



UNIVERSITÉ AKLI MOHAND OULHADJ  
BOUIRA



Faculté des Sciences et Sciences Appliquées

# Département de Génie Electrique

Thème :

Etude d'un bilan de liaison  
satellitaire

Réalisé par :

Encadré par :

\* Djebri manar

Boucenna mouhamed lamine

\* Maidat nour elhouda

**Année : 2016/ 2017**

## **Remerciement**

*Avant tout, nous remercions le Dieu, notre créateur de nous avoir donné la force, la volonté, la santé, le courage et la patience durant toutes ces années d'étude.*

*Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous terminions nos études.*

*Nous tenons à adresser nos sincères remerciements et le grand respect à notre promoteur **Dr BOUCENNA Mohamed Lamine** et à notre encadreur de stage monsieur **AZZADDIN Mahmoudi**, pour son disponibilité, ses conseils, sa gentillesse et toute l'aide qu'il nous a rapporté.*

*Nous remercions également les membres du jury pour avoir Accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et Critiques, ainsi que tous les enseignants à tous les niveaux, Particulièrement ceux du département de génie électrique, pour tout Le savoir que nous avons acquis grâce à eux durant notre étude.*

*Nous adressons toutes nos sympathies à tous nos collègues et nos amis pour leurs encouragements et pour tous les moments agréables. Un grand merci pour tous ceux qui ont contribuées de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.*

*Merci à vous tous*



## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*À mes parents, qui n'ont épargné aucuns efforts pour faire de*

*moi ce que je suis,*

*A mes grands peres AHMED ET ALAL*

*A mes grandes meres alja fatma*

*A ma chere grande mere hmama*

*A mes sceurs, Marwa, Meriem,*

*À mon frère, Abd alkarim*

*À ma famille proche ou lointaine,*

*À tous mes amis leila, bayà, Chahrazed, Amina, Nadià,*

*Nabila, Hanane, Souhila, Houria ,Zahra ,Merieme,*

*Wafa, Houda,*

*Amon binome houda*

*je leur souhaite réussite et bonheur,*

*A tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail,*

*manar*

### **Abstract**

In this paper, a satellite link budget calculator was done by using MATLAB – GUI program, the link budget is represented in one active screen, and it is designed to show the parameters that affect the RF signal when it is passing through the three main parts of the satellite communication system and regardless of the input signal power level. The results of the link budget program with the effects of changing the parameters will be shown inside the same active screen, which makes the users (students and trainers), analyze the reason that causes the weak signal when it reaches the receiver.

**Keywords :** Satellite link budget, GUI (guide utilisateur interface), Simulation, gain, margin, satellite link status.

### **Résumé**

Dans ce projet, un calculateur d'un bilan de liaison par satellite a été impliqué dans une interface graphique du programme MATLAB - GUI, il distingue pour effectuer les paramètres de signal RF lorsqu'il traverse les trois parties principales du système de communication par satellite et indépendamment du niveau de puissance du signal d'entrée. Les résultats du programme de bilan de liaison avec les effets de la modification des paramètres seront affichés dans la même interface, ce qui permet aux utilisateurs (étudiants et formateurs) d'analyser le raison qui cause le signal faible dans la station réceptrice.

**Mots-clés:** Bilan de liaison, GUI, Simulation, gain, marge, status de liaison par satellite.

## Abréviation

La signification d'une abréviation ou d'un acronyme n'est souvent indiquée qu'à sa première apparition dans le texte. Il existe dans la plupart des cas une abréviation en français et une abréviation en anglais. Toutes les deux sont indiquées une première fois puis nous employons l'abréviation la plus usuelle, qui est le plus souvent l'abréviation en anglais.

### Acronymes & Abréviations

**NASA** (National Aeronautics and Space Administration)

**GEOS**(Géostationnaires)

**MEO** (Medium Earth Orbital Satellite)

**GEO** (Geostationary Earth Orbital Satellite)

**TT&C** (Tracking, Telemetry and Command)

**VSAT** (Very Small Aperture Terminal),

**RCVO** (ReCeIve Only)

**LNB** (Low Noise Block)

**UHF** (Ultra High Fréquence)

**L'UIT** (Union Internationale des Télécommunication).

**MSS** (Mobile Satellite Service)

**FSS** (Services Satellite fixes)

**DHT** (Direct to Home)

**BSS** (Broadcasté Satellite Services).

**BUC** (Block Up Converter)

**PIRE** (Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente)

**EIRP** (Equivalent Isotropically Radiated Power).

**TEB** (Taux d'Erreur binaire)

**BER** (Bite Error Rate)

**CTS**(Centre Telecom Satellite)

**ATS**(AlgérieTélécom Satellite)

**VSAT** (Very Small Aperture Terminal)

**FEC** (Forward Error Correction)

**QPSK** (Quaternary Phase Shift Keying)

**AWGN** (AdditiveWhite Gaussian Noise)

Table des matières

Remerciements-----I  
Dédicaces-----II  
Résumé-----III  
Table des Matières-----IV  
Liste des Figures-----V  
Liste des Tableaux-----VI  
Liste des Abréviations-----VII

Introduction générale-----

Chapitre 1 : Généralités sur les télécommunications par satellite

1.1 Introduction-----  
1.2 La mise en orbite des satellites-----  
1.3 Etude du mouvement des satellites-----  
1.4 Les orbites suivies par les satellites-----  
    1.4.1 L'orbite basse altitude -----  
    1.4.2 MEO (medium Earth Orbital satellite) les orbites moyennes-----  
    1.4.3 GEO (Geostationary earth orbital satellite) orbite géostationnaire -----  
1.5 Description d'un système de télécommunication par satellite-----  
1.6 L'architecture d'un système de communication par satellite-----  
    1.6.1 Secteur spatial-----  
    1.6.2 Secteur terrien-----  
1.7 Principe de la transmission-----  
1.8 Couverture d'un satellite-----  
1.9 Gestion de la bande passante (hand over) -----  
    1.9.1 Le hand over intra satellite-----  
    1.9.2 Le hand over inter satellite-----  
1.10 Les acteurs-----  
1.11 Conclusion-----

Chapitre 2 : Les éléments de base d'un bilan de liaison.

2.1 Introduction-----  
2.2 Les paramètres généraux d'un bilan de liaison -----  
    2.2.1 Coordonnées de la station sol -----  
2.3 Les Fréquences utilisées-----  
    2.3.1 Bandes de fréquences-----  
    2.3.2 LNB -----  
    2.3.3 BUC-----  
2.4 Les paramètres d'un bilan de liaison-----  
    2.4.1 Les antennes utilisées-----  
        2.4.1.1 Antenne parabolique-----  
    2.4.2 Le gain-----  
    2.4.3 La PIRE-----  
    2.4.4 Les pertes dans l'espace libre-----  
    2.4.5 La puissance de réception-----

---

2.4.6 Atténuation globale ou Affaiblissement global-----  
2.4.6.1 Les pertes par l'absorption atmosphérique-----  
2.4.6.2 L'affaiblissement par la pluie-----  
2.4.7 La puissance de bruit reçu sur la liaison -----  
2.4.8 Le facteur de bruit F -----  
2.4.9 Température de bruit-----  
2.4.9.1 Température de bruit d'un récepteur-----  
2.4.9.2 Température de bruit d'une antenne-----  
2.4.9.3 Température de bruit d'un système de réception-----  
2.5 Le rapport signal /bruit S/N porteuse /bruit C/N l'énergie moyen /bruit E/N-----  
2.5.1 Le rapport C/N-----  
2.5.2 Le rapport E/N-----  
2.6 Liaison montante : (Up Link(C/N<sub>0</sub>)<sub>u</sub>)-----  
2.7 La liaison descendant-----  
2.8 Le bilan total (C/N<sub>0</sub>) total-----  
2.9 Le bilan énergétique-----  
2.10 Le taux d'erreur binaire (TEB) -----  
2.11 Facteurs de dégradation fixe-----  
2.12 Facteurs de dégradation reliés aux interférences-----  
2.13 Facteurs d'amélioration de la qualité-----  
2.14 CONCLUSION-----  
**Chapitre 3 : L'élaboration d'un programme de calcul du bilan de liaison.**  
3.1 Introduction-----  
3.2 Localisation du CTS de Lakhdaria-----  
3.3. Algérie Télécom Satellite (ATS) -----  
3.4 Présentation du Centre des Télécommunications par Satellite (CTS) Lakhdaria -----  
3.4.1 Station LKH 01 (IOR) -----  
3.4.2VSAT -----  
3.5. La simulation du bilan de liaison -----  
3.5.1 Les paramètres d'entrés-----  
3.6 Conclusion -----  
**Conclusion générale**-----  
**Bibliographie**-----



