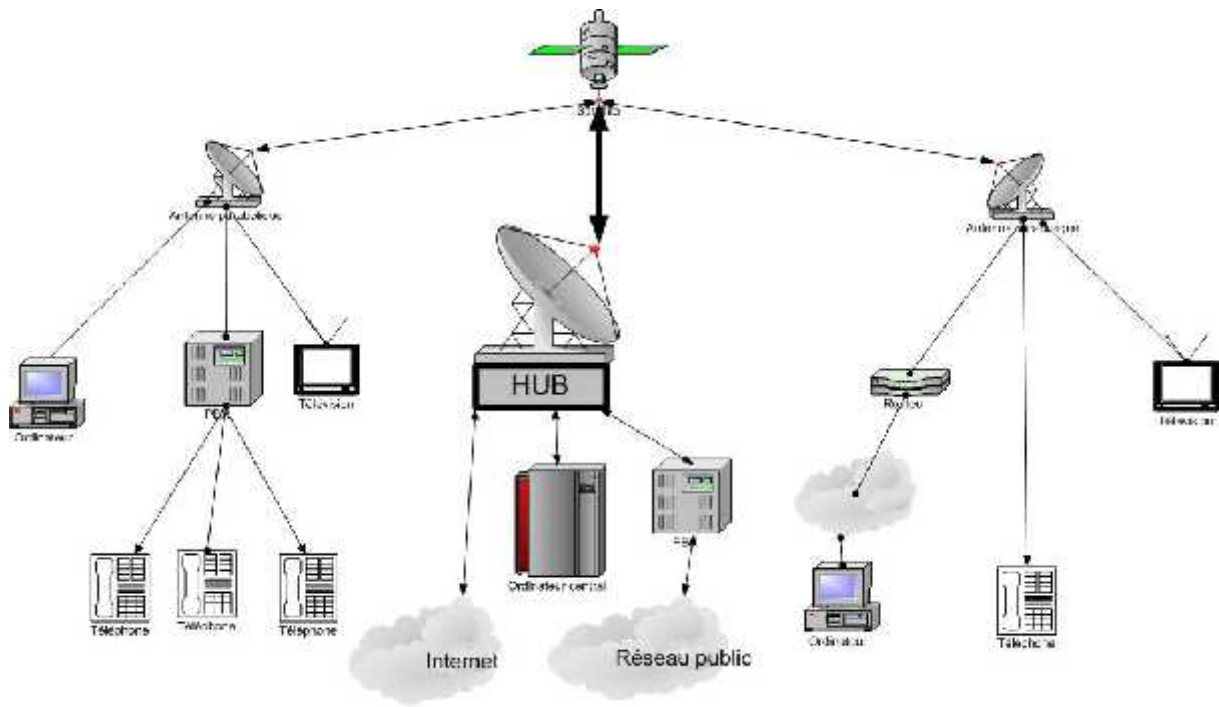
#### III.5.1. Station de type VSAT :

Le VSAT est un système qui repose sur le principe d'un site principal (le hub) et d'une multitude de points distants (les stations VSAT). Les stations VSAT permettent de connecter un ensemble de ressources au réseau. Dans la mesure où tout est géré par le hub, les points distants ne prennent aucune décision sur le réseau. Ce qui a permis de réaliser des matériels relativement petits et surtout peu coûteux. Une station VSAT n'est donc pas un investissement important et l'implantation d'un nouveau point dans le réseau ne demande quasiment aucune modification du réseau existant.

Elle comprend deux modules:

- Une unité extérieure constituée d'une antenne et d'émetteur-récepteur (RF).
- Une unité intérieure comportant le modem interfaçant avec les terminaux.

Ainsi, une nouvelle station peut être implantée en quelques heures et ne nécessite pas de gros moyens.



**Figure. III.7** - Architecture générale d'un réseau VSAT.

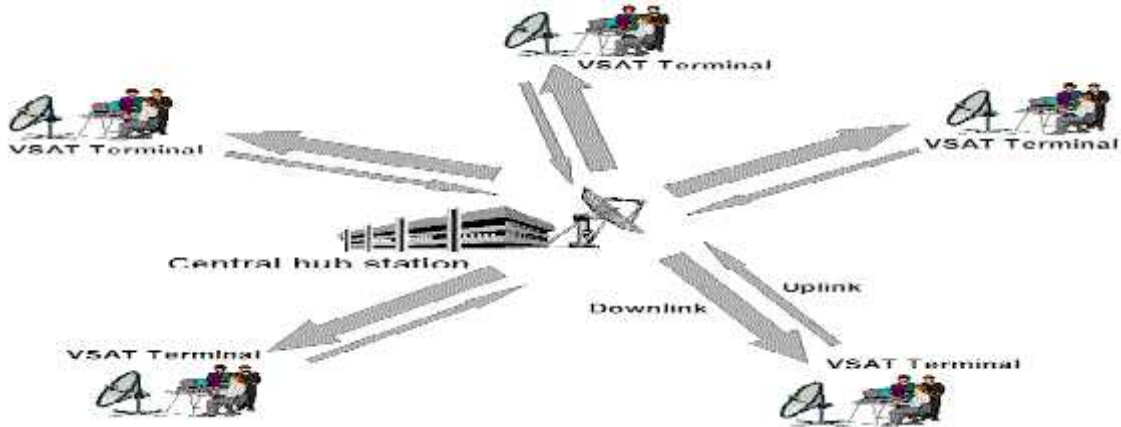
La puissance d'émission des VSAT est faible, deux stations VSAT ne peuvent pas dialoguer directement entre elles. Il est donc nécessaire d'utiliser une station de relais appelée HUB. Le HUB est doté d'une parabole de grande dimension à fort gain. Elle a deux rôles principaux. Tout d'abord elle s'occupe d'amplifier et de relayer les signaux émis par les stations VSAT. Ensuite elle gère toutes les méthodes d'accès au support de communication afin d'éviter d'éventuelles collisions entre les signaux.

## III.6. Réseaux satellite :

### III.6.1. Topologies des réseaux satellitaires :

Le satellite est interopérable avec tout type de réseau de transmission. Nous distinguons deux types de topologie qui sont les plus utilisées :

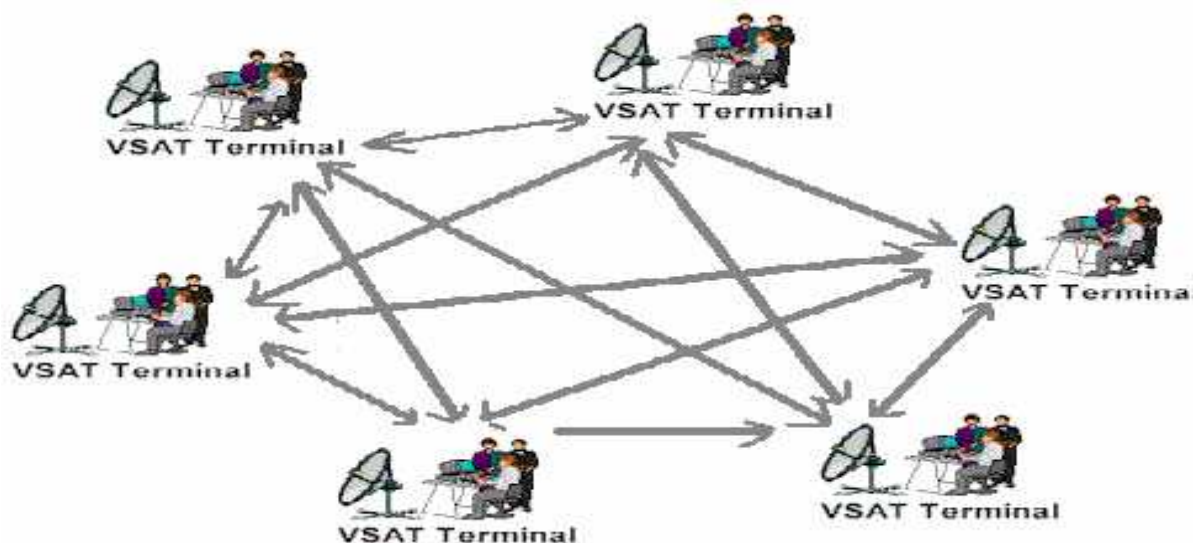
#### III.6.1.1. La topologie en étoile :



**Figure III.8** - Topologie en étoile.

Dans l'architecture en étoile représentée par la figure III.8, le HUB joue le rôle de station terrienne centrale qui contrôle et communique avec un grand nombre de stations utilisateurs. Toutes les stations communiquent uniquement avec le HUB. Elles ne peuvent pas communiquer directement entre elle, (elles communiquent en double bond via le HUB). Il existe deux types de communications station-HUB : One-way : les stations possèdent uniquement la fonction de réception. La liaison HUB-Station est appelée OUTBOUND ou FORWARD. Two-way : la liaison station-HUB est bidirectionnelle. La liaison HUB-Station est appelée INBOUND ou RETURN.

### III.6.1.2 Topologie Mesh & Full Mesh :



**Figure III.9** – Topologie Mesh & Full Mesh.

Dans l'architecture en mesh représentée par la figure ci-dessus, les stations communiquent directement entre elles (elles communiquent en simple bond). Le HUB assure les fonctions de contrôle et de surveillance. Les applications d'une telle topologie sont nombreuses : la téléphonie, la liaison point à point haut débit, le réseau d'entreprise, etc.

### III.6.1.3 Topologie Hub\_less :

Dans l'architecture HUB LESS, les stations communiquent directement entre elles (elles communiquent en simple bond). Aucun HUB n'est utilisé.

### III.6.1.4 Topologie Hybride :

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

## III.7 Les applications du service VSAT :

VSAT est un système prévu pour mettre en place des réseaux de données. Mais depuis son apparition dans les années 80, des améliorations ont été apportées au système et les constructeurs ont réussi à augmenter considérablement le nombre d'applications possible avec un réseau de ce type.



Un réseau VSAT n'est plus seulement un réseau de données, mais il peut devenir un réseau téléphonique, ou un réseau de diffusion vidéo.

Ces différentes technologies peuvent fonctionner en même temps ce qui accroît encore la modularité du système.

### III.8. Assignement aux ressources satellite :

Les stations terriennes du réseau VSAT communiquent à travers le satellite à l'aide des porteuses modulées. A chaque porteuse est attribuée un sous canal au niveau du satellite. Deux types d'assignements sont distincts :

#### III.8.1. Assignement fixe :

La ressource du satellite est partagée d'une façon fixe entre les stations sans tenir compte de leur trafic. Il peut arriver, à un instant donné, que la bande attribuée à une station VSAT ne suffit pas pour la charge (quantité d'information) envoyée, alors qu'une autre VSAT peut avoir la capacité excessive disponible. Le réseau est donc mal exploité.

#### III.8.2. Demande d'assignement :

Dans ce cas, le partage des ressources satellite diffère d'une station à une autre selon la charge à transmettre. D'après les deux types cités, on constate que la demande d'assignements offre une meilleure exploitation des ressources satellites. Cela nécessite toutefois des frais élevés et un délai de transmission important. Cependant, le nombre important des stations compense ces frais.

Les réseaux VSAT sont installés pour réaliser les services fixes par satellite (FSS). Dans le cas de transmission de données associées par des diffusions de programmes TV et Radio, ces services sont nommés « services de diffusion par satellite (BSS) ».

Les stations VSAT mobiles embarquées sur véhicule font parties de ce type et donc partagent la même bande de fréquence.

Les bandes de fréquences les plus utilisées sont : la bande C (6-4 en GHz pour la liaison montante et descendante respectivement), la bande Ku (12-11 en GHz) et la bande X (8-7 en GHz). Cette dernière est utilisée par les services militaires. Pour sélectionner la bande de fréquence, il faut prendre en considération la couverture de la région et ne pas négliger les interférences qui causent des problèmes pour les VSAT vu leur petite dimensions.

Pour les hautes fréquences (bande Ka et Ku), les interférences ne posent pas de problèmes mais, il ne faut pas en tirer des conclusions hâtives sur l'inconvénient des basses fréquences. En effet, les interférences sont minimisées en utilisant des antennes à gain élevé. A ce point, comme la bande C est une gamme de basses fréquences comparées avec la bande Ka et Ku, et vu son partage par plusieurs services, elle est la plus sujette aux interférences que les bandes Ka et Ku.

### **III.8.3. Options du Hub :**

#### **III.8.3.1. Hub dédié :**

Le Hub dédié (de diamètre entre 8 et 10m), soutient un seul réseau avec des milliers de VSAT. Le réseau est contrôlé grâce au serveur principal connecté au Hub. Cependant, le Hub dédié représente l'option la plus chère, néanmoins le coût est compensé en le partageant par toutes les VSAT.

#### **III.8.3.2. Hub mutualisé :**

Le Hub est partagé par un nombre important de réseaux séparés. Dans ce cas, les services du Hub sont loués aux opérateurs de différents réseaux VSAT. Les opérateurs du réseau sont confrontés à un investissement d'équipement à capital minimum. Comme toute option, le Hub mutualisé présente deux inconvénients :

- la nécessité des circuits de connexion entre le Hub et le serveur principal, ce qui rajoute un surcoût à l'opération du réseau VSAT, en outre ces circuits sont de faible capacité de transmission d'où un risque accru d'erreur. Pour affronter ce problème, les liaisons par micro-onde et les liaisons par satellite sont des solutions de secours.
- Limitation possible dans la future expansion : le Hub mutualisé peut imposer une limitation imprévue du débit de transmission tant que la capacité disponible peut être louée sans communication préalable avec les autres opérateurs partageants le même Hub. Les opérateurs des réseaux doivent demander des garanties à cet égard.