### Introduction générale

Quelque soient les moyens utilisés pour communiquer à distance, le but est de faire parvenir l'information à transmettre vers sa destination finale. Les transmissions par satellite font désormais partie intégrante du monde de la télécommunication. Depuis leur apparition, vers 1965, elles ont permis la création du réseau téléphonique mondial automatique commuté. Il est vrai qu'à cette époque, les câbles téléphoniques sous-marins avaient permis de relier les continents au moyen de circuits téléphoniques disponibles en permanence, mais ce sont les télécommunications par satellite qui ont enfin permis de surmonter tous les obstacles terrestres en établissant des liaisons entièrement fiables, pour la téléphonie, la télévision et la transmission de données..., et cela indépendamment de la distance et de l'isolement des points à relier.

Le calcul du bilan de liaison est une étape très importante dans la transmission des données par satellite afin de garantir la disponibilité et la qualité de la liaison. Il a le but de calculer les paramètres de conception techniques nécessaires pour le signal (type de modulation, codage correcteur d'erreurs, etc) et pour la station terrienne et éventuellement pour la station spatiale, c'est à dire le satellite (G/T, PIRE, ...etc). Ces paramètres techniques déterminent le type d'équipement nécessaire (type et la taille des antennes, la puissance des amplificateurs, des modems, des codecs, ...etc.).

Ce projet est une étude générale aux systèmes de télécommunications par satellite. L'objectif est de présenter les principales caractéristiques de ces systèmes et après explique le calcul du bilan de liaison global d'une liaison satellitaire unidirectionnelle en calculant le rapport (C/No) globale.

La performance globale d'une liaison unidirectionnelle entre deux stations terriennes E et R dépend des caractéristiques de trois éléments : la liaison montante (de STE vers satellite), le transpondeur satellite et la liaison descendante (satellite vers STR).

Nous avons subdivisé notre rapport en trois principaux chapitres :

- **Le chapitre 01** : Généralités sur les télécommunications par satellite.

Dans ce chapitre on effectue une description générale de la théorie de télécommunication par satellite. L'objectif est de présenter les principales caractéristiques de ces systèmes.

- **Le chapitre 02** : Les éléments de base d'un bilan de liaison.

Nous avons mentionné dans ce chapitre les paramètres d'un bilan de liaison principale pour notre étude.

- **Le chapitre 03** : L'élaboration d'un programme de calcul du bilan de liaison.

Ce chapitre contient un exemple de calcul d'un bilan de liaison à partir d'un programme nous ayant réalisé dans le MATLAB GUIDE.

## 1.1 Introduction

Les satellites de communication peuvent être de différentes utilités, ils assurent la communication dans des zones dépourvues d'infrastructure de communication terrestre, une solution de secours pour les entreprises, un moyen de diffusion d'information comme par exemple la télévision, ou encore une solution de désengorgement des réseaux terrestres. Pour assurer ces communications, les satellites doivent être mis en orbite par des lanceurs tels qu'Arianespace pour l'Europe et la NASA pour l'Amérique du nord.

Ce chapitre est une introduction générale aux systèmes de télécommunications par satellite. L'objectif est de présenter les principales caractéristiques de ces systèmes.

## 1.2 La mise en orbite des satellites

Les satellites peuvent se situer sur plusieurs types d'orbites en fonction de leur utilisation. Chacune de ces orbites dispose des avantages et des inconvénients. En général, plus une orbite se trouve éloignée de la Terre, plus le temps aller-retour du signal électromagnétique est grand. Le satellite a cependant une vitesse faible dans l'espace terrestre, ce qui augmente son temps de couverture. À l'inverse, un satellite proche de la Terre communique avec une faible latence, mais peut se déplacer si vite dans le ciel terrestre qu'il ne couvre un utilisateur que pendant quelques minutes [1] [2] [3] [5] [7] [6].

### 1.2.1 Etude du mouvement des satellites

Les Lois de Kepler sont des lois issues de l'observation du Système solaire, et décrivant les propriétés principales du mouvement des planètes autour du soleil. Mais après ces trois lois s'appliquent dans le référentiel terrestre pour étudier et contrôler le mouvement des satellites sur les orbites autour de la Terre.

#### ➤ La 1ère Loi : Loi des orbites

Le satellite se meut dans un plan (plan orbital) et sa trajectoire est une ellipse dont la Terre occupe un foyer. L'ellipse possède un demi grand axe noté  $a$  et un demi petit axe noté  $b$ . On définit l'excentricité  $e$  de l'ellipse,

$$e^2 = 1 - \frac{b^2}{a^2} \quad (1.1)$$

Le cas de l'orbite circulaire est celui où  $e = 0$  ;  $a$  et  $b$  sont alors égaux.

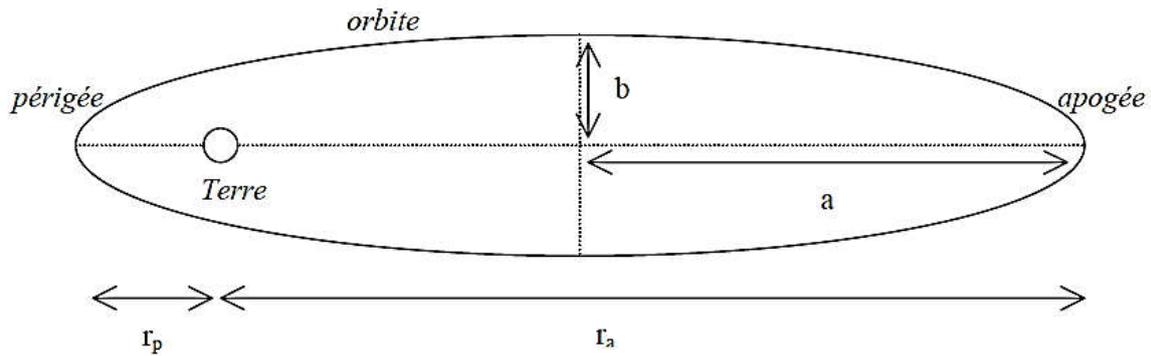


Figure 1.1-L'orbite elliptique [3].

➤ **La 2ème Loi : Loi des aires**

Le vecteur du centre de la Terre au satellite balaye des aires égales en des temps égaux. Le point de l'orbite où le satellite est le plus éloigné de la Terre (apogée) est donc le point où la vitesse du satellite est la plus faible. Inversement la vitesse sera maximale au périgée (point où le satellite est le plus près de la Terre). Pour une orbite circulaire la vitesse est constante.

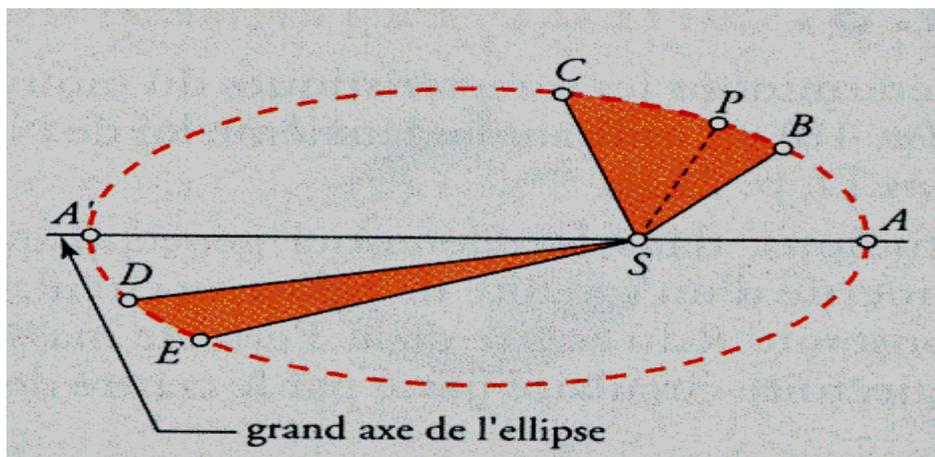


Figure 1.2-Les aires d'une ellipse [3].