### III.8.3.3. Mini-Hub :

Le mini-Hub est un petit Hub avec des antennes de 2 à 5m de diamètre. Il apparut grâce à la puissance accrue des satellites et l'exécution améliorée des équipements de réception à faible bruit, il maintient les avantages du Hub dédié avec un coût réduit. Il peut soutenir de 300 à 400 VSAT à distance.

## III.9. Stations Terriennes du Réseau Vsat :

La station VSAT est constituée de deux parties, à savoir l'unité extérieure (ODU) et l'unité intérieure (IDU) :

### III.9.1. L'unité extérieure (ODU) :

Elle comporte une antenne et un bloc électronique contenant un amplificateur de puissance, un récepteur à faible bruit, deux convertisseurs et un équipement de transposition de fréquence. Pour la spécification appropriée à l'ODU, Comme interface au satellite, les paramètres suivants sont importants :

- La puissance isotrope rayonnée effective (PIRE), qui détermine les performances de la radiofréquence montante. Elle dépend du gain de l'antenne, et donc de ses dimensions et de la fréquence de transmission, comme elle dépend aussi de l'amplificateur de puissance à la sortie.
- Le facteur de mérite défini par le rapport G/T qui détermine les performances de la radiofréquence descendante. Il dépend du gain de l'antenne et donc de ses dimensions, de la fréquence de réception et également de la température de bruit à la réception.
- La température et le vent également la pluie et l'humidité sont des paramètres à ne pas négligés

### III.9.2. L'unité intérieure (IDU) :

C'est un système contenant un modulateur/démodulateur, ainsi qu'un petit serveur s'interfaçant avec les PC, terminaux et téléphones. Pour relier ses bornes au VSAT, l'utilisateur doit accéder aux ports installés sur le panneau de cette unité. Avec ses spécifications appropriées comme interface à l'utilisateur ou à un réseau local ; les paramètres suivant sont importants :

- Nombre de ports.
- Type de port ; qui est fonction du service à accomplir.

- Vitesse des ports : c'est le débit binaire maximum auquel les données peuvent être échangées entre l'utilisateur final et l'ODU.

Les modulations les plus utilisées sont : la modulation à déplacement de phase binaire (BPSK) et la modulation à déplacement de phase en quadrature (QPSK). Pour éviter le bruit de phase, la modulation FSK est mieux adaptée.

### III.9.3. Station centrale (Hub) :

Les dimensions de ses antennes et les sous-systèmes qu'il contient ne sont pas les seuls paramètres qui le différencient des stations VSAT, mais l'interface de l'IDU intervient beaucoup plus si l'IDU est une interface avec le serveur principal, le Hub est dédié ; dans le cas d'une interface avec le réseau public le Hub est donc mutualisé. Le Hub est constitué des sous-systèmes contenant le modem et l'interface à bande de base qui est relié au serveur principal aussi un système de gestion de réseau (NMS). Ce dernier est un ordinateur connecté à chaque station VSAT par des circuits virtuels permanents. Il est équipé de logiciels, chargé des fonctions opérationnelles et administratives.

Les fonctions opérationnelles fournissent les possibilités de modification du réseau, en ajoutant ou en éliminant des stations VSAT, des porteuses et des interfaces réseau. Elles incluent également la surveillance, le contrôle des performances du Hub et de chaque station VSAT. Comme elles contrôlent les ports de données associés au réseau ; ceci nécessite des outils de gestion qui fournissent en temps réel la tâche et la connectivité des VSAT. Le débit de transmission des VSAT est automatiquement contrôlé par un logiciel de contrôle du réseau. Quant aux fonctions administratives, elles assurent la sécurité et la configuration des équipements avec le Hub et les VSAT ainsi que la configuration des ports.

## III.10. Généralités sur les bilans de liaison

### III.10.1. Principe du bilan de liaison :

Afin d'analyser les performances d'un système de communications en général et du système de communications par satellite en particulier, il est nécessaire d'évaluer, en fonction des paramètres de fonctionnement du système, la liaison établie entre les différentes parties du système. En d'autres termes, il s'agit d'évaluer la qualité de la liaison entre l'émetteur et le récepteur dans un système particulier. Le bilan de liaison satellitaire est de manière basique la somme des pertes entre l'émetteur et le récepteur, et vice versa. Il s'évalue donc autant pour la liaison montante (émetteur de la station au sol et équipements de réception du satellite) que pour la liaison descendante (émetteur du satellite et équipement de réception du récepteur).

Ces pertes sont soustraites de la somme des gains sur la liaison. Le niveau du signal obtenu en sortie du système doit posséder un certain seuil afin que ce dernier puisse être perçu par les appareils de réception de la station au sol. L'importance de l'évaluation de la liaison se retrouve au niveau du récepteur car c'est la qualité du signal reçu qui témoigne de la qualité de la liaison établie. Plus la qualité du signal est bonne, plus la liaison est fiable et performante.

Le bilan de liaison dans ce contexte revient donc à la puissance reçue par le récepteur, qui correspond à la puissance isotrope rayonnée en direction du récepteur, divisée par les pertes sur le trajet de réception

Il s'exprime par l'équation suivante :

$$P_r = P_e * G_e * G_r * (1 / L_t) \quad (III.1)$$

Où :

$P_e$  : est la puissance fournie à l'antenne d'émission (en Watt)

$G_e$  : est le gain de l'antenne d'émission

$G_r$  : est le gain de l'antenne de réception

$L_t$  : est la somme des pertes de la liaison

**Le bilan des pertes** sur la liaison s'exprime comme suit :

$$L_t = L_{FS} * L_{atm} * L_{pol} * L_{rec} \quad (III.2)$$

Où:

$L_{FS}$  représente l'atténuation due à la propagation en espace libre ;

$L_{atm}$  représente les pertes atmosphériques ;

$L_{pol}$  représente les pertes de polarisation ;

$L_{rec}$  représente les pertes dues au récepteur.

Les différents paramètres dont il faut tenir compte dans l'évaluation d'un bilan de liaison sont les suivants :

### III.10.2. Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente(PIRE) :

La PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) est la puissance effectivement rayonnée après avoir soustrait de la puissance en entrée de l'émetteur, les pertes dues aux composants de l'émetteur. Le paramètre fondamental qui permet de réduire l'effet des pertes sur la liaison est le gain de l'antenne. Le gain s'évalue tant sur les antennes d'émission que les antennes de réception. Lorsque l'antenne d'émission est la même que l'antenne de réception, ce gain a la même valeur moyennant la condition que la fréquence d'émission soit la même que la fréquence de réception.

**PIRE [dBm]** = puissance électrique appliquée à l'antenne [dBm] + gain de l'antenne [dBi]

**PIRE [W]** = puissance électrique appliquée à l'antenne [W] x gain de l'antenne

Pour une installation incluant le câble de liaison :

**PIRE [dBm]** = puissance de transmission [dBm] – pertes dans les câbles et connecteurs [dB] + gain de l'antenne [dBi]

### III.10.3. La sensibilité du récepteur :

La sensibilité du récepteur est exprimée par le paramètre G/T qui indique la qualité de l'émetteur en termes de niveau de bruit. Il est calculé en faisant le ratio entre le gain total de l'émetteur, incluant l'amplificateur, l'antenne et les autres équipements d'émission, et le bruit total sur le lien montant.

### III.10.4. La situation géographique de la station au sol :

La latitude et la longitude indiquent la localisation des équipements terminaux de l'émetteur, ou du récepteur, à la surface de la Terre. Ces différents paramètres sont exprimés en degrés. Lorsqu'un satellite est situé près de l'équateur, à une latitude de 0 degré, seule la longitude est suffisante pour identifier la localisation du satellite dans l'espace. L'angle d'élévation quant à lui indique l'angle comparativement à l'angle de référence qui vaut 0 degrés, dans l'optique d'avoir une vue directe entre la station au sol et le satellite. Tandis que l'azimut est l'angle entre le nord magnétique et la direction du satellite.

### III.10.5. Les pertes sur la liaison :

Les pertes enregistrées sur le trajet de l'onde radio font référence au niveau d'atténuation entre le signal émis par l'antenne de la station d'émission (après le système d'antennes), en comparaison au niveau du signal en réception au niveau de l'antenne du récepteur (avant le système d'antenne). Ces pertes peuvent être déterminées de plusieurs manières, mais la manière la plus simple de les évaluer est en évaluant les pertes en espace

libre subies par le signal car celles-ci ne dépendent que des paramètres de liaison. Elles s'expriment par la formule :

$$L_{fs} = (4\pi d / \lambda)^2 = (4\pi d f / c)^2 \quad (\text{III. 3})$$

Ces pertes sont évaluées pour un signal dans les conditions de propagation en ligne de vue directe entre le satellite et la station au sol, c'est-à-dire sans obstacle sur le trajet du signal, pouvant causer des atténuations supplémentaires ou des réflexions du signal.

### III.10.6. Etablissement d'un bilan de liaison :

L'établissement d'un bilan de liaison a pour finalité principale, l'évaluation de la qualité de la liaison de bout en bout lors d'une transmission de manière détaillée, afin de déterminer et de comprendre les pertes subies par le signal le long de son parcours et de trouver le taux de pertes admissibles pour avoir, malgré ces pertes, un signal admissible pour une connexion entre un émetteur et un récepteur. La chaîne totale de transmission de l'information comprend la liaison montante qui va de la station au sol au satellite et la liaison descendante qui va du satellite à la station au sol. La puissance du signal reçu dépend de la puissance transmise en émission, de la somme des gains et des pertes le long du trajet du signal, et des caractéristiques du récepteur et de ses antennes. Ainsi, un bilan de liaison fait donc intervenir la station émettrice, le satellite qui régénère le signal pour le diffuser ou le transmettre, et la station réceptrice qui termine cette chaîne de transmission.

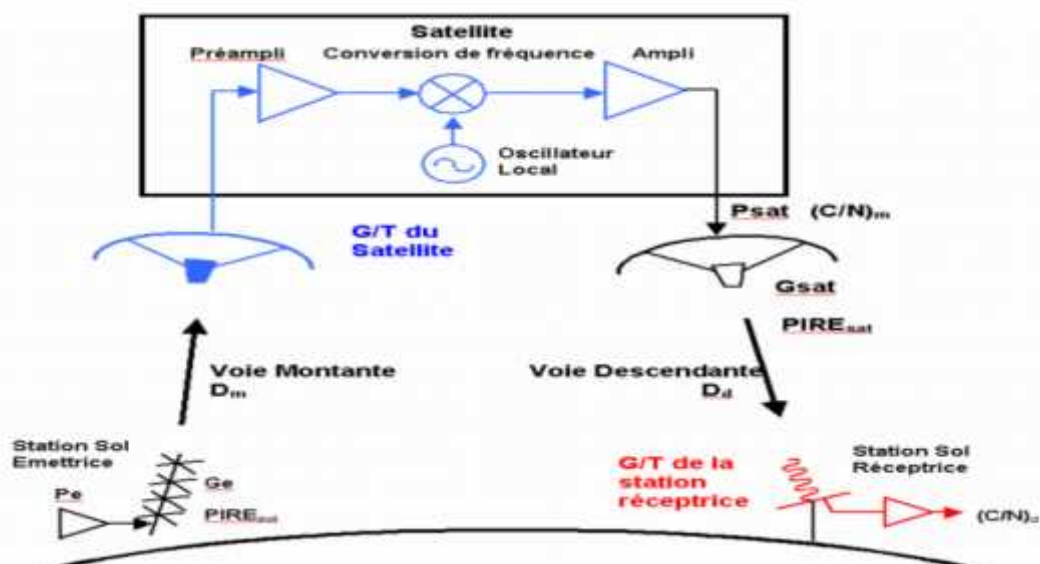


Figure III.10 -Synoptique d'une liaison via satellite.

Les différents paramètres généraux entrant dans l'établissement du bilan de liaison sont également présentés avec :

- $P_e$  : Puissance de l'antenne émettrice
- $G_e$  : gain de l'antenne émettrice
- $PIRE_{sol}$  : la PIRE de l'antenne émettrice
- $G/T_{sat}$  : la sensibilité des antennes réceptrices du satellite
- $P_{sat}$  : la puissance d'émission des antennes du satellite
- $G_{sat}$  : le Gain des antennes d'émission du satellite
- $PIRE_{sat}$  : la PIRE des antennes d'émission du satellite
- $C/N$  : Facteur de bruit en réception de la station réceptrice

Dans ce cas d'une liaison numérique ( ) le taux d'erreur acceptable par le protocole utilisé sera l'objectif de qualité. Selon le codage utilisé, ce taux d'erreur sera obtenu pour un rapport  $E_b/N_0$  minimum, qui correspond à un rapport signal sur bruit à l'entrée du démodulateur.

- $E_b$  est l'énergie par bit.
- $N_0$  est la densité spectrale de bruit.

Le taux d'erreur brut acceptable dépend du type de code correcteur et de protocole utilisé. Un système monodirectionnel interdisant toute répétition en cas d'erreur demandera un taux d'erreur directement utilisable (exemple : transmission de photos depuis un satellite). Si le protocole inclut des échanges pour répétition, le taux d'erreur brut peut être plus élevé (cas d'internet).

$$C/N_0 = (E_b/N_0) * (D_b/B_r)$$

- Ou  $E_b$  est l'énergie par bit,  $N_0$  est la densité spectrale de bruit,  $D_b$  = Débit binaire (nombre de bits par seconde),  $B_r$  = bande passante du récepteur (Hz).