Par conséquentes :

- Les aires des triangles SBC et SDE sont égales.
- La portion d'ellipse BC est parcourue dans le même temps que la portion DE, ce qui implique que la planète va plus vite quand elle est proche d'un foyer de l'ellipse que quand elle est loin.

➤ **La 3ème Loi : La loi des périodes**

Le rapport du carré de la période de révolution  $T$  au cube du demi grand axe  $a$  de l'ellipse est le même pour tous les satellites :  $\frac{T^2}{a^3} = cste$ . On déduit des lois de Kepler la position de l'orbite géostationnaire qui correspond à l'orbite où doit se trouver un satellite pour apparaître fixe de n'importe quel point de la surface de la Terre. On en déduit alors que l'orbite géostationnaire se trouve dans le plan équatorial à 35786 km de la surface de la Terre (42164 km du centre de la Terre) [1] [7].

➤ **L'application de la 2ème loi de Newton**

Pour le travail sur les satellites de la terre on va travailler dans le référentiel géocentrique, et cette fois l'astre attracteur est la terre (masse  $M_T$ , rayon  $R_T$ ). La seule force qui s'exerce sur notre système satellitaire (de masse  $m$  et d'altitude  $h$ ) a donc pour expression [2] [6] [21] :

$$\vec{F} = G \frac{M_T m_s}{(R_T + h)^2} \vec{u} \quad (1.2)$$

### 1.2.2 Les orbites suivies par les satellites

Une orbite est la trajectoire décrite par une planète autour du soleil, ou par un satellite autour de sa planète. Lors de la détermination de l'orbite d'un satellite, il y a quatre éléments fondamentaux que l'on voudrait déterminer :

- La taille de l'orbite.
- La forme de l'orbite.
- L'orientation (du plan de l'orbite dans l'espace).
- La position du satellite sur l'orbite.

#### 1.2.2.1 L'orbite basse altitude

Un satellite placé dans une orbite basse altitude décrit une trajectoire en forme d'ellipse autour de la Terre. Afin de placer un satellite en orbite elliptique, la vitesse de lancement dans l'espace doit « selon les théories de navigation de Newton » être supérieure à 7900 m/s, donc le temps aller-retour de l'onde radio soit inférieur à 10ms. La principale caractéristique de ce type d'orbite est la grande variation en vitesse que subissent les satellites. En effet, plus un satellite est loin de la terre, plus sa vitesse est faible car la vitesse "  $v$  " est inversement proportionnelle à son altitude "  $h$  " selon la relation [7] [1][2]:

$$v^2 = G * m * \left( \frac{2}{h} - \frac{1}{a} \right) \quad (1.3)$$

G est la constante gravitationnelle, m : la masse du satellite et a : le demi grand axe de l'orbite [3]. Cependant, comme l'altitude (de 200 à 2000 km) varie énormément pendant sa période et que la trajectoire décrit une ellipse, la position du satellite pour un observateur terrestre n'est pas fixe. Par conséquent, le suivi de chaque satellite nécessite un équipement de stations d'émission et de réception avec des antennes mobiles, ce qui est considéré au point de vue financier et qualitatif comme un inconvénient. Néanmoins, les satellites en orbites elliptiques présentent l'avantage de pouvoir desservir des zones éloignées de l'équateur, ce qui n'est pas forcément le cas des orbites circulaires et géostationnaire. En effet, avec une inclinaison élevée, il est possible de survoler des territoires à la périphérie de l'atmosphère étant plus étroite, et la qualité des signaux sera donc un peu meilleure. Les satellites à orbites basses ont les caractéristiques opposées des satellites GEOS (Géostationnaires) ; un faible temps de propagation du signal, mais un déplacement relatif au sol terrestre très rapide. Par exemple un satellite à 1000 km d'altitude fait le tour de la Terre en à peu près 90 minutes, ce qui signifie qu'il couvre un point fixe terrestre pendant un peu plus de deux minutes. Ce désavantage doit être contrebalancé par un réseau de satellite qu'on appelle constellation. Lorsqu'un récepteur terrestre est sur le point de sortir de la zone de couverture d'un satellite, il passe sur un autre satellite par "hand over". Pour que la communication reste constante, il est nécessaire que les satellites communiquent entre eux au sein de la constellation. Les satellites en orbite basse sont surtout utilisés pour la communication téléphonique [5] [4] [7][1].

Les orbites elliptiques présentent des avantages, comme la couverture des zones éloignées de l'Equateur, mais également des inconvénients tels que les aspects qualitatif et financier des équipements mobiles sur Terre. Cependant il existe des orbites où ce type d'inconvénients n'apparaît presque pas : ce sont les orbites circulaires [3] [5].

### 1.2.2.2 MEO (medium Earth Orbital satellite) les orbites moyennes

C'est l'Orbite inclinée à 50° par rapport à l'équateur, D'altitude de 2000 à 35000 km et satemps aller-retour de l'onde radio égale presque à 100ms. La période d'orbite est de l'ordre de six heures et ainsi du satellite restera en vue dans toute une majorité de types de raccordement (mais pas pour des services continus). En outre, l'altitude, étant beaucoup plus haute ; permet au satellite de voir une partie beaucoup plus grande de la terre et donc un nombre d'utilisateurs plus grand. Le facteur à considérer est le retard de propagation, qui est beaucoup plus significatif que dans le LEO mais toujours raisonnablement bas par rapport au GEO satellites. Les configurations de LEO et de MEO permettent multiples applications en raison relative du bref retard.

Les MEOS sont placés entre les satellites à orbite haute et ceux à orbite basse. Ils permettent donc d'ajuster les différentes caractéristiques des orbites en fonction de l'utilisation du satellite. Les satellites GPS sont par exemple situés sur des orbites moyennes, de l'ordre de 20000 km d'altitude et ils peuvent desservir les parties intéressantes d'un point de vue économique, militaire ou autres applications [1] [7].

### **1.2.2.3 GEO (Geostationary earth orbital satellite) orbite géostationnaire**

À l'origine, une orbite géostationnaire est une orbite circulaire inclinée d'un angle nul, c'est à dire placée dans le plan équatorial. Mais ses caractéristiques étant assez différentes de celles des orbites circulaires simples. Ce nom vient de la caractéristique la plus importante de cette orbite : pour un observateur terrestre, un satellite placé en orbite géostationnaire a une apparence immobile dans le ciel. Cela vient en grande partie du fait que la période de révolution, c'est à dire le temps que met le satellite pour parcourir le périmètre du cercle représentatif de sa trajectoire, est exactement la même que celle de la Terre, soit exactement 23 heures 56 minutes 4 secondes. Mais le fait qu'il tourne dans le même sens que notre planète en est également unique. Leur principal atout repose sur la position fixe qu'ils maintiennent dans le ciel terrestre. Une station au sol reste donc en permanence dans la zone de couverture du satellite. En revanche, leur altitude élevée de 35786 km entraîne un temps de latence du signal aller-retour considérable : environ 260 millisecondes. De plus, les satellites géostationnaires ne sont plus visibles au-dessus d'une latitude de 70° [7].

Cette orbite est la plus utilisée actuellement car la qualité des signaux est équivalente, voire supérieure à celle des autres orbites, mais il est beaucoup plus rentable d'utiliser ce type de satellite dans la mesure où l'avantage majeur est la possibilité d'employer sur Terre des antennes fixes. De plus, la position de cette trajectoire permet aux satellites d'avoir une grande couverture qui vaut à peu près un hémisphère. Par contre, son altitude élevée entraîne quelques inconvénients. En effet, plus les zones à couvrir sont éloignées de l'Equateur, plus le signal mettra du temps pour arriver et plus il y aura d'interférences. Il y a également un autre problème qui se dessine déjà pour cette orbite : le nombre de satellites en orbite géostationnaire devenant de plus en plus grand au fil des années, cette trajectoire commence à être très chargée. Les scientifiques prévoient aussi un danger pour les satellites en état de marche car les satellites dits "poubelles" qui n'ont plus d'énergie pour être opérationnels dérivent sans contrôler leur vitesse et peuvent alors détériorer les autres [7].