#### ❖ Le gain de l'antenne :

C'est un facteur qui permet de caractériser la capacité que possède une antenne à concentrer la puissance émise par cette dernière dans une direction privilégiée. Il représente l'augmentation de la puissance transmise(ou reçue) par rapport à une antenne filaire. La formule, pour une parabole est :

$$G(\text{dB}) = 10 \log[ \eta ( D \times F / C )^2 ] \quad (\text{III. 4})$$



où  $\eta$  est le rendement de la parabole (prenez 1 dans vos calculs),  $D$  le diamètre,  $F$  la fréquence des ondes,  $C$  la vitesse de la lumière.

#### ❖ La PIRE de l'antenne :

C'est le produit de la puissance rayonnée par cette antenne et de son gain (formule mathématique). La puissance isotrope rayonnée équivalente mesure l'intensité du signal émis par un satellite vers la Terre, ou par une antenne sur la Terre vers un satellite. Plus la PIRE de l'émetteur est élevée, plus le rapport  $G/T$  du récepteur peut être réduit pour une même qualité de réception (donc plus l'antenne de réception peut être petite). Elle est donnée par la formule

$$\text{PIRE} = P_T \cdot G_T \quad (\text{III. 5})$$

$P_T$  est la puissance rayonnée par l'antenne

$G_T$  est le gain de l'antenne

#### ❖ Rapport C/No D'un Lien Satellite :

En générale, l'étage radiofréquence dans un satellite ou une station de base consiste en un transmetteur et un récepteur composé d'une cascade d'antenne, une ligne de transmission, un duplexeur, un amplificateur de puissance et un amplificateur faible bruit

Le rapport porteuse/bruit (C/N) est donné par la formule suivante:

$$(C/N)_{\text{up}} = \text{EIRP}_{\text{Tx ES}} - \text{FSL}_{\text{up}} + (G_{\text{r}}/T)_{\text{Rx sat}} - B - k \quad (\text{dB}) \quad (\text{III.6})$$

$$(C/N)_{\text{up}} = P_{\text{Tx ES}} + G_{\text{Tx ES}} - \text{FSL}_{\text{up}} + G_{\text{r}}_{\text{Rx sat}} - (T_{\text{sat}} + B + K) \quad (\text{dB}) \quad (\text{III.7})$$

$$C_{\text{up}} = P_{\text{Tx ES}} + G_{\text{Tx ES}} - \text{FSL}_{\text{up}} + G_{\text{r}}_{\text{Rx sat}} \quad (\text{III.8})$$

Où :

$P_{\text{Tx ES}}$  = puissance de la station terrienne d'émission (dBW)

$G_{\text{Tx ES}}$  = gain de la station terrienne d'émission (dBi)

$\text{FSL}_{\text{up}}$  = affaiblissement en espace libre sur la liaison montante (dB)

$G_{\text{r}}_{\text{Rx sat}}$  = gain du satellite de réception dans la direction de la station terrienne d'émission (dBi)

$T_{\text{t}}$  = température de bruit du système de réception du satellite (dBK)

$B_{\text{carrier}}$  = largeur de bande de la porteuse (dBHz)

$k$  = constante de Boltzmann =  $-228,6$  (dBK)

$$(C/N)_{\text{down}} = \text{EIRP}_{\text{sat}} - \text{FSL}_{\text{down}} + (G/T)_{\text{RxES}} - B - k \quad (\text{dBW}) \quad (\text{III.9})$$

$$(C/N)_{\text{down}} = P_{\text{Sat}} + G_{(\text{,})\text{Tx}\times\text{sat}} - \text{FSL}_{\text{down}} + G_{\text{RxES}} - (T_{\text{ES}} + B + k) \quad (\text{dBW}) \quad (\text{III.10})$$

$$C_{\text{down}} = P_{\text{Sat}} + G_{(\text{,})\text{Tx}\times\text{sat}} - \text{FSL}_{\text{down}} + G_{\text{RxES}} \quad (\text{III.11})$$

Où :

$P_{\text{Sat}}$  = puissance du satellite d'émission (dBW)

$T_{\text{xSat}}$  = gain du satellite d'émission en direction de la station terrienne de réception

$G$  (dBi)  $\text{FSL}_{\text{down}}$  = affaiblissement en espace libre sur la liaison descendante (dB)

$G_{\text{RxES}}$  = gain de la station terrienne de réception (dBi)

$T_{\text{ES}}$  = température de bruit du système de la station terrienne de réception (dBK)

$B_{\text{carrier}}$  = largeur de bande de la porteuse (dBHz)

$k$  = constante de Boltzmann =  $-228,6$  (dBJ/K)

❖ **E.I.R.P.** (Effective Isotropic Radiated Power) :

La puissance isotrope rayonnée équivalente c'est « la puissance qu'il faudrait appliquer à une antenne isotrope hypothétique pour obtenir le même niveau du signal dans la direction du rayonnement maximal d'une antenne donnée ».

## Conclusion :

Les systèmes de télécommunications par satellites sont bien adaptés pour assurer, en complémentarité avec les réseaux terrestres, des services de télécommunications à la fois régionaux et mondiaux. Cette complémentarité doit se comprendre aussi bien en terme de sécurisation de réseaux terrestres qu'en terme de fourniture de services spécialisés dans des contextes économiquement moins avantageux par des moyens terrestres ;

Les satellites offrent l'avantage d'une couverture étendue favorisant les liaisons à longue distance, les liaisons entre sites multiples et la radiodiffusion et la transmission de données ;

Un bilan de liaison bien déterminé permet le gain en matière et le gain en temps et en choix des équipements à choisir ;

L'immatérialité des ondes leur permet de s'affranchir des obstacles géographiques et offre un accès aisé aux zones déshéritées, ainsi qu'aux mobiles. 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.

## **CHAPITRE IV**

### **Etude Théorique de la liaison Satellitaire ALGER-TIARET**

Introduction :

L'étude théorique est primordiale, puisque elle nous permet de faire la comparaison avec les données réelles et expérimentales, dans ce chapitre, nous allons présenter une étude théorique d'une transmission des données VHF via VSAT entre deux sites des stations VHF en Algérie en commençant par la description des équipements nécessaires pour la réalisation de cette liaison, définir les paramètres nécessaires dans ce bilan et en fin réaliser le résultat théoriquement

### IV.1. Bande Passante Requise :

Une bande passante de 3.6MHZ extensible sera allouée à l'ensemble des deux fréquences.

### IV.2. Caractéristiques Du Système VSAT ENNA :

Les principales caractéristiques du réseau VSAT ENNA sont :

- Fonctionnement dans la gamme de fréquences de la bande C
- Technique d'accès par satellite MF-TDMA.
- Basée sur la plate-forme SKYWAN, une technologie largement utilisée dans l'environnement de contrôle du trafic aérien :
- Topologie en maillage intégral répartie dans deux régions géographiques : FIR Nord et FIR Sud.

Le réseau de conception IP a une architecture distribuée, et est basé sur l'utilisation de deux (02) porteuses pour supporter simultanément l'ensemble du trafic réseau de chaque FIR.

Grâce au réseau entièrement maillé, chaque station se connecte aux autres sans avoir besoin d'un double saut satellite et assure ainsi le délai le plus court possible ;

### IV-3 Composition Des Stations VSat ENNA :

Les principaux éléments composant l'architecture des stations sont :

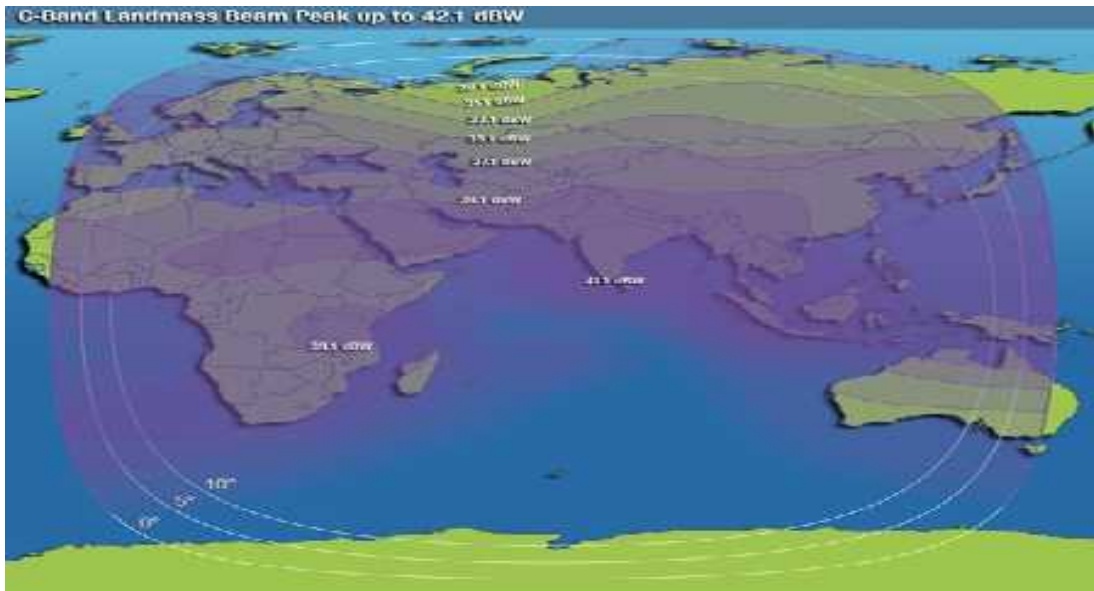
- Modems Satellite SKYWAN 5G, model NDSatCom E-11B14129.
- Low noise block down converters (LNB), model ACTOX AL6XM.
- Antenne C-Band, model NWIEE K37T.
- BUC30 W, model ACTOX ABE30DC.
- SkyWan5G NMS Server, model NDSatCom E-11B16291.

#### IV.4. Utilisation Du Segment Spatial :

Le satellite en bande C retenu pour la conception et l'architecture développée est le satellite Intelsat IS10-02. Situé à 359°E, ce satellite fournit une couverture globale en bande C. Ce qui répond à l'exigence de couvrir l'ensemble du territoire algérien.

Les bilans de liaison sont développés avec les valeurs Intelsat 10-02 pour procéder au dimensionnement des radiofréquences (antenne et BUC) :

- C-Band North East zone beam (NEZ\_U / NEZ\_D).
- Transponder 51/51, EIRP peak of 43.5Dbw.
- G/T peak of 2dB/K.
- SFD (beam edge) -78dBW/m<sup>2</sup>.



**Figure IV.1.** Couverture du satellite INTELSAT Faisceau C.

#### IV.5. Architecture du réseau de transmission VHF via VSAT :

Chacune des stations de cette étude théorique est dotée d'une station VSAT, la station d'Alger est l'une des deux stations maitresses du réseau installé et celle de TIARET est l'une des stations ESCLAVES ;

Dans ce qui va suivre, nous allons détailler les équipements nécessaires pour la transmission des données VHF via le réseau VSAT ;

La technologie utilisée pour la transmission des signaux délivrés par la station d'Alger est Full Mech avec une modulation QPSK

### IV.5.1. Choix des équipements du segment terrestre :

Nous allons dans ce qui va suivre décrire les équipements dont les performances sont nécessaires :

#### IV.5.1.1. Compositions des unités IDU et ODU des deux stations :

##### IV.5.1.1.1. Compositions des unités IDU et ODU de la station d'ALGER :

La station d'Alger, est l'une des deux stations Maitres du projet;

### Master Stations IDUs Set

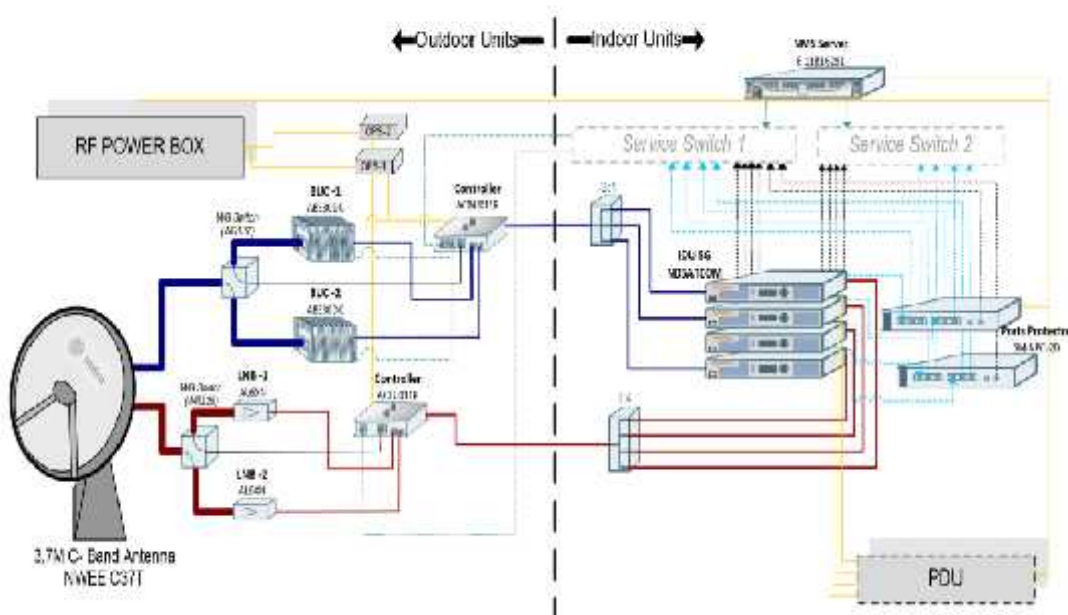


Figure IV.2 : Schéma de l'architecture de la station d'ALGER.

❖ **L'unité extérieure ODU de la station d'ALGER** se compose de :

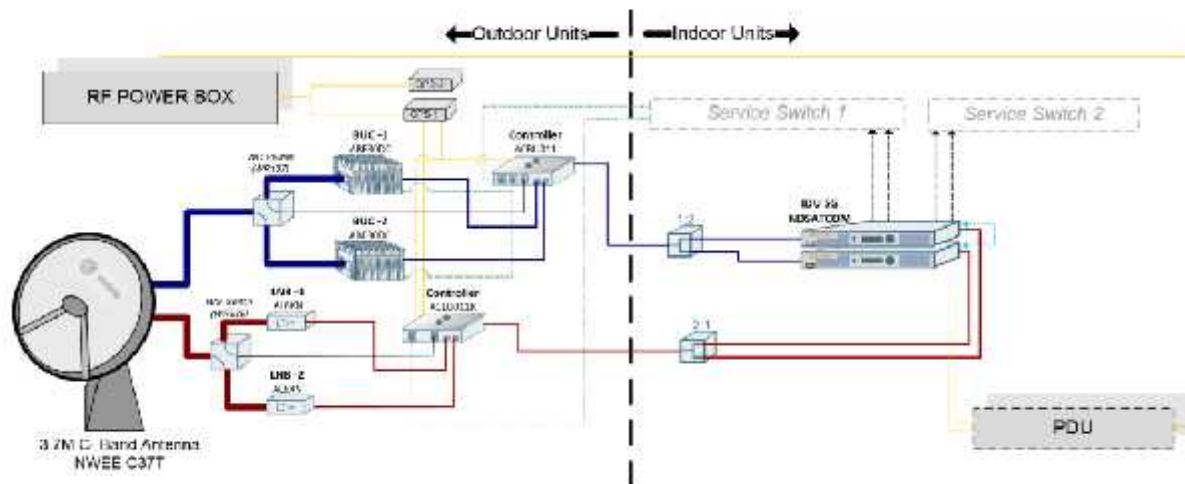
- Une antenne 3.7 M C-Bande ; de marque NWEE C 37T
- Deux Controller de marque ACBU011R
- Boîte d'alimentation RF
- Deux LNB de marque AL6XN
- Deux BUC de marque de marque ABE30DC
- Un SWITCH de marque WR229
- Un SWITCH de marque WR137

- ❖ **L'unité intérieure IDU** de la station d'**Alger** se compose de :
  - 4 Modems IDU 5 G de marque NDSATCOM
  - 2 Switch service
  - Deux Ports de protection
  - Un serveur NMS de marque E-11B16291

#### IV.5.1.1.2. Compositions des unités IDU et ODU de la station de TIARET :

La station de TIARET fait partie des 25 stations esclaves du projet;

### Slave Stations IDUs Set



**Figure IV.3** : Schéma de l'architecture de la station de TIARET.

- ❖ **L'unité extérieure ODU** de la station de **TIARET** se compose de :
  - Une antenne 3.7 M C-Bande ; de marque NWEE C 37T
  - Deux Controller de marque ACBU011R
  - Boîte d'alimentation RF
  - Deux LNB de marque AL6XN
  - Deux BUC de marque de marque ABE30DC
  - Un SWITCH de marque WR229
  - Un SWITCH de marque WR137



❖ **L'unité intérieure IDU** de la station de TIARET se compose de :

- 2 Modems IDU 5 G de marque NDSATCOM
- 2 Switch service
- PDU

Voici les caractéristiques techniques de chaque équipement : Pour l'unité intérieure, constituée des équipements suivants:

❖ **Description du modem :**

De type SKYWAN 5G Model NDSatcom E-11B14129

Le plus flexible et le plus polyvalent pour l'établissement de réseaux étendus. Il permet des applications mobiles et transportables avec des terminaux fixes et mobiles avec des performances et une disponibilité de liaison maximales. Grâce à son système d'allocation de bande passante entièrement dynamique, SKYWAN fournit une bande passante à la demande instantanée pour une voix et un radar de qualité supérieure dans les réseaux ATC, maintenant le trafic aérien en toute sécurité - une grande responsabilité avec des vies humaines en jeu. C'est le critère le plus important pour l'entreprise ; SKYWAN 5G transmet le trafic avec des débits de données dynamiques de quelques bits/s jusqu'à 100 Mbit/s par site, permettant une communication haut débit sans hub entre tous les sites. Tout site est accessible via un seul saut satellite crypté AES-256 dans des topologies de réseau entièrement maillées. C'est la plate-forme tout IP couvrant des réseaux cellulaires aux réseaux de fournisseurs de services,

❖ **Le serveur SKy Wan5G NMS Server , de Model NDSatcom E-11B16291**

Le serveur SKYWAN 5G NMS prend en charge jusqu'à 60 réseaux VSAT ; basé sur un pool commun de 250 nœuds dans l'inventaire des appareils. Chaque réseau TDMA est géré indépendamment. L'IP la configuration de couche (services VRF) de tous les réseaux est indépendante et prendra même en charge les mêmes adresses IP dans différents réseaux. Chaque réseau TDMA peut être actif ou inactif. Chaque terminal SKYWAN 5G peut être affecté à plusieurs réseaux inactifs mais au maximum à un seul réseau actif. Lorsqu'il est actif ,les réseaux représentent des réseaux réels actuellement gérés et surveillés par SKYWAN 5G NMS, les réseaux inactifs améliorent considérablement les capacités de planification NMS.

**❖ Low Noise Block Down Converter (LNB) de model ACTOX AL6XM :**

De conception compactes et leur construction robuste les rendent idéales pour les applications transportables et environnements sévères. Ils disposent d'un ensemble complet d'options pour s'adapter à des systèmes allant du très petit amplificateur terminal (VSAT) aux principales stations terriennes. Le LNB X-Band permet l'interfaçage, au niveau de l'antenne

- Technologie : Les amplificateurs intègrent à la fois des dispositifs HEMT pour des performances de température à faible bruit et des dispositifs GaAs FET pour une faible intermodulation.

Les unités utilisent des composants montés en surface pour les techniques de fabrication robotisées, garantissant ainsi une cohérence maximale du produit et fiabilité renforcée. Il comprend un filtrage intégré pour résoudre les problèmes d'alimentation adjacents propres à la bande exigeante

- **Fiabilité :** La série d'amplificateurs utilise des circuits exclusifs et des composants de haute qualité pour atteindre un MTBF de plus de 160 000 heures. Chaque F (-40 à +60°) l'unité est soumise à un rodage de 72 heures et à une température cyclée de -40 à 140
- **Construction :** Les LNB sont logés dans des boîtiers étanches avec de petits profils pour mieux s'adapter aux configurations de redondance. Les enclos fournissent également une bride de guide d'ondes intégrée et pressurisable.
- **Accessoires :** Des filtres de rejet de transmission, des câbles et d'autres matériaux d'intégration sont proposés selon les besoins.
- **Sous-systèmes :** Des systèmes LNB redondants 1+1 (une sauvegarde pour un primaire) et 1+2 (une sauvegarde pour deux primaires) sont disponibles, complets avec montage plaque, supports et contrôleur/alimentation de redondance intérieur. Des filtres de rejet de transmission, des câbles et d'autres matériaux d'intégration sont proposés

## Low Noise Block (LNB)

### LNB Specifications

- Input frequency 3.4-4.8 GHz
- L.O. 5.75 GHz
- Output frequency 950-2350 MHz
- N connector (50 Ohms)



**Figure IV.4 :** Le LNB. (Low Noise Block)

### ❖ Block Up Converter BUC au nombre de 2 a chaque station de marque

Le Buc est caractérisé par une fréquence de sortie 5,85 GHz - 6,725 GHz

Avec une faible consommation électrique (156 W max) et une efficacité énergétique élevée (30 W min @P1dB sur la température) ,il a la capacité de compensation de température numérique, équipé d'un Connecteur FI échangeable sur site (F/N) ; LED d'état d'alimentation et de verrouillage.

## Block Up-Converter (BUC)

### Key Features

- 5.850-6.725 GHz
- L.O. 4.9 GHz
- Smallest package size and weight
- Auto-ranging power 15-50 VDC
- Low Power consumption (1.07W)
- Digital Temperature compensation



**Figure IV.5 :** Le BUC.(Block Up- Converter)

### ❖ Antenne C-Band : une a chaque station de Model NWIEE K37 T

Le système d'antenne de 3,7 M conçu et fabriqué par le North west China Reaserch Institute of Electronic Equipment est utilisé pour la station terrienne de communication par satellite.

Un réflecteur à double axe focal décalé est conçu pour l'antenne que le système obtient un gain plus élevé et des lobes latéraux inférieurs qui répondent aux exigences d'INTELSAT IESS et CCIR rec 580-4

Antenne à réflecteur en aluminium de 3,7 mètres conçue par NWIEE pour les applications VSAT en bande C (modèle C37T) et Ku bande (Modèle K37T).

L'antenne 3.7M adopte le Cassegrain compact à double forme réflecteur formé avec précision monté sur un piédestal fournissant la rigidité et le pointage nécessaires

Il est fourni avec une alimentation Rx/Tx (2 ports) avec cornet ondulé fonctionne en polarisation circulaire ou linéaire sélectionnable manuellement et répond à toutes les exigences des clients pour des divers applications.

L'antenne 3.7M est conforme aux réglementations CCIR 580-4 et a été homologué par ASIASAT et INTELSAT.

L'antenne NWIEE 3.7M peut entrer dans ASIASAT-2 et Réseau INTELSAT sans avoir besoin de test de certification après installation sur chantier.

#### Options :


Système de contrôle de suivi automatique.

Pièces en acier galvanisé à chaud.

Deux ports Tx/Rx en alimentation polarisée linéaire ou circulaire pour la Bande C.

Deux ou quatre ports Tx/Rx en alimentation polarisée linéaire.

## Outdoor Equipment

Item	Descripción	Figura
1	Antena (NWEE1244, 3.7 m)	

**Figure IV.6** :L' Antenne VHF.

#### IV.5.1.2 Le choix des antennes :

##### ❖ Pour la station de TIARET :

Les coordonnées GPS de la station de Tiaret sont (35°20'36.71"N1°27'18.86"E)

Nous allons choisir pour cette station terminale, une antenne VSAT parabolique de diamètre 3.7 m de marque. **Model NWIEE K37 T**

##### ❖ Pour la station d'ALGER :

Les coordonnées GPS de la station de D'Alger sont (36°40'28.72" N 3°10'50.29"E)

L'antenne VSAT choisie pour cette station principale est une antenne parabolique de diamètre 3,7 m et aussi de marque **Model NWIEE K37 T**

#### IV.5.1.3 Pointage d'antenne :

Pour réaliser un bon pointage vers le satellite, nous allons impérativement avoir besoin de certains outils, qui vont nous permettre de bien effectuer cette tâche primordiale D'installation.

Le calculateur de pointage d'antenne par satellite fourni par L'opérateur INTELSAT, calcule les angles de pointage d'antenne (azimut et élévation) précis pour tous les principaux satellites. Ce logiciel s'interface directement avec les cartes *Google* pour fournir une vue d'oiseau de votre emplacement avec des informations de pointage d'antenne intégrées.