### 1.3 Description d'un système de télécommunication par satellite

Un réseau de télécommunication par satellite se compose d'un satellite et d'un ensemble de stations terriennes. De nos jours, il se présente en des configurations avec plusieurs satellites reliés entre eux par des liaisons inter-satellites. La transmission par satellite consiste à prendre en charge des informations générées par un terminal directement connecté à une station terrienne et les acheminer vers une ou plusieurs stations.

Une liaison par satellite de télécommunication peut être comparée à celle d'un faisceau hertzien mais la seule différence est que le satellite joue un rôle d'un relais spatial. Le signal qui constitue l'information à transmettre module une onde hyperfréquence dite porteuse émise par une station depuis le sol vers le satellite. Ce dernier joue le rôle d'un équipement d'amplification placé dans l'espace. Il transporte en fréquence le signal et le retransmet à une autre station.

### 1.4 L'architecture d'un système de communication par satellite

Un système de télécommunication par satellite est décomposé en deux secteurs principaux : Le secteur spatial et le secteur terrien.

#### 1.4.1 Secteur spatial

Le Secteur spatial englobe le satellite (ou des satellites) en orbite dans le système, et la station au sol qui fournit la commande opérationnelle du satellite en orbite. Alors, Ce secteur contient les stations de la télémétrie et de la télécommande appelées TT&C (Tracking, Telemetry and Command) ainsi que 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 [6].

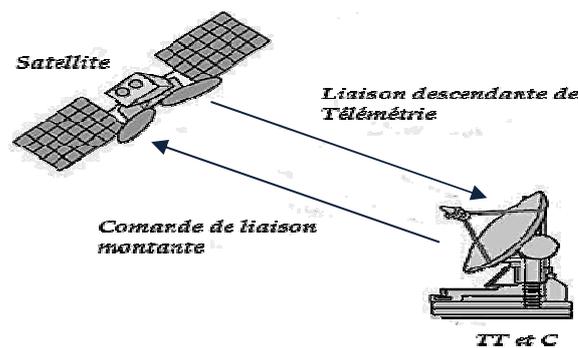


Figure 1.3-le secteur spatial.

**1.4.1.1 Le satellite**

Le satellite est la partie centrale du réseau. Au début, des années 60, les satellites n'étaient qu'un objet purement passif. Il avait pour rôle seulement de réfléchir l'énergie reçue. Maintenant le satellite est de types actifs : il se comporte comme un véritable relais dans le ciel. Il est constitué d'un véhicule sur lequel sont installés les équipements de télécommunications et les antennes tels que : l'alimentation en énergie, le contrôle d'altitude, le contrôle d'orbite, le contrôle thermique des équipements, la télécommande et la télémessure.

Dans le satellite, les répéteurs sont essentiels ; ce sont des équipements de télécommunication assurant les mêmes fonctions qu'un relais, c'est à dire, ils reçoivent les émissions provenant de la Terre et les retransmettent vers la Terre après amplification et transposition en fréquence. Un satellite comporte donc plusieurs répéteurs et par conséquent la largeur de bande qui est assignée pour le trajet montant est subdivisée par ces répéteurs. Les restes de la bande qui ne sont pas utilisés par les répéteurs sont utiles pour les divers signaux [1] [2] [3].

**1.4.1.2 Les types des satellites**

On distingue cinq 05 types de satellite ;

**a. Les satellites astronomiques :**

Ils observent l'espace : comme ils sont placés au-dessus de l'atmosphère ils voient alors mieux les étoiles et les trous noirs car ils ne sont pas gênés par la couche d'air et la pollution.

**b. Les satellites de navigation :**

Ils servent à repérer la position des navires et les courants marins.

**c. Les satellites météorologiques :**

Ils servent à réaliser des photos de la Terre, les photos permettent de prévoir la météorologie. Ils sont soit géostationnaires, soit en rotation constante autour de la Terre.

**d. Les satellites de télécommunication :**

Ils servent aux communications téléphoniques, aux images des télévisions et à la radio. **e. Les**

**satellites militaires :**

Il y a 2 types de types des satellites militaires : télécommunication et surveillance (reconnaissance terrestre et maritime) [2] [5].

### 1.4.1.3 La composition d'un satellite

Le satellite est constitué d'une charge utile et d'une plate-forme :

- **La plate-forme :** comporte l'ensemble des sous-systèmes permettant à la charge utile de fonctionner. On trouve :
- **L'alimentation électrique:** tous les satellites ont besoin d'énergie pour fonctionner. Tel que le soleil fournit l'énergie nécessaire pour la plupart des satellites en orbite. Ce système d'alimentation en énergie utilise des panneaux solaires pour convertir la lumière en énergie électrique, ainsi que des batteries pour la stocker, et un système de distribution qui transmet l'énergie électrique à chaque instrument.
- **Le système de commande:** ce système contrôle toutes les fonctions du satellite. C'est le cerveau du satellite. Le cœur de ce système s'appelle le Flight Computer. Il y a aussi un processeur d'entrée/sortie qui redirige toutes les données de contrôle qui entrent et sortent du Flight computer [4] [6].
- **Le contrôle d'altitude et d'orbite et les équipements de propulsion:** ce système permet au satellite de rester stable et de toujours être orienté dans la bonne direction. Le satellite possède des capteurs qui lui permettent de connaître son orientation. De plus, le satellite a aussi besoin de pouvoir se déplacer pour corriger sa position, c'est pourquoi il possède un mécanisme de propulsion. La performance du système de contrôle d'altitude dépend de l'utilisation du satellite. Un satellite utilisé pour faire des observations scientifiques a besoin d'un système de contrôle d'une plus grande précision que pour un satellite de télécommunications.
- **Les équipements de poursuite, de télémétrie et de télécommande TT&C :** Ces équipements se composent d'un système émetteur, d'un système récepteur, ainsi que de diverses antennes permettant de relayer les informations entre la Terre et le satellite. La base de contrôle au sol utilise ces équipements pour transmettre de nouvelles instructions à l'ordinateur du satellite. Ce système permet aussi de transmettre des images ou autres formes de données enregistrées, aux ingénieurs se trouvant sur Terre.
- **Le contrôle thermique :** Ce système protège tous les équipements du satellite des dommages dus à l'environnement spatial. En orbite, un satellite est exposé à de brutaux changements de températures (de  $-120^{\circ}$  lorsque le satellite est dans l'obscurité, jusqu'à  $+180^{\circ}$  lorsque le satellite se trouve exposé au soleil). Le contrôle de la température utilise une unité de distribution de chaleur ainsi qu'un système de couverture thermique pour protéger les équipements électroniques du satellite de ces brusques changements de température.
- **La charge utile d'un satellite :** représente tous les équipements permettant au satellite de réaliser la fonction pour laquelle il est destiné. Pour un satellite de communications, la charge utile

peut représenter les antennes réfléchissant le signal TV ou le signal téléphonique. Pour un satellite d'observation, la charge utile est composée de caméras digitales et de capteurs d'image pour prendre des clichés de la surface de la Terre.

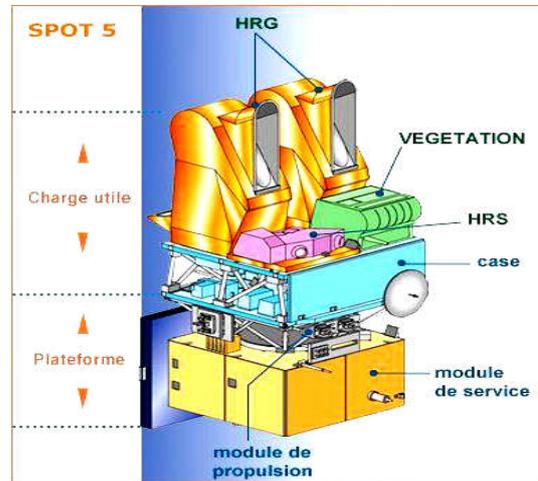


Figure 1.4- Structure d'un satellite[3].