On récolte les coordonnées GPS de chaque station, et on obtient :

**Intelsat 10-02      359 ° E**

\* Transpondeur 51

\*\* Bandwidth : 1800 KHz 2 carriers

Location	Degré		Altitude (asl) (m)	Antenne orientation		PIRE (dBW) *	Densité de puissance (dBW/Hz)
	Lat. N	Long E		Elévation	Azimut		
<b>ALGER</b>	36°40'28.72"	3°10'50.29"	21	47	187	51,4	-11,15
<b>TIARET</b>	35°20'36.71"	1°27'18.86"	985	49	184	50,9	-11,65

**Tableau IV.1 :** Résultats obtenus par le calculateur de pointage d'INTESAT.

**Tableau IV.2 : FIR NORTH TRANSPONDER 51.**

<b><u>ReceiveConnectivity of Locations</u></b>	<b>RX / Home Channel 1</b>	<b>RX / Home Channel 2</b>
Service:	SkyWAN NG	SkyWAN NG
Topology :	Mesh (in UP1)	Mesh (in UP1)
Modulation:	QPSK	QPSK
FEC Rate:	5/6	5/6
Bit error rate	1E-07	1E-07
TwoWay Rain Availability:	99,90%	99,90%
optional: Downlink Rain Availability (Default: no input)		
Modem Data Rate (as e.g. in TDMA sheet):	2 500 kbps	2 500 kbps
Gross Container Size	350<=X<500	350<=X<500
Network Symbol Rate (Optional Input):		
Network Symbol Rate (informational)	1 500 Kbaud	1 500 Kbaud
Used Network Symbol Rate (approximated, informational)	1 614 Kbaud	1 614 Kbaud
<b>Minimal Eb/No</b>	<b>4,7 dB</b>	<b>4,7 dB</b>

<b>UpLink Location :</b>	<b>Hub1/Demod1 Algiers</b>
<b>Disadvantages in dB and Frequency Band:</b>	<b>Up:5,2 Dn:2,5, C</b>
Elevation / Azimuth	El:47° Az:187°
Rain Zone, Polarization Offset	K Pol: 5,6°
Round Trip Time incl. Modem delay (valid for Demod 1 only) in µsec	248 576
<b>Tx Antenna:</b>	
SKYWAN EIRP (Uplink, after calculation) in dBW	51,2 dBW
<b>Commercial Aspects for DVB-S2:</b>	
DVB-S2 Power equivalent Bandwidth:(no TPC)	74 kHz
required minimum Bandwidth (approximated, informational):	630 kHz
Power equivalent Bandwidth:(with TPC)	264 kHz

Power equivalent Bandwidth:(no TPC)	296 kHz
required minimum Bandwidth (approximated, informational):	1 776 kHz
<b>UpLink Location :</b>	<b>Location 13</b> <b>Tiaret</b>
Disadvantages in dB and Frequency Band:	Up:5,2 Dn:1,9, C
Elevation / Azimuth	El:49° Az:184°
Rain Zone, Polarization Offset	E Pol: 3,5°
Round Trip Time incl. Modem delay (valid for Demod 1 only) in $\mu$ sec	247 841
TxAntenna:	
SKYWAN EIRP (Uplink, after calculation) in dBW	50,9 dBW
<b>Commercial Aspects for DVB-S2:</b>	
DVB-S2 Power equivalent Bandwidth:(no TPC)	66 kHz
required minimum Bandwidth (approximated, informational):	630 kHz
Power equivalent Bandwidth:(with TPC)	233 kHz
Power equivalent Bandwidth:(no TPC)	243 kHz
required minimum Bandwidth (approximated, informational):	1 776 kHz

Tableau IV.3 : FIR SOUTH TRANSPONDER 54.

<u>ReceiveConnectivity of Locations</u>	<b>RX / Home Channel 1</b>	<b>RX / Home Channel 2</b>
<b>Service:</b>	SkyWAN NG	SkyWAN NG
<b>Topology :</b>	Mesh (in UP1)	Mesh (in UP1)
<b>Modulation :</b>	QPSK	QPSK
<b>FEC Rate :</b>	5/6	5/6
<b>Bit error rate</b>	1E-07	1E-07
<b>TwoWay Rain Availability:</b>	99,90%	99,90%
optional: Downlink Rain Availability (Default: no input)		

Modem Data Rate (as e.g. in TDMA sheet):	2 500 kbps	2 500 kbps
Gross Container Size	350<=X<500	350<=X<500
Network Symbol Rate (Optional Input):		
Network Symbol Rate (informational)	1 500 Kbaud	1500 Kbaud
Used Network Symbol Rate (approximated, informational)	1 614 Kbaud	1614 Kbaud
Minimal Eb/No	4,7 dB	4,7 dB

## Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons décrit les caractéristiques des deux stations Alger et Tiaret, et nous avons pu avoir les coordonnées de chacune d'eux ainsi que les équipements constituant chacune des stations d'émission et de réception.

Nous avons pu avoir la possibilité de calculer leur longitude, l'azimut et l'élévation, et d'avoir un aperçu sur les résultats requis par cette réalisation.

Ces derniers paramètres et résultat nous ont permis de faire une simulation de la transmission de données entre les deux stations de Tiaret et Alger à l'aide d'un simulateur qu'on verra dans le prochain chapitre de ce mémoire.



## CHAPITRE V

### Simulation d'une transmission des données via VHF

## Introduction :

Dans ce dernier chapitre, nous allons procéder à la simulation de la transmission des données via VSAT en utilisant un simulateur pour calculer les bilans des liaisons satellitaires, ces derniers seront comparés aux valeurs théoriques ce qui va nous permettre d'évaluer la qualité de cette liaison

### V.1. Description de l'outil de simulation :

L'outil utilisé pour notre simulation est le **LST5** (Lease Transmission Plan Program, Version 5), c'est un outil qui permet aux clients d'Intelsat de générer les bilans de liaison et faire des simulations réelles avant de déployer leurs réseaux en utilisant les paramètres et les caractéristiques techniques réels des satellites,

L'outil nous donne la possibilité de :

- Dimensionner la partie RF nécessaire de chaque site (taille d'antenne et BUC)
- D'avoir la consommation en Mhz de la bande passante du réseau,

La figure ci-dessous, nous montre l'interface du LST5

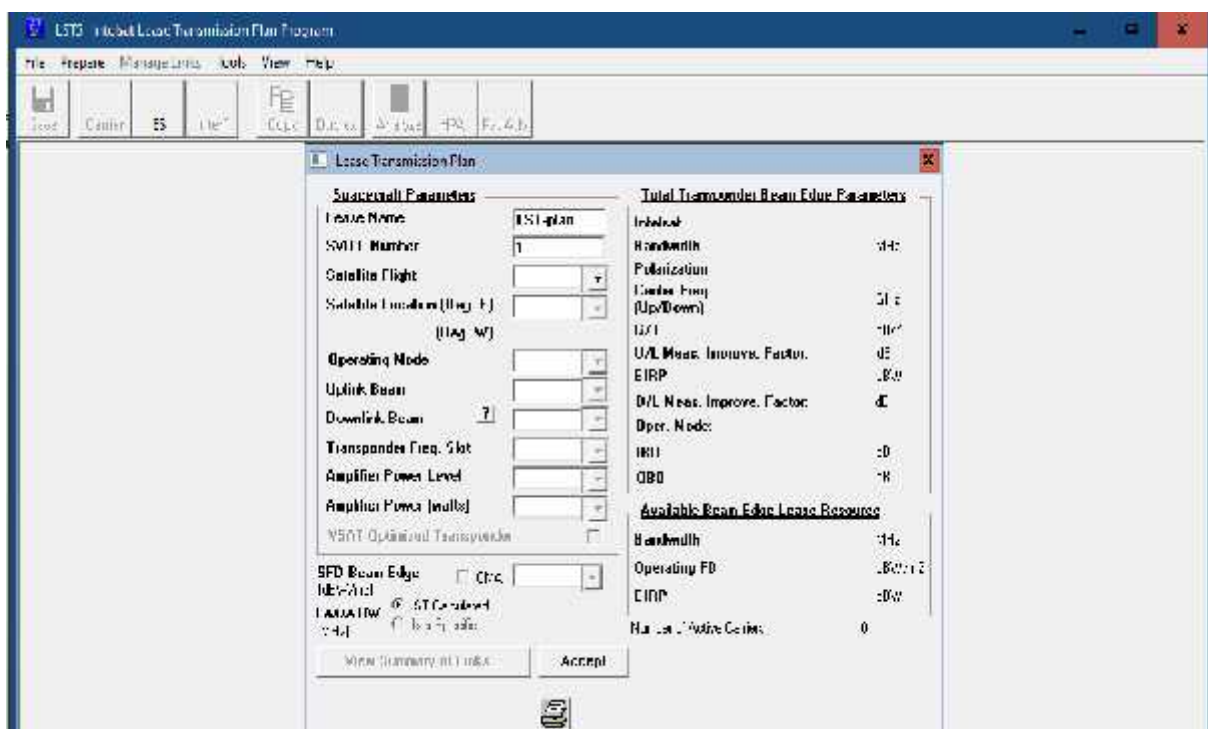


Figure V.1 – Interface LST5.

#### V.1.1. Satellite flight :

C'est le nom du satellite sur lequel va opérer la bande passante du réseau. Comme le satellite Intelsat 10-02 dispose de plusieurs couvertures en bande C, on doit choisir le spot en Uplink et en Downlink, dans cette simulation, la bande sera sur le spot 1 en Uplink et en Downlink.

### V.1.2. Transponder Freq slot :

Le satellite Intelsat 10-02 a 3 transpondeurs de 72 Mhz et 2 transpondeurs de 112 Mhz, dans cette simulation le transpondeur choisi sera 61/61 une fois les paramètres du satellite sont intégrés sur l'outil, ce dernier récolte les informations nécessaires de sa base de données et les affichera sur le côté droit de l'outil.

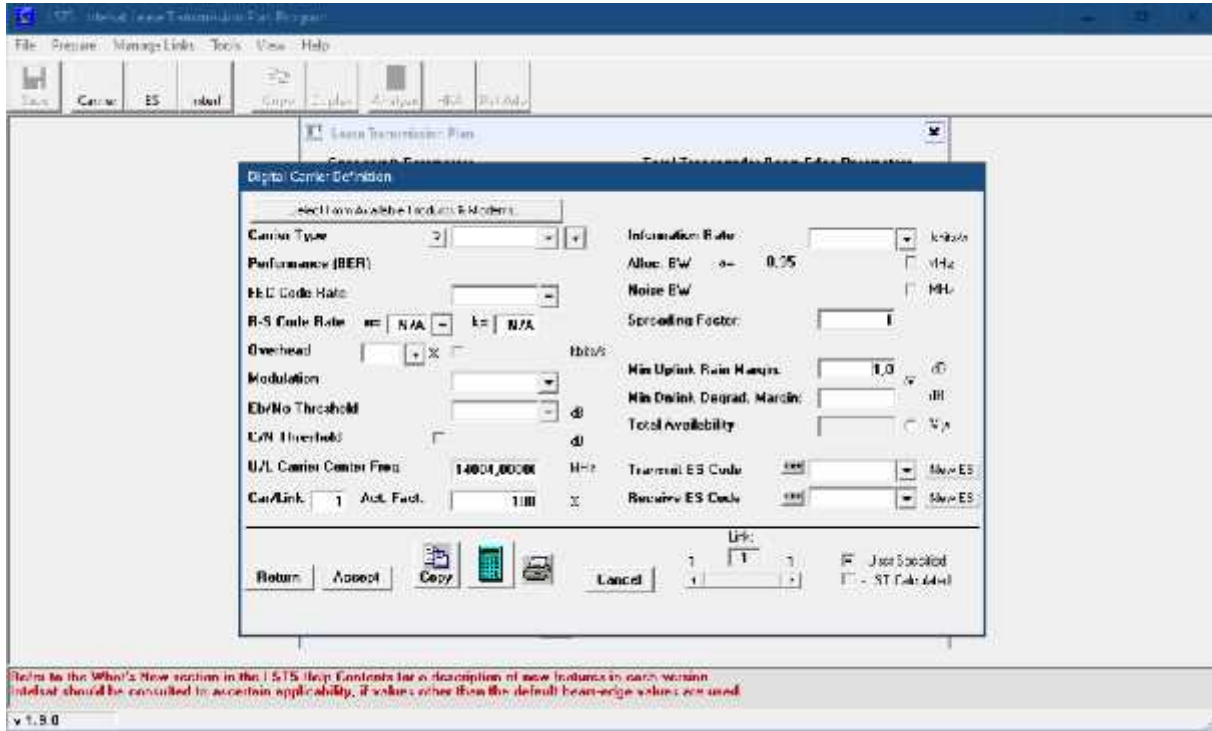


Figure V.2 – Digital Carrier Définition.

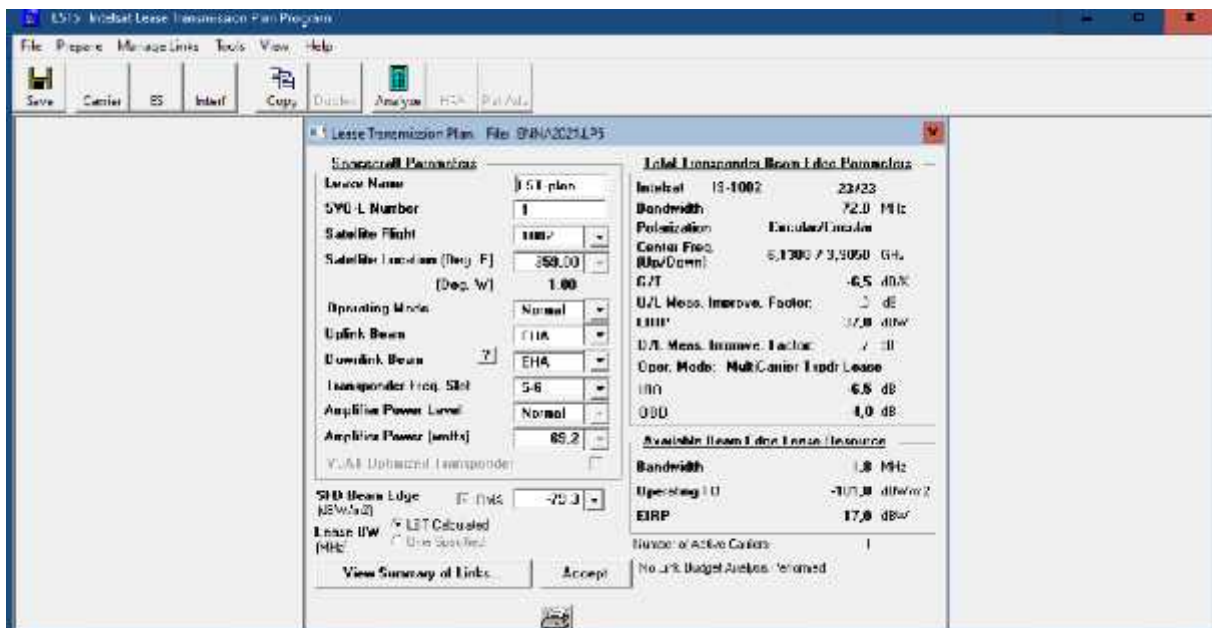


Figure V.3–Lease transmission plan.