### 1.4.2 Secteur terrien

Le Secteur terrien du système de communications par satellite comprend la station terrienne qui utilise les possibilités de communications avec le segment spatial. Les terminales de secteur terrien au sol consistent de trois types de base :

- Terminales (sur place) fixes.
- Terminales transportables.
- Terminales mobiles.

#### 1.4.2.1 Les terminales fixes

Sont conçues pour accéder au satellite sur place fixe sur la terre. Elles peuvent fournir différents types de services, mais elles sont définies du fait qu'elles ne se déplacent pas tout en communiquant avec le satellite. Les exemples des terminales fixes on trouve les petites terminales utilisées dans les réseaux privés (VSATs), et aussi les terminales montées sur des bâtiments de résidence pour recevoir des signaux transmis par un satellite.

### 1.4.2.2 Les terminales transportables

Sont conçues pour être mobiles, mais restent fixes pendant les transmissions au satellite. Ils se déplacent aux champs, s'arrêtent en position et déploient alors une antenne pour établir des liens avec un satellite.

### 1.4.2.3 Les terminales mobiles

Sont conçues pour communiquer en mobilité avec le satellite. Elles sont encore définies comme mobile de terre, mobile aéronautique, ou mobile maritime, selon leurs endroits d'activité.

### 1.4.2.4 Le bloc émetteur :

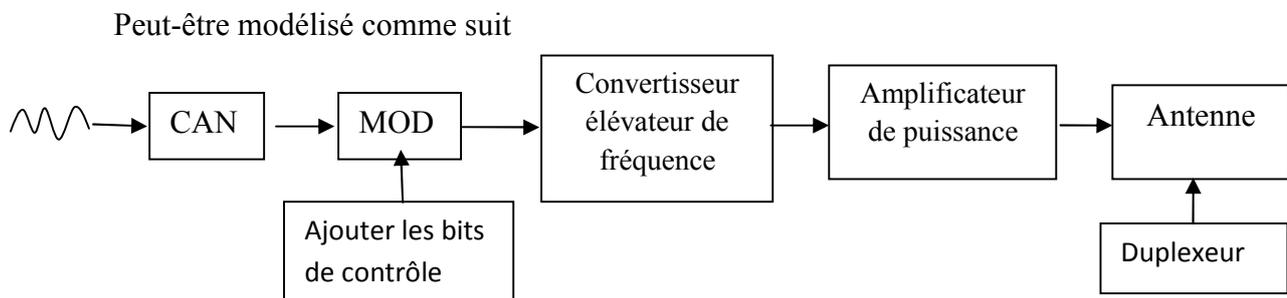


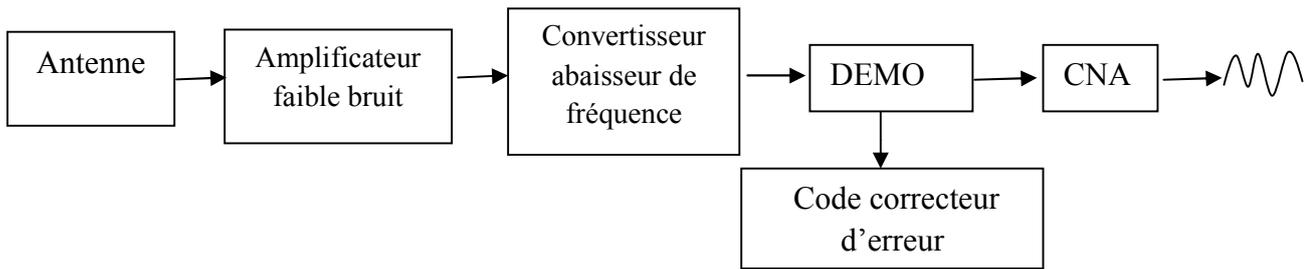
Figure 1.5-le bloc émetteur.

Les signaux à transmettre (téléphonie, télévision, transmission des données) reçus en bande de base passent par un CAN qui convertit l'information analogique en numérique et la regroupe en sous-ensembles de MIC. Ces derniers seront modulés sous une porteuse ou un signal « porteur » de fréquence intermédiaire ( $F_i$  : 70MHz ou 140MHz). L'onde porteuse du signal à transmettre sera élevée à la fréquence qui lui est assignée sur le trajet montant Terre-Satellite (environ 6 ou 14GHz : bande SHF). Cette opération est réalisée par un convertisseur (encore appelé équipement de transposition). Avant d'être rayonnée par l'antenne, la porteuse est amplifiée par un amplificateur de puissance, et puis elle passe par un guide d'onde et sera envoyée grâce à une antenne.

Le satellite peut être modélisé par une antenne de réception, un amplificateur faible bruit, un convertisseur abaisseur de fréquence, un amplificateur de puissance et une antenne d'émission

### 1.4.2.5 Le bloc récepteur :

Peut-être modélisé comme suit :



**Figure 1.6-** le blocrécepteur.

À la réception ; l'antenne capte les porteuses émises par le satellite à des fréquences d'environ 4 ou 10/12GHz. Ces ondes porteuses ainsi reçues sont amplifiées avec un minimum de bruit rapporté par des amplificateurs à faible bruit. Elles sont ensuite abaissées en fréquence par le convertisseur de réception qui délivre des porteuses en fréquence intermédiaire. Les porteuses en fréquence intermédiaire sont filtrées puis démodulées afin d'obtenir les signaux en bande de base.

### 1.4.2.6 Un exemple d'une station terrienne

On a le cas des petites stations (VSAT **V**ery **S**mall **A**perture **T**erminal), et des stations mobiles. Les stations se distinguent par leur taille qui varie selon le volume du trafic à acheminer sur la liaison spatiale, et selon le type du trafic (téléphone, télévision, données, etc.). Les plus grandes sont équipées d'antenne de 30 mètres de diamètre, et les plus petites antennes ont un diamètre de 0.6 mètre (cas de la réception TV). On distingue les stations fixes, les stations transportables et les stations mobiles. Certaines stations sont en même temps émettrices et réceptrices. D'autres sont uniquement réceptrices, ce sont les RCVO (**Re**Cei**Ve** **O**nly) ce sont par exemple ; des stations de réception d'un système de radiodiffusion par satellite, ou d'un système de distribution de signaux de la télévision ou des données.

### 1.4.3 Le principe de la transmission

Les ondes radioélectriques porteuses émises par les stations terriennes sont reçues par le satellite et réparties dans les différents canaux selon leur fréquence grâce aux filtres d'entrée de canal (IMUX) : ces liaisons s'appellent liaisons montantes. Après amplification dans chaque canal, ces porteuses sont regroupées par des filtres de sortie de canal (OMUX) sur l'antenne d'émission. Le satellite les émet à son tour vers les stations terriennes réceptrices : ce sont les liaisons descendantes. Le canal d'un satellite a un double rôle : Amplifier les signaux reçus pour les retransmettre sur la liaison descendante. La puissance du signal à l'entrée du récepteur du satellite

est de l'ordre de 100pW à 1nW. La puissance du signal à la sortie de l'amplificateur d'émission est de l'ordre de 10W à 100W. Le gain en puissance est de l'ordre de 100 à 130 dB [1] [2].

### 1.5 Couverture d'un satellite

L'orbite d'un satellite de par sa forme et son rayon définit la zone de couverture et la portée du satellite. Plus le satellite est éloigné de la terre et plus sa couverture est étendue. Bien qu'évident ce critère reste un élément majeur dans le choix et l'élaboration d'une solution satellite. En effet plusieurs systèmes de satellites peuvent couvrir la même superficie mais chacun se distinguera par un ensemble de caractéristiques particulières parmi elles et la plus déterminante est le nombre de satellites composant le système et la méthode utilisée pour les gérer.

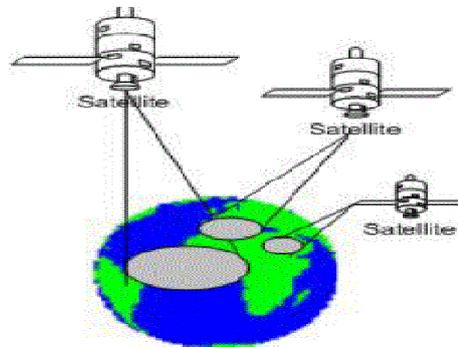


Figure1.7-Zone de couverture d'un satellite.

En effet, la couverture d'un satellite géostationnaire peut être atteinte par une constellation de satellites à plus basse altitude mais il faudra alors s'intéresser aux moyens de rendre ce réseau homogène sur l'ensemble de la zone. Pour cela deux solutions existent ; soit les satellites communiquent entre eux soit un relais terrestre permet de les synchroniser. On peut apprécier ici la grande étendue couverte par un seul satellite géostationnaire.

#### 1.5.1 Gestion de la bande passante (hand over)

Pour diffuser les données, qu'elles soient numériques ou analogiques, les stations terrestres accèdent aux satellites par l'intermédiaire des fréquences spécifiques. En effet l'acquisition d'un support de transmission satellite est en fait la location d'une bande de fréquences qui sera consacrée et partagée par les différentes stations de ce réseau satellitaire.

Sans technique d'accès au support ; les signaux transmis par une station se confondraient avec d'autres signaux provenant d'autres stations. Les signaux reçus seraient alors incompréhensibles et impossibles à décoder ; cela entraînerait leur perte et il serait nécessaire de les retransmettre. De

plus, il n'est pas envisageable d'allouer un canal pour chaque station ; ce système serait beaucoup trop coûteux. La mise en place d'une méthode d'accès aux canaux satellites a donc été réalisée pour un premier temps, permettre à plusieurs stations d'accéder à un même canal de transmission, et dans un deuxième temps, pour avoir une exploitation maximale des transpondeurs du satellite tout en garantissant qu'il y ait le moins de collisions possibles (il est à garder à l'esprit qu'une solution satellite demande un fort investissement, ce médium doit donc être optimisé au maximum). Ce partage de la bande passante est aussi soumis à certaines prérogatives liées aux applications, aux particularités intrinsèques des types des satellites et à leur nombre.

Le cas le plus simple est celui du satellite géostationnaire seul .En effet le partage de la bande est réalisé ici de façon unique et les calculs pour la répartition des canaux ne tient pas en compte les baisses de puissances dues aux déplacements du satellite par rapport aux stations. En effet une station utilisera toujours le même satellite et son antenne aura une position fixe. Cependant, lorsqu'on utilise plusieurs satellites ou lorsque ceux-ci sont mobiles il faut intégrer les positions des stations par rapports aux différents satellites pour attribuer les canaux de manière optimale.Ce basculement de canal intra satellite ou inter satellites s'appelle le hand over. Sa gestion est déterminante dans l'utilisation d'une solution satellite. Nous allons présenter brièvement ces Concepts.

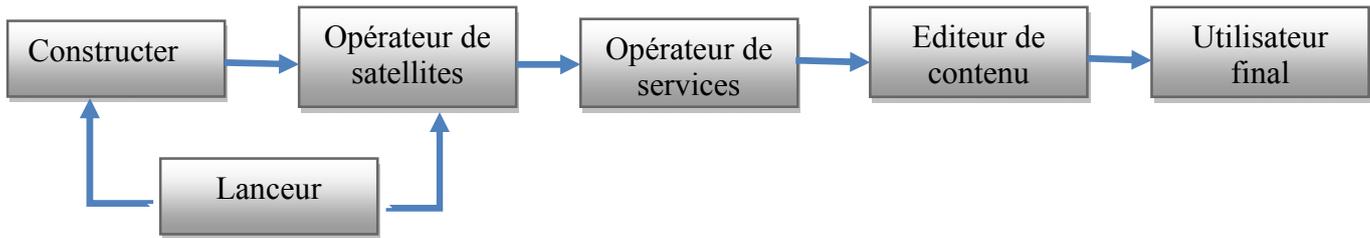
### **1.5.2 Le hand over intra satellite**

Il correspond à une réattribution de canal pour une ou plusieurs stations au sein du même satellite. Cela est réalisé pour optimiser les échanges lorsqu'un canal est peu utilisé ou très perturbé par exemple, cette technique peut aussi être utilisée pour la répartition de charge.

### **1.5.3 Le hand over inter satellite**

Cette situation est directement liée à la mobilité du satellite ou des stations. Le changement de canal pour la ou les stations est effectué dans ce cas lorsqu'une transmission est basculée sur un autre satellite.Pour réaliser ces attributions de canaux on peut distinguer plusieurs approches, Le Soft Hand over : (mou) dans ce cas le basculement d'un premier canal vers un second (sur le même satellite ou non) passe par un état de transition où la transmission est maintenue sur les deux canaux avant de se fixer sur le nouveau. Le Hard hand over (dur) quant à lui fait basculer instantanément la transmission d'un canal à l'autre. Ces techniques dépendent des contraintes du temps et d'intégrité de nos besoins.Une autre approche permet d'anticiper les basculements (en définissant des zones ou de seuils critiques) ou de réserver des canaux pour gérer ce hand over [1] [5] [6].

### 1.6 Les acteurs



**Figure 1.9** -Les liens entre les différents acteurs.

Le facteur le plus important de l'évolution des satellites était les acteurs institutionnels qui ont été portés sur le devant de la scène. Le développement des télécommunications a été de tout temps marqué par un monopole des exploitants de télécommunications publiques (ETP) pour la fourniture des services. Dans la zone de l'OCDE, de nombreux ETP importants ont opéré une intégration verticale avec les fournisseurs d'équipements de télécommunications par le biais de prises de participations directes (Etats-Unis et Canada, par exemple) ou d'alliances stratégiques nationales (Japon, Allemagne, France et Royaume-Uni, par exemple) [6][4][3][1].

L'avènement du satellite s'est accompagné de l'entrée en scène d'un nouvel ensemble d'acteurs institutionnels dont les deux principaux ont été les sociétés de télédiffusion et les sociétés aérospatiales. A l'arrivée des satellites opérationnels de communications dans les années 60, la télédiffusion était déjà une industrie bien établie et mature. Les sociétés de télédiffusion étaient de gros clients des ETP et elles-mêmes des acteurs importants de l'industrie générale des télécommunications. Les services de la télédiffusion étaient parfois assujettis aux mêmes organismes réglementaires que les ETP. Toutefois, la télédiffusion était essentiellement considérée comme une activité distincte des télécommunications pour des raisons d'ordre technologique qui s'estompent rapidement. Le schémacci-dessus présente les différents liens des acteurs.

### 1.7 Conclusion

La technologie satellite a bouleversé le monde dans ses différents et larges services. Le satellite, par les services spécifiques que présente est devenu actuellement un moyen nécessaire pour l'achèvement de plusieurs applications dans des différents domaines. Cependant, les sources d'interférences, collision et d'atténuation font un obstacle permanent devant l'exploitation optimale des satellites. Dès lors, l'usage de la bande passante alloué aux communications spatiales doit être géré intelligemment par des techniques d'accès adéquats pour assurer un accès sûr et efficace au canal de transmission. Aussi, l'intégration des techniques de correction est indispensable pour garantir une meilleure qualité des communications.

## 2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons aborder le calcul du bilan de liaison lors d'une communication entre deux stations terrestre et satellitaire.

Le calcul du bilan de liaison permet de définir et d'évaluer les éléments de gain et de pertes entre la station sol et le satellite pour étudier la possibilité d'une liaison radio

Le choix du diamètre de l'antenne parabolique de la station de réception ainsi que celui du LNB (**L**ow **N**oise **B**lock), est lié à la qualité de la liaison satellite-station de réception. Il va dépendre de la puissance d'émission du satellite, de l'affaiblissement standard et momentané aux perturbations (pluies, orages, ...) au cours de la propagation du signal micro-onde, des erreurs de pointage et des déformations de l'antenne de réception, de polarisations dues aux obstacles environnant le site de réception. Tous ces facteurs limitatifs peuvent être exprimés sous forme d'une équation qui caractérise le bilan de la liaison [9][11][1][2].

## 2.2 Les Fréquences utilisées

La fréquence de communication d'un satellite doit respecter les normes internationales qui déterminent les bandes de fréquences disponibles selon les régions où les communications auront lieu. Cette réglementation est importante car la bande utilisée ne doit pas coïncider avec d'autres bandes prioritaires (communications militaires, navigation etc...) et provoquer des interférences. La puissance émise augmente avec la fréquence et le gain de l'antenne, et on peut définir les fréquences comme suit ;

Pour réussir à Co-positionner plusieurs satellites sur une même position orbitale, et éviter toutes interférences, Les bandes UHF (**U**ltra **H**igh **F**réquence) et SHF ont été allouées au domaine des télécommunications spatiales par l'UIT (**U**nion **I**nternationale des **T**élécommunication).