Sur cet affichage, on a intégré les informations du satellite Intelsat :

- La position du satellite =359.00 Degrés E 1002

On a eu :

- La puissance disponible sur le transpondeur =69.2 Watts.
- La puissance nécessaire pour saturer le transpondeur = - 79.3.
- Paramètres totaux de bord de faisceau de transpondeur.
- EIRP =37.0dbw.

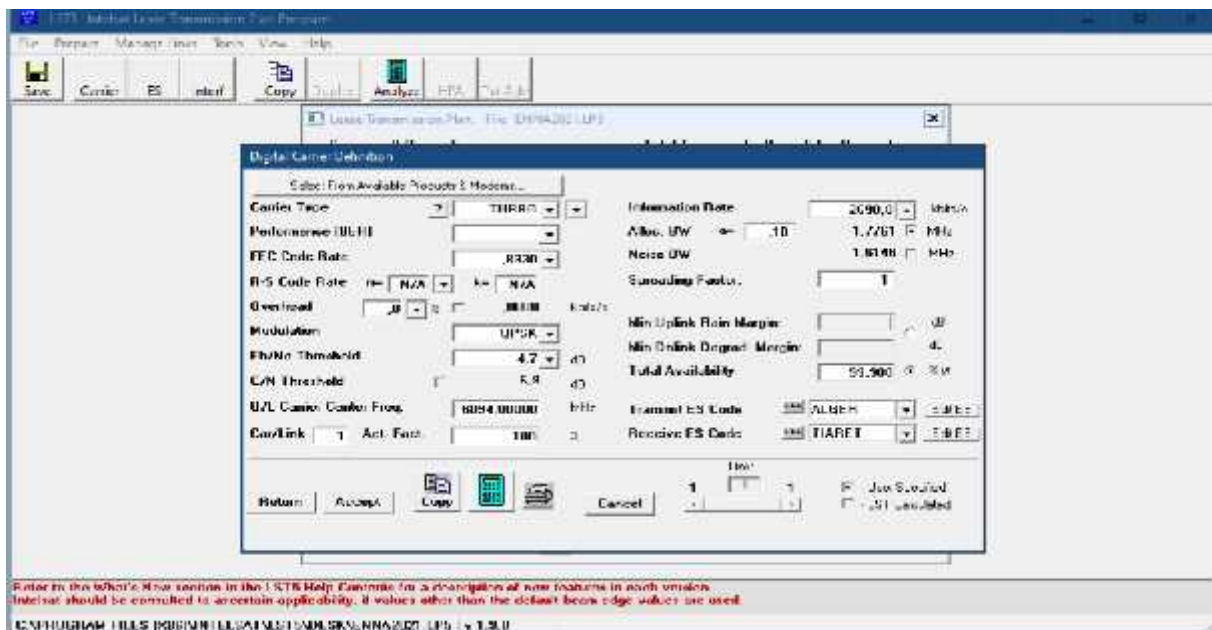
Pertes sur la Puissance porteuse sur le transpondeur :

- Transpondeur **IBO** : Input back off = 6.5 db= point de fonctionnement par rapport à la saturation pour réduire les interférences d'intermodulation.
- Transpondeur output back-off (**OBO**) =-4.0 db=Lié de façon non linéaire au IBO.

### V.1.3. Résultat après carrier :

On intègre les paramètres de la porteuse en appuyant sur l'icône **carrier**

- **Choix du type de la porteuse** : dans notre simulation, le type de carrier est **Turbo**



**Figure V.4 – Choix du type de la porteuse sur Turbo.**

On intègre les informations données par le fournisseur à savoir :

- FEC=5/6=0.8330
- Modulation =QPSK
- Total viabilité = 99.9 norme de la bande C
- Station de transmission =Alger

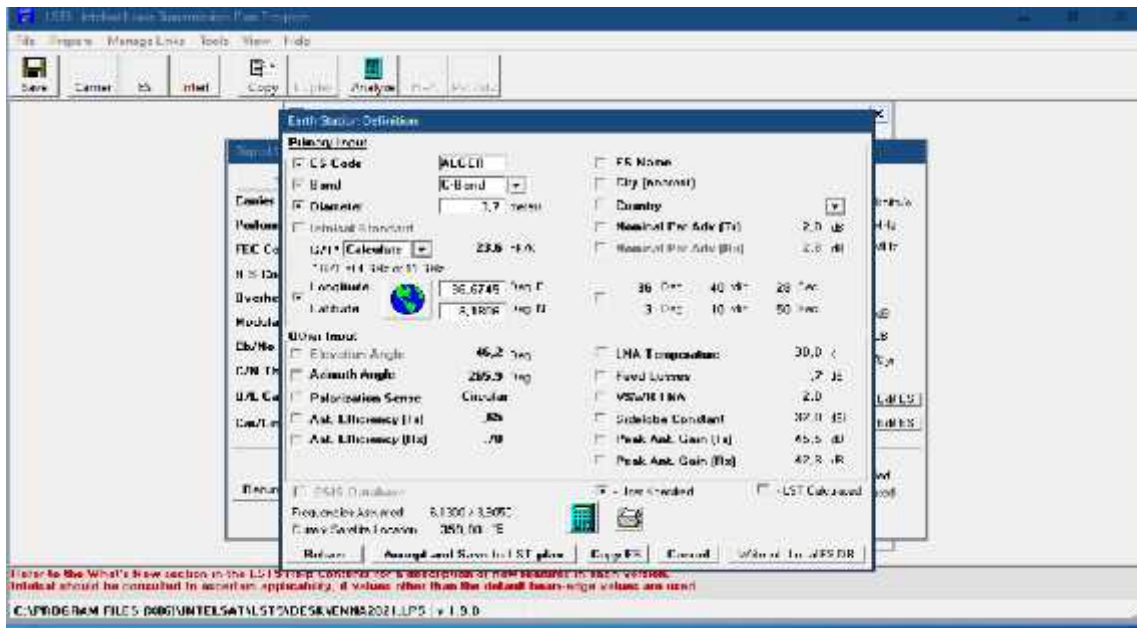
- Station de réception = Tiaret

Et on clique sur **accept**

#### V.1.4. Résultats après intégration des coordonnées GPS de la station d'ALGER :

Les coordonnées GPS D'Alger calculés seront intégrés après le choix de :

- la station = Alger,
- la bande Passante : Bande -C



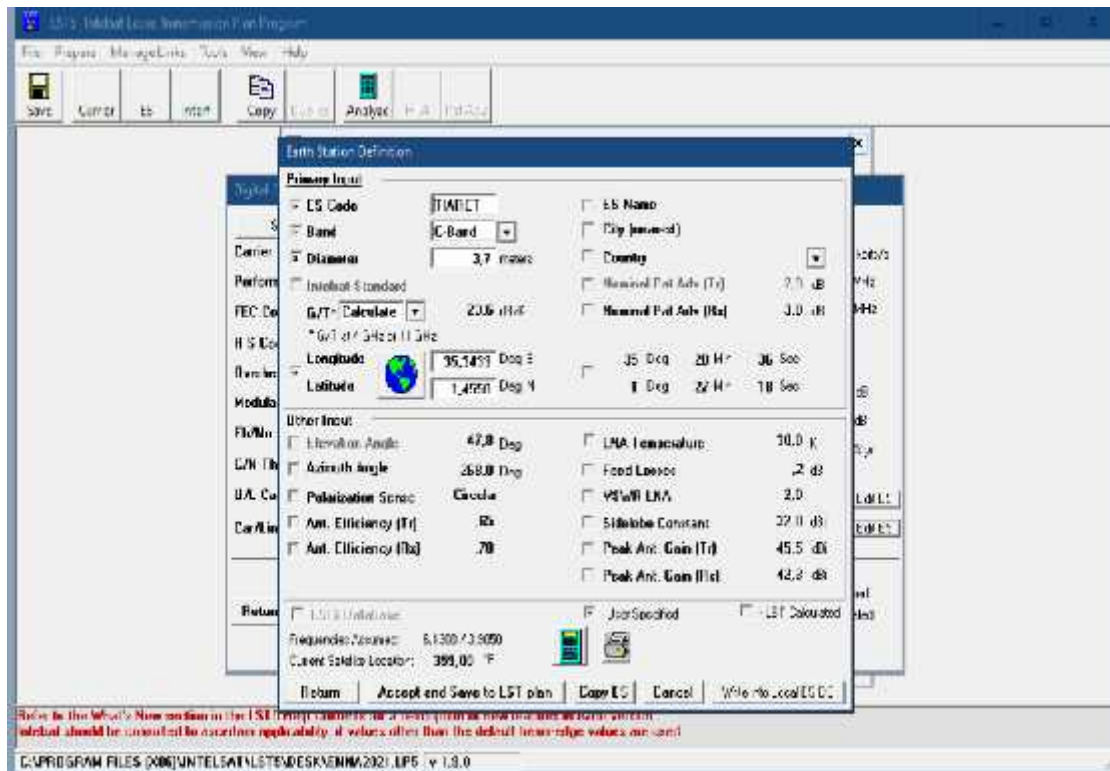
**Figure V.5** – Résultats après l'intégration des coordonnées GPS d'ALGER.

On aura les informations suivantes comme résultats de l'intégration des informations carrier et les coordonnées GPS

- Feed Loss= Pertes =0.2db
- Efficacité de l'antenne Tx =0.65
- Efficacité de l'antenne Rx =0.70
- VSWR LNA =2.0.

Le rapport d'onde stationnaire de tension, VSWR est défini comme le rapport entre la tension maximale et minimale sur une ligne sans perte.

### V.1.5. Résultats après intégration des coordonnées GPS de la station de TIARET :



**Figure V.6** – Résultats après l'intégration des coordonnées GPS de TIARET.

Les mêmes résultats que ceux après intégration des coordonnées de la Station D'Alger vu que c'est les mêmes caractéristiques de l'antenne s'affichent.

### V.1.6. Analyse du bilan de liaison ALGER –TIARET :

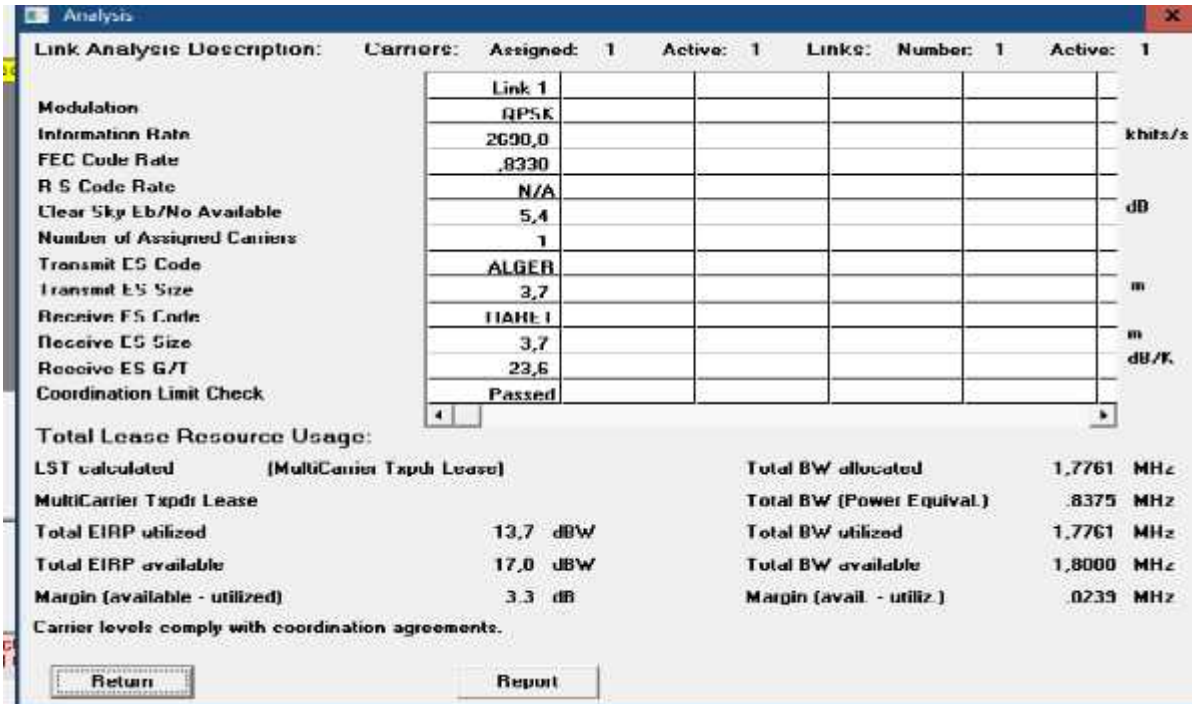


Figure V.7 – Bilan de liaison ALGER-TIARET.

On obtient :

- **Power Equivalent Bandwidth(MHz)=0.8375 Mhz** On distingue deux types de bilans de liaisons :
- **BW limited** : lorsque la bande passante utilisée est supérieure au PEB
- **Power limited** : lorsque le PEB est supérieur à la bande passante utilisée
- L'utilisateur ou le client paiera le sup (BW, PEB)
- Un bilan de liaison est équilibré lorsque le BW=PEB
- Dans ce notre cas d'étude, nous avons **BW limited**
- **Total BW allocated** = 17761 Mhz
- **Total BW available** =18000

### V.1.7. Analyse du bilan de liaison TIARET-ALGER :

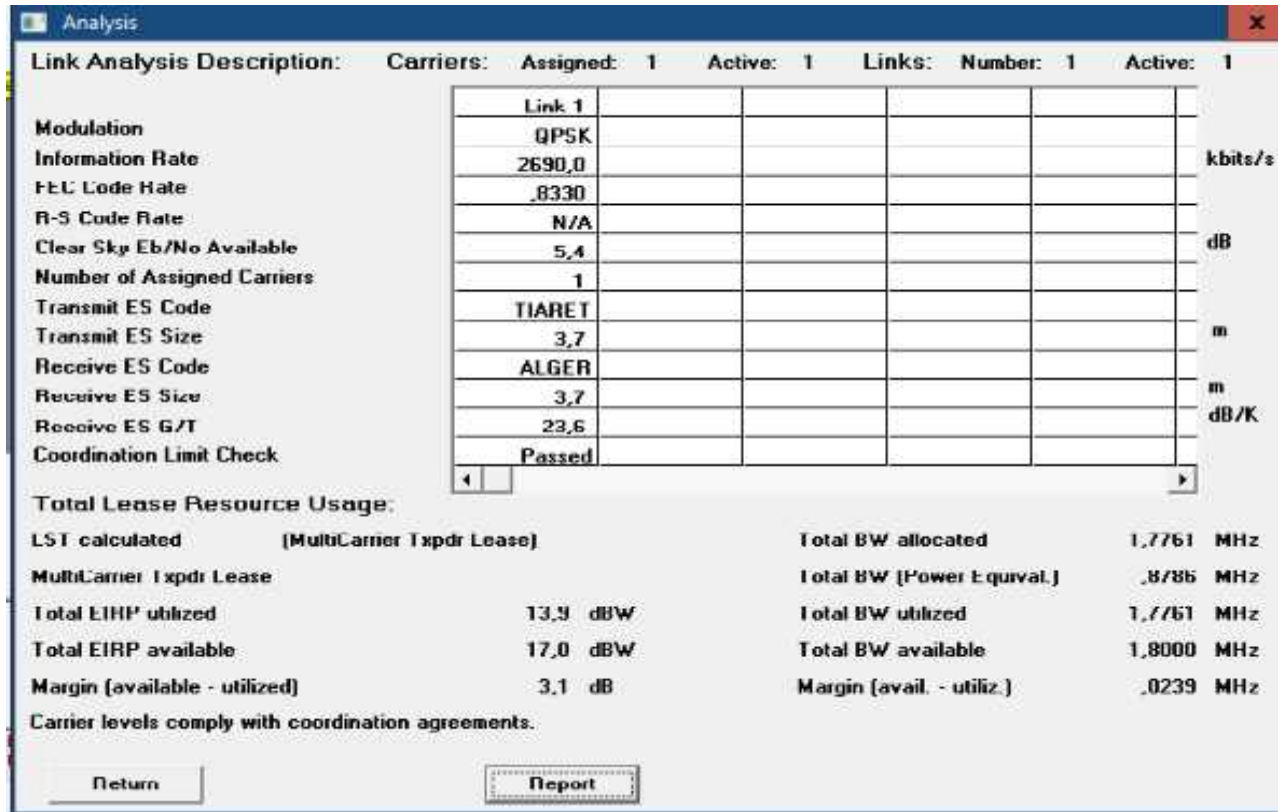


Figure V.8 – Bilan de liaison TIARET-ALGER.



❖ Pour la station de Tiaret :

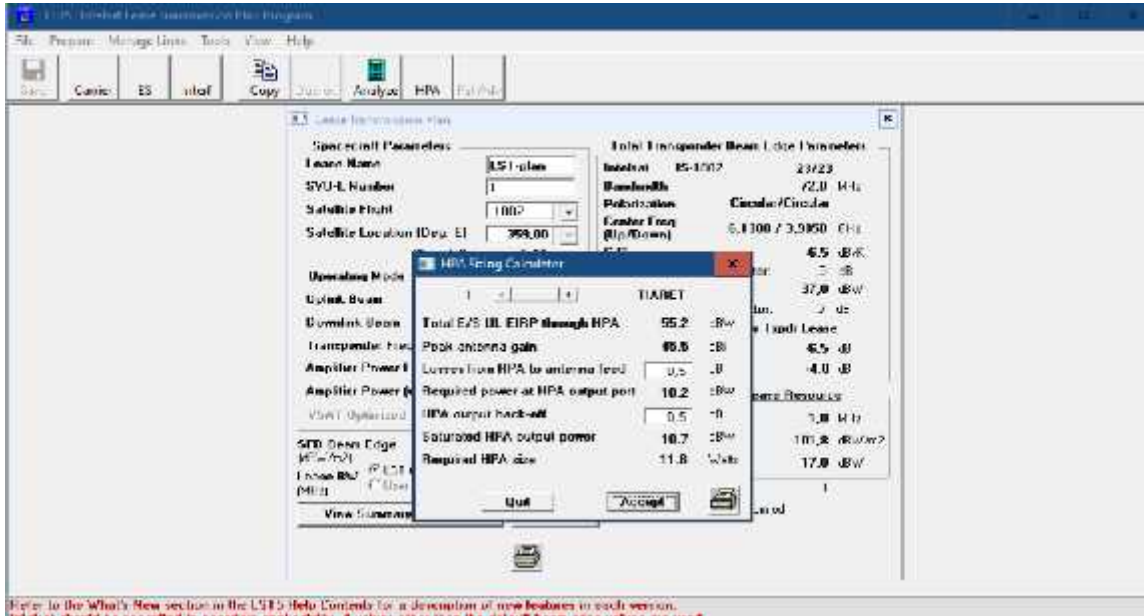


Figure V.9 – HPA Sizing calculator TIARET.

On obtient :

- High Performance Amplifier (Amplificateur Haute performance) sortie = 0.5 db.
- Puissance de sortie HPA saturée=10.7dbw.
- Taille HPA requise = 11.8 Watts.

❖ Pour la station d'Alger :

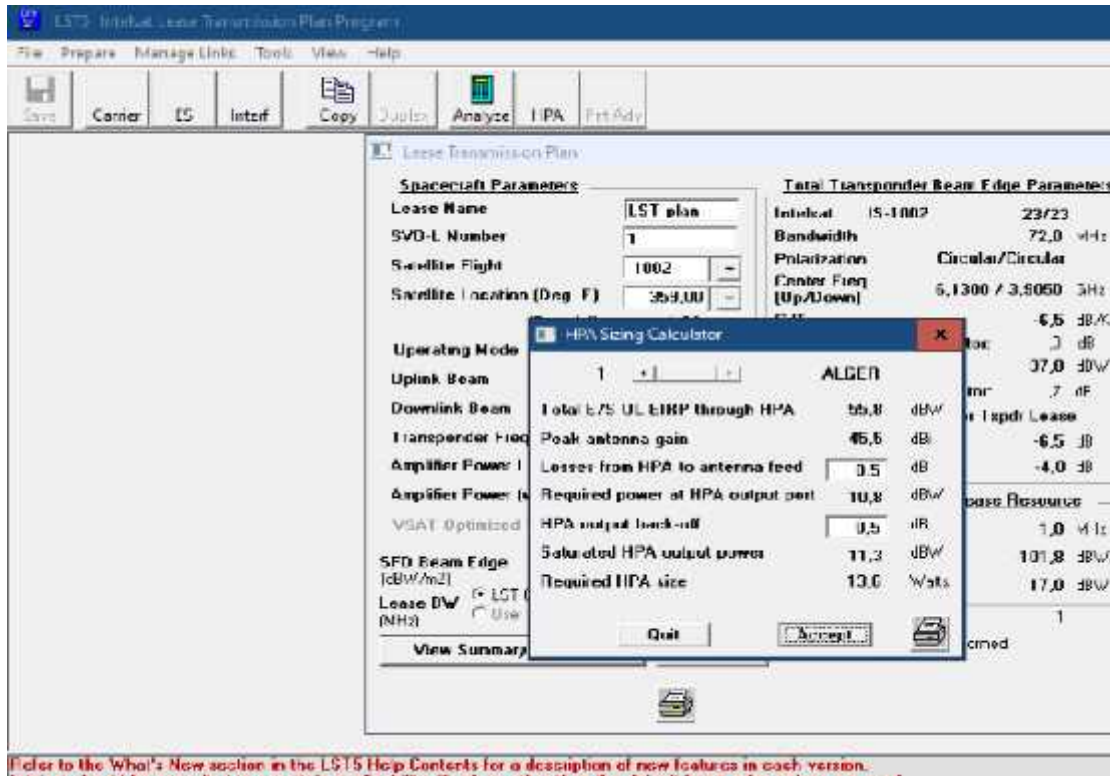


Figure V.10 – HPA Sizing calculator ALGER.

On obtient :


- **High Performance Amplifier (Amplificateur Haute performance) sortie = 0.5 db**
- Puissance de sortie HPA saturée=11.3dbw
- Taille HPA requise = 13.6 Watts

On remarque que Puissance de sortie au niveau de la station d'Alger est plus élevée que celle au niveau de la station de Tiaret e, cela est dû au relief et aux intempéries qui sont importante au niveau d'Alger.

### V.1.8. Rapport du bilan de liaison :

Les tableaux suivants nous donnent les résultats de notre simulation.

#### V.1.8.1 Informations récapitulatives :



**Lease Transmission Plan Program (LST)**  
**Lease Summary Information**  
 septembre 20, 2021

**SVO-L Number** : 1

**Tr. Beam Number** : 23/23

**Slot** : 5-6

**Tr. Cen. Freq. (GHz)** : 6,1300 / 3,9050

**IS-1002 at 359,00 °E**

**LST-plan**

**Note**

Beam Uplink (Geog.) : EHA	Beam Downlink (Geog.) : EHA	Tr BW (MHz) : 72,0
Beam Uplink (Phys.) : L11A	Beam Downlink (Phys.) : L11A	Tr BW (MHz) (R34-110) : 72,0
Tr. SFD (dBW/m2 ; BP) : 18,0	Tr. IBO (dB) : -6,5	Lease BW usage (MHz) : 1,8
Tr. SFD (dBW/m2 ; DP) : 75,3	Tr. CRO (dB) : 4,0	Lease CRO (dBW/m2 ; DP) : 101,0
Tr. G/T (dB/K ; DC) : 6,5	Tr. CIRP (dBW ; DC) : 37,0	Lease CIRP (dBW ; DC) : 17,0
Tr. G/T (dB/K ; DP) : ,0	Tr. CIRP (dBW ; DP) : 40,0	

**Link Analysis Description:**

<b>MultiCarrier Txpr Lease</b>		<b>Link 1</b>	
Number of links:	1	Modulation	QPSK
Information Rate	2590,0	Information Rate	2590,0 Kbits
FEC Code Rate	.8330	FEC Code Rate	.8330
R3 Code Rate	N/A	R3 Code Rate	N/A
Clear Sky Flt/No Available	5,4	Clear Sky Flt/No Available	5,4 dB
Number of Assigned Carriers	1	Number of Assigned Carriers	1
Transmit ES Code	ALPH1	Transmit ES Code	ALPH1
Transmit ES Size	3,7	Transmit ES Size	3,7 m
Receive ES Code	TIARCT	Receive ES Code	TIARCT
Receive ES Size	3,7	Receive ES Size	3,7 m
Receive ES G/T	23,5	Receive ES G/T	23,5 dB/K

**Total Leased Resource Usage:**

LST calculated (MultiCarrier Txpr Lease)	Total BW allocated	1,7761 MHz
Total EIRP utilized 13,7 dBW	Total BW PFD	0,075 MHz
Total EIRP available 17,0 dBW	Total BW utilized	1,7761 MHz
Margin (available-utilized) 3,3 dB	Total BW available	1,8000 MHz
	Margin (available-utilized)	0,0239 MHz

Notes:

Communications Systems Engineering

Data Source

v:1.9.0

File:

Saved: File not saved yet.

Pg.1

**Tableau V.1 – Résultats de la simulation.**

- **Satellite operating flux density** : Densité de flux de fonctionnement du satellite (dB / m<sup>2</sup>) - La densité de flux requise dans l'antenne de réception pour produire la saturation de l'amplificateur du transpondeur.
- **Multi carrier Tx pldase** : Signifie que plusieurs porteuses opèrent sur le transpondeur.