Les bandes de fréquences mises en œuvre pour les télécommunications par satellite sont le plus souvent comprises entre 1 et 30 GHz. En dessous de 1 GHz les ondes sont principalement réfléchies et diffusées par l'atmosphère. Au-dessus de 30 GHz les liaisons satellites sont possibles mais l'absorption atmosphérique est importante donc la technologie d'amplification devient plus complexe. Cet organisme a défini la plage de fréquences réservées aux satellites de télécommunication comme suit [11][13] [15].

### 2.2.1 Les bandes de fréquences :

**Tableau2.1**-les bandes de fréquences des services satellite.

Bande	Fréquence	Services
L	1-2 GHz	Communications avec les mobiles
S	2-3 GHz	Communications avec les mobiles
C	4-6 GHz	Communications civiles internationales et nationales
X	7-8 GHz	Communications militaires
Ku	11-14 GHz	Communications civiles, internationales et nationales
Ka	20-30 GHz	Nouveaux systèmes d'accès aux réseaux large bande
EHF	21-45 GHz	Communications militaires

Nous pouvons résumer les phénomènes de propagation en considérant que plus la fréquence est basse plus la propagation sera meilleure ; car l'atténuation due aux précipitations croît avec la fréquence. Cette atténuation causée par l'absorption d'énergie par les gouttelettes d'eau est ainsi qu'asi inexistante en bande L et devient plus sensible à partir de 4 GHz[8][9][13][17][18].

#### a.La bande L : 1 - 2GHZ

La fréquence 1GHz à 2GHz est utilisée depuis début 1970. Initialement, 30MHz allouée pour toute la bande (ei : uplink+ downlink)est exploitée pour les applications mobiles. Les premiers MSS (**M**obile**S**atellite **S**ervice)avaient des paraboles, des équipements larges et des antennes d'une longueur de 1m. Aujourd'hui, les équipements sont petits et les téléphones sont portatifs. L'antenne n'a pas besoin de se pointer vers le satellite.

#### b.La bande S : 2 - 4GHZ

Utilisée pour des activités de recherche gouvernementales autour du globe, surtout NASA. En particulier, des activités de recherche dans l'espace profond. Elle a été récemment adoptée par l'UIT (**U**nion **I**nternationale des **T**élécommunication) pour des applications futures de MSS et de mobiles. Plus de pertes atmosphériques que dans la bande L.

#### c.La bande C : 4 – 6GHZ

C'est la première bande à être utilisée pour des applications commerciales. Le sens montant (terre vers satellite) est compris entre 5.9 et 6.4 GHz et le sens descendant entre 3.7 et 4.2 GHz. Cette bande est consacrée initialement aux applications : services satellite fixes FSS ex DHT (Direct to Home) et service micro-ondes terrestres.

**d. La bande KU : 12 – 18GHz**

Le sens montant (terre vers satellite) est compris entre 14 et 14.5 GHz, le sens descendant entre 10.7 et 11.7 GHz ainsi que 12.5 GHz et 12.75 GHz. Cette bande est partiellement dédiée aux systèmes de transmission par satellites et ne nécessite pas de coordination. Elle est destinée aux applications:

- FSS (surtout DTH) et BSS (Broadcasté satellite services).
- Service micro-onde terrestres.
- Applications interactives de communication de voix et de données.

Pour ces applications, on trouve des antennes de dimension de 45cm Il y a peu d'interférence de systèmes terrestres. Par contre l'atténuation par la pluie peut-être plus importante (supérieure à 10 dB).

**2.3 LNB :**

Le LNB(**L**ow**N**oise**B**lok) est un dispositif de réception dans les liaisons descendantes. Il a pour rôle de recevoir les signaux concentrés par la parabole et convertir la fréquence RF en bande Ku et C reçue en GHz à une fréquence en bande L.

On obtient en sortie du LNB ce qu'on appelle la BIS (Bande Intermédiaire Satellite) qui est transporté sur les câbles. Pendant le passage on effectue une amplification du signal affectant le niveau du signal reçu par l'antenne parabolique qui est trop faible pour pouvoir l'exploiter directement. Ce signal reçu est caractérisé par un facteur de bruit faible[20].

**2.4 BUC :**

Le BUC (**B**lock **U**p **C**onverter) est un dispositif d'émission dans les liaisons montantes. Il convertit une fréquence basse envoyée par un modem vers un satellite en bande L en une fréquence plus élevée en bande C ou Ku, avant qu'il soit réfléchi par l'antenne vers le satellite[20].

**2.5 Les paramètres d'un bilan de liaison****2.5.1 Les antennes utilisées**

Les communications par satellite s'appuient sur les antennes pour envoyer les informations (le signal). Généralement les antennes paraboliques sont les plus habituellement employées pour ce type de transmission, mais il ya des cas particuliers ou on peut utiliser des différents types d'antenne suivant la bande de fréquence par exemple en bande métrique (base fréquence) ; on peut utiliser l'antenne linéaire (yagi) mais il faut calculer le diamètre de l'antenne parabolique équivalent pour

pouvoir obtenir un bilan de liaison cohérent. Donc pour calculer le bilan de liaison satellitaire il faut connaître les principaux paramètres des antennes et notamment les paraboliques [19][16][14][17].

### 2.5.1.1 Antenne parabolique

C'est un dispositif de couplage entre une onde guidée sachant que le long de la ligne et une onde rayonnée dans l'espace. Le signal venant du satellite sera réfléchi sur le paraboloïde et concentré par la suite vers le convertisseur communément appelé « tête ». Elle doit présenter une bonne directivité ainsi qu'un gain important.

Dans une antenne parabolique la source primaire (feed en anglais) est constituée par un cornet (Horn en anglais) dont les propriétés doivent être les suivantes:[20]

- il doit collecter les micro-ondes concentrées au foyer du réflecteur,
- il doit détecter un minimum de bruit et de signaux parasites,
- il ne doit pas ajouter au signal reçu de bruit propre, il doit permettre de détecter les signaux avec la bonne polarisation (linéaire ou circulaire) et éliminer les autres.



**Figure 2.1**-Antenne parabolique.

Deux caractéristiques sont prises en considération lors du choix de l'antenne à savoir la taille et le gain d'antenne.

### 2.5.1.2 Coordonnées de la station sol

Les coordonnées ou repères géographiques qui contiennent un système de trois coordonnées qui sont le plus souvent : la latitude, la longitude et l'altitude (ou l'élévation) par rapport à une surface de référence pour repérer la station de sol ou le satellite.

#### a. La latitude

C'est une mesure angulaire correspond au positionnement verticale (nord ou sud) d'un point sur Terre par rapport à l'équateur. Exprimée en degré. Les latitudes se comptent de  $-90^\circ$  à  $+90^\circ$  aux pôles. Notant que la latitude de l'équateur est  $0^\circ$ .

## b. La longitude

C'est une mesure angulaire exprimée le positionnement est-ouest d'un point sur Terre sur  $360^\circ$  par rapport à un méridien de référence, avec une étendue de  $-180^\circ$  à  $+180^\circ$ , ou respectivement de  $180^\circ$  ouest à  $180^\circ$  est. Contrairement à la latitude (position nord-sud) qui bénéficie de l'équateur et des pôles comme références ; aucune référence naturelle n'existe pour la longitude.

## C. L'Altitude

C'est l'élévation verticale d'un lieu ou d'un objet par rapport à un niveau de base. Dans les télécommunications par satellites l'altitude est calculée par rapport au centre de la Terre.

### 2.5.2 Le gain

Le gain présente la caractéristique la plus importante d'une antenne. Est une grandeur qui traduit comment l'énergie micro-onde reçue et concentrée au foyer. Il est défini comme étant le rapport de la puissance rayonnée par l'antenne dans une direction par unité d'angle solide, sur la puissance rayonnée par une antenne référence par unité d'angle solide. Ce gain est dit absolu si l'antenne référence est isotrope, c'est à dire qu'elle rayonne uniformément dans toutes les directions. Le gain absolu est souvent utilisé dans le calcul d'une liaison par satellite et il est exprimé en dBi [1] [8][14] [15][16][8].