V.1.8.2 Carrier & information :

Carrier Information		Link 1	
Carrier Type	TURBO		
Performance			BER
Modulation	QPSK		
Eb/No Threshold	4,7		dB
C/N Threshold	5,9		dB
Center Frequency	6094,0000		MHz
Information Rate (IR)	2690,0		kbit/s
Overhead (OH)	,0		kbit/s
Data Rate (IR + OH)	2690,0		kbit/s
FEC Code Rate	,8330		
R-S Code Rate	N/A		
Transmission Rate	3229,3		kbit/s
Bandwidths and Margins			
Filter Roll-off Factor	,10		
Spreading Factor	1		
Allocated Bandwidth	1,7761		MHz
Noise Bandwidth	1,6146		MHz
Number of Assigned Carriers Per Link	1		
Activity Factor	100,0		%
Total Availability	99,901		%
U/L Availability	99,920		%
D/L Availability	99,981		%
Spec Uplink Rain Margin	N/A		dB
Spec Downlink Degradation Margin	N/A		dB
Computed Uplink Rain Margin	,72		dB
Computed Downlink Degrad. Margin	1,08		dB
Transmit Earth Station Data			
ES Code	ALGER		
Intelsat Standard			
Antenna Diameter	3,7		meters
Longitude	35,7		deg. E
Latitude	3,2		deg. N
Elevation Angle	46,2		deg.
Azimuth Angle	265,9		deg.
Pattern Advantage	2,0		dB
Peak Antenna Gain @ operating freq.	45,5		dBi
Sidelobe Constant	32,0		dBi
Sidelobe Gain @ 3 degrees	20,1		dBi
Receive Earth Station Data			
ES Code	TIARET		
Intelsat Standard			
Antenna Diameter	3,7		meters
G/T of ES at 4 or 11 GHz	23,6		dB/K
Longitude	35,3		deg. E
Latitude	1,5		deg. N
Elevation Angle	47,8		deg.
Azimuth Angle	268,0		deg.
Pattern Advantage	3,0		dB
Peak Antenna Gain @ operating freq.	42,3		dBi
Sidelobe Constant	32,0		dBi
Sidelobe Gain @ 3 degrees	20,1		dBi

File: Saved: File not saved yet. Pg 2


Tableau V.2 - Carrier & information.

**V.1.8.3. Informations sur le budget de liaison par carrier :**

<b>Per Carrier UL &amp; DL eirp (Clr-Sky)</b>		<b>Link 1</b>	
Transmit ES elevation angle	46,2		deg
Uplink EIRP per carrier	55,8		dBW
Uplink Mis-Pointing Loss	,5		dB
Pathloss at uplink frequency	199,7		dB
Gain of 1 m2 antenna	37,2		dBi
Per carrier FD @SC	-107,2		dBW/m2
SC pattern advantage @ES	2,0		dB
Per carrier BE FD arriving @ SC	-105,1		dBW/m2
Transponder BE SFD	-79,3		dBW/m2
Per carrier input back-off	-25,8		dB
Per carrier output back-off	-23,3		dB
Transponder BE saturation EIRP	37,0		dBW
Downlink BE EIRP	13,7		dBW
<b>LINK BUDGET</b>			
<b>C/N Uplink Per Carrier</b>			
Per carrier uplink EIRP	55,8		dBW
Uplink Mis-Pointing Loss	,5		dB
Pathloss at uplink frequency	199,7		dB
Satellite G/T at BE	-6,5		dB/K
Measured Tpd'r G/T Improvement Factor	,0		dB
SC pattern advantage @ES	2,0		dB
C/N uplink, thermal	17,7		dB
<b>C/N ES HPA at ES elevation angle</b>			
HPA IM at 10 degree elevation angle	9,0		dBW/4kHz
C/N ES HPA-IM per carrier at ES elev angle	23,5		dB
<b>C/I TWTA IM at BE</b>			
Satellite TWTA IM at BE	-28,0		dBW/4kHz
C/I TWTA IM per carrier	16,3		dB
<b>C/N Downlink Per Carrier</b>			
Receive ES elevation angle	47,8		deg
Per carrier BE EIRP	13,7		dBW
Measured Tpd'r DL e.i.r.p. Improv. Factor	,7		dB
SC pattern advantage @ES	3,0		dB
Pathloss at downlink frequency	195,7		dB
Downlink Mis-Pointing Loss	,5		dB
ES G/T at tpd'r downlink frequency	23,4		dB/K
C/N downlink, thermal	11,1		dB
<b>C/I Total</b>			
C/I co-channel interference (total)	21,2		dB
CCT Cancellation Gain of Intf at Rx ESA			dB
C/I due to other carrier(s) in CCT Network			dB
<b>ASI C/I</b>			
Total Uplink ASI C/I	N/A		dB
Total Downlink ASI C/I	N/A		dB
<b>Total C/N, &amp; Eb/No (clr-sky)</b>			
C/N total per carrier	8,8		dB
Margin for ASI	1,0		dB
Margin for terrestrial and other losses	,3		dB
Margin for HPA - IM (in dB)	,0		dB
C/N total (clear-sky)	7,6		dB
Eb/No total (clear-sky)	5,4		dB

**Tableau V.3 - Informations sur le budget de liaison par carrier.**

V.1.8.4. Récapitulatif des liens par opérateur et informations sur les marges :



**Lease Transmission Plan Program (LST)**  
**Per Carrier Link Summary & Margin Information**  
 septembre 20, 2021


Per Carrier Link Summary	Link 1	
Carrier type	Digital	
Per carrier uplink EIRP	55,8	dBW
Per carrier dnlink EIRP	13,7	dBW
Per carrier total C/N threshold required	6,9	dB
Per carrier total C/N clear sky	7,6	dB
Number of active carriers	1.0	
<b>Total Lease Resource Usage</b>		
Per carrier BE FD arriving @ SC	-105,1	dBW/m2
Total FD @ SC per carrier type	-105,1	dBW/m2
<b>Grand total FD arriving @ SC</b>	<b>-105,1</b>	<b>dBW/m2</b>
<b>Grand total FD (BE) available</b>	<b>-101,8</b>	<b>dBW/m2</b>
<b>Margin (*)</b>	<b>3,3</b>	<b>dB</b>
Per carrier BE EIRP	13,7	dBW
Total BE EIRP per carrier type	13,7	dBW
<b>Grand total EIRP utilized</b>	<b>13,7</b>	<b>dBW</b>
<b>Grand total EIRP available</b>	<b>17,0</b>	<b>dBW</b>
<b>Margin (*)</b>	<b>3,3</b>	<b>dB</b>
Allocated BW per carrier	1,7761	MHz
Total BW per carrier type	1,7761	MHz
<b>Grand total BW allocated</b>	<b>1,7761</b>	<b>MHz</b>
<b>Grand total BW PEB</b>	<b>.8375</b>	<b>MHz</b>
<b>Grand total BW utilized</b>	<b>1,7761</b>	<b>MHz</b>
<b>Grand total BW available</b>	<b>1,8000</b>	<b>MHz</b>
<b>Margin (*)</b>	<b>.0239</b>	<b>MHz</b>
<b>ES Off-Axis EIRP Density Lim.</b>		
Transmit antenna diameter	3,7	meters
Per carrier uplink EIRP	55,8	dBW
Noise BW or EDF	1,6146	MHz
Conversion to per 4 kHz	26,1	dB
Peak antenna gain	-45,5	dB <sub>i</sub>
Power at antenna feed	-15,7	dBW/4kHz
Antenna sidelobe gain @ 3.0 deg	20,1	dB <sub>i</sub>
Uplink EIRP density @ 3.0 deg	4,4	dBW/4kHz
Off-axis EIRP limit @ 3.0 deg	20,1	dBW/4kHz
<b>Margin (*)</b>	<b>15,7</b>	<b>dB</b>
<b>STD Gx ES On-axis EIRP Lim.</b>		
Per carrier uplink EIRP density	29,7	dBW/4kHz
Gx uplink EIRP density limit	37,5	dBW/4kHz
<b>Margin (*)</b>	<b>7,8</b>	<b>dB</b>
<b>Max. PFD @ Earth's Surface</b>		
Per carrier DL BE EIRP	13,7	dBW
Assumed angle of arrival	5,0	degrees
Pattern adv. @ angle of arrival	4,0	dB
Energy dispersal	1,6146	MHz
Conversion to per 4 kHz	26,1	dB
EIRP density per 4 kHz	-8,4	dBW/4kHz
Pathloss towards angle of arrival	196,6	dB
Gain of 1 m2 antenna	33,3	dB <sub>i</sub>
PFD arriving @ earth's surface	-171,7	dBW/m2/4kHz
ITU radio reg. Limit (RR28)	-152,0	dBW/m2/4kHz
<b>Margin (*)</b>	<b>19,7</b>	<b>dB</b>

\* Negative margins indicate limits exceeded

File:
Saved: File not saved yet.
Pg.4

Tableau V.4 - Les liens par opérateur et informations sur les marges.

**V.1.8.5. Informations de coordination ASI par transporteur :**



**Lease Transmission Plan Program (LST)**  
**Per Carrier ASI Coordination Information**  
 septembre 20, 2021

Adjacent Satellite Interference	Sat1	Sat2	
Adjacent Interfering Satellite			
Adjacent Interfering Satellite Location	N/A	N/A	
Assumed UL Interference Density	N/A	N/A	dBW/Hz
Assumed UL Polarization Advantage	N/A	N/A	dB
Assumed DL Interference Density	N/A	N/A	dBW/Hz
Assumed DL Polarization Advantage	N/A	N/A	dB
Computed ASI C/I	Link 1		
Uplink ASI C/I From Sat1	N/A		dB
Downlink ASI C/I From Sat1	N/A		dB
Uplink ASI C/I From Sat2	N/A		dB
Downlink ASI C/I From Sat2	N/A		dB
Power and EIRP Densities			
Uplink transmit power density	-51,7		dB/Hz
Downlink BP EIRP density	-41,7		dB/Hz

File:
Saved: File not saved yet.
Pg.5

**Tableau V.5 - Informations de coordination ASI par transporteur.**

## V.2. Comparaison Entre La Partie Théorique Et La Partie Simulation :

On doit établir le calcul suivant pour pouvoir comparer le résultat obtenu de la simulation avec le résultat théorique :

Nous avons les données suivantes :

- $FEC=5/6=0,833$
- $QPSQ=2$  vu qu'on a
- $Sr=1614Kbps$

La formule suivante va nous permettre d'avoir :

- $B_w = (l'inforate/mode\ code) \times roll\ off$
- $Roll\ Off=11\%=1.1$
- $S_r=l'info\ rate /modecode\ donc$

$L'inforate=S_r \times modecode=S_r \times QPSQ \times FEC=2690\ Kbps$

- $B_w = (2690 / (2 \times 0,833)) \times 1,1 = 1776$
- $B_w = 1776\ Khz$

Le résultat théorique après calcul est conforme au résultat pratique.

## Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons utilisé un outil qui nous a permis de générer les bilans de liaison, ceci nous a donné un résultat que nous avons pu comparer à l'étude théorique.

Comme nous avons aussi étudié les bilans et budget de la liaison entre les deux stations, et enfin, nous avons fait une comparaison entre la partie théorique et la partie pratique.

## Conclusion Générale

L'utilisation de la transmission satellitaire remède a plusieurs défaillances de la transmission terrestre ; d'où l'utilisation de la transmission de la donnée importante VHF via le réseau Vsat ;

Ce projet reste innovant et rentre dans le cadre de l'amélioration du réseau existant dans le but de doté tous les sites de cette solution qui assurera la redondance ;

Notre Projet de fin d'étude c'est conclu en se basant sur la description des différents paramètres qui rentrent dans le calcul du bilan de liaison et aussi su le choix des équipements installés dans chaque station pour assurer un bon résultat du travail recherché ;

Nous avons suivi l'étude théorique de la transmission de données, ensuite nous avons pu réaliser la simulation en se basant sur les paramètres techniques de chaque station ainsi que le choix de moyens efficaces de transmission ;

On peut par exemple voir la donnée Théorique Required minimum Bandwidth (approximated, informational):établie partir d'un calcul est égale a 1776Khz, et en utilisant le logiciel , nous avons obtenue le même résultat qui ressort dans la page 93 figure V.4

Ce travail modeste , nous a permis de nous familiarise avec les différents équipements des stations VSAT et de comprendre les critères du choix de ces derniers et l'importance de l'étude théoriques qui permet de bien s'orienter pour avoir moins de frais et aussi un meilleur résultat de l'objectif requis ;

Notre souhait est d'élargir l'utilisation de la transmission satellitaire au réseau terrestre pour permettre un bon résultat plus performant et d'assurer la continuité de l'information sans perturbation externes.



## Bibliographie

- Gérard MARAL, « Systèmes de télécommunications par satellite » ,1996 Technique de l'ingénieur.
- Annexe 10 a la convention relative a la convention de l'aviation Civile internationale télécommunications Aéronautiques volume I-Aides radio a la navigation 'ICAO', édition
- Recommandation UIT-R V.431-8 (08/2015) Nomenclature des bandes de fréquences et de longueurs d'onde employées en télécommunication (Chap III bande de fréquences)
- Anne Claire LEPAGE, Introduction aux télécommunications par satellites, Présentation, Département Communications et Electronique, Telecom Paris Tech, juin 2021
- BACHOUCHE FOUZIA, Transmission des données radar via un support satellitaire VSAT ,mémoire de fin d'étude, Université de BLIDA 1,Institut d'Aéronautique et des Études Spatiales Laboratoire des Sciences Aéronautique, Département Navigation aérienne ,2017/2018
- Ourahmoune Lounes, système de télécommunication satellite, Mémoire de fin d'étude, Université Mouloud Maamri , Faculté de Génie Electrique et Informatique Département d'électronique Tizi Ouzou 2010/2011
- Documentation transmise par l'ENNA pour le projet VSAT : DataSheet des équipements sur sites.
- <https://www.ats.dz> consulté le 13/07/2021
- <https://itso.int/wp-content/uploads/2018/04/Lease-Transmission-Plan-Program-LST5-.pdf>consulté le 19Juillet 2021
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Satellite\\_g%C3%A9ostationnai](https://fr.wikipedia.org/wiki/Satellite_g%C3%A9ostationnai) consulté le 15/07/2021