Dans les coordonnées polaires, le gain dans la direction  $(\theta, \phi)$  peut être exprimé comme suit :

$$G(\theta, \phi) = \frac{w(\theta, \phi)}{P/4\pi} \quad (2.1)$$

Avec,  $w(\theta, \phi)$  et  $P$  représentent respectivement la densité du flux de la puissance dans la direction  $(\theta, \phi)$  et la puissance transmise. Si la direction de rayonnement n'est pas spécifiée; le gain de l'antenne est relatif à la direction de maximale de rayonnement.

Le gain d'une antenne parabolique qui est généralement utilisée dans les systèmes de communication par satellite est égal à :

$$G = \eta \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \quad (2.2)$$

Où,  $D$  est le diamètre de l'antenne,  $\lambda$  est la longueur d'onde et  $\eta$  est le rendement de l'ouverture de l'antenne (elle varie entre 50% et 70%). Et se calcule en [dB] comme suit :

$$G = 20 \log [\pi D f / c] \text{ (dB)} \quad (2.3)$$

Tel que  $f$  est fréquence de travail (Hz),  $D$ : diamètre de l'antenne parabolique (m) et  $c$ : la vitesse de la lumière (m/s).

$$G = \frac{\text{Puissance rayonnée par l'antenne parabolique}}{\text{Puissance rayonnée par l'antenne isotrope}} \quad (2.4)$$

### 2.5.3 La PIRE

(Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente) Elle représente au final la puissance qu'il faudrait donner à une antenne isotrope théorique pour qu'elle rayonne de la même puissance que le système (antenne/câble/.....).

Le produit  $P_t G_t$  de la puissance transmise par le gain de l'antenne de transmission est appelé la puissance équivalente rayonnée isotopique et souvent noté **EIRP**(EquivalentIsotropicallyRadiated Power). Il est souvent utilisé comme indice de la capacité de transmission d'une station de base [9][10][13][14][16][18].

$$EIRP = G_t P_t \quad (\text{Watts}) \quad (2.5)$$

Elle se calcule comme suite :

$$\text{PIRE} = P_e \text{ (dB)} + G_e \text{ (dB)} - L_e \text{ (dB)} \quad (2.6)$$

Tel que :

$P_e$  : Puissance d'émission et  $G_e$  : Gain d'antenne d'émission et  $L_e$  : est les pertes de branchement entre IDU et ODU.

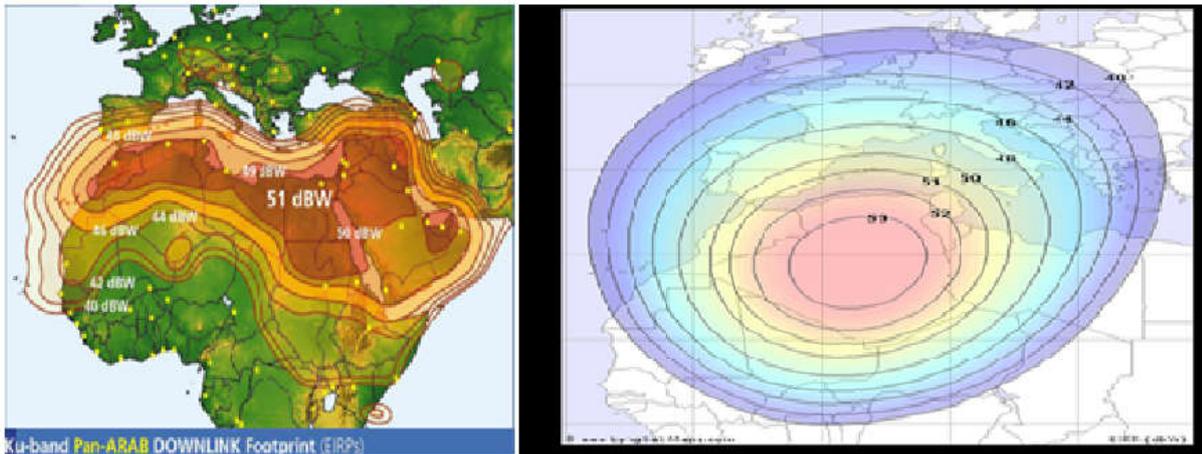


Figure 2.2-Courbes des niveaux constants du EIPR typiques.

### 2.5.3 Les pertes dans l'espace libre

Le calcul des pertes dans l'espace libre est une étape de base pour le calcul d'une liaison de communication par satellite. Ils peuvent être exprimés comme le rapport de la puissance reçue par la puissance transmise. Si en plus, nous supposons que les antennes de transmission et de réception sont isotropes nous pouvons exprimer les pertes de transmission comme suit [11] [12] [14] [10].

$$L_f = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} \quad (2.7)$$

### 2.5.3 La puissance de réception

Dans le système de communication RF, on sup l'antenne de transmission et l'antenne de réception sont alignées face à face dans l'espace libre et sont séparées par une distance suffisamment élevée  $d$ , exprimée en mètres (m). Soit  $G_t$  et  $G_r$  les gains respectifs des antennes de transmission et de réception,  $A_r$  la surface effective de l'antenne de réception,  $P_t$  la puissance transmise et  $\lambda$  la longueur d'onde. En supposant que la puissance  $P_t G_t$  (PIRE) est rayonnée selon une sphère de rayon  $D$ , la densité de puissance au point de réception est donnée par  $P_t G_t / (4\pi d^2)$ . La puissance reçue  $P_r$  peut être exprimée selon l'équation de Friis [15] [14] [13] [12] :

$$P_r = P_t G_t \frac{A_r}{4\pi d^2} = P_t G_t G_r \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (2.8)$$

$$\text{Où } A_r = G_r \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (2.9)$$

Donc

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{L_f} = \frac{PIRE \times G_r}{L_f} \quad (2.10)$$

### 2.5.4 L'atténuation globale ou Affaiblissement global

Il comprend les affaiblissements en espace libre, atmosphériques et celui dû aux précipitations :

### 2.5.4.1 Les pertes par l'absorption atmosphérique

L'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques qui est provoqué entièrement par l'absorption dépend principalement de la fréquence, de l'angle d'élévation, de l'altitude au-dessus du niveau de la mer et de la concentration en vapeur d'eau (humidité absolue). Aux fréquences inférieures à 10 GHz, il est normalement négligeable. Son importance augmente avec la fréquence au-dessus de 10 GHz, spécialement aux faibles angles d'élévation.

Dans le cas de nuages ou de brouillard composés entièrement de gouttelettes minuscules, d'un diamètre généralement inférieur à 0,01 cm, l'approximation de Rayleigh est valable pour les fréquences inférieures à 200 GHz, et l'on peut exprimer l'affaiblissement en fonction du contenu total en eau par unité de volume.

Aux fréquences de l'ordre de 100 GHz et aux fréquences supérieures, l'affaiblissement par le brouillard peut devenir important. La concentration en eau liquide dans le brouillard est en général égale à environ 0,05 g/m<sup>3</sup> pour un brouillard modéré (visibilité de l'ordre de 300 m) et de 0,5 g/m<sup>3</sup> pour un brouillard épais (visibilité de l'ordre de 50 m) [11][13][17][18][19].

### 2.5.4.2 L'affaiblissement par la pluie

Au-dessus d'environ 10 GHz, l'affaiblissement par la pluie devient la valeur dominante de la propagation des ondes dans la troposphère. Des efforts importants ont été entrepris pour mesurer et modéliser les statistiques d'atténuation pluie à long terme pour faciliter la conception du système de communication. Les données mesurées sont nécessairement limitées à des endroits spécifiques et les paramètres de liaison. L'atténuation de la pluie reconnue fiable pour les fréquences jusqu'à 40 GHz [15][16][12].

### 2.5.5 La puissance de bruit reçu sur la liaison :

La puissance du bruit à l'entrée du récepteur est due à la fois à une source interne (typique du récepteur) et à une source externe (contribution de l'antenne).

La puissance du bruit thermique par unité de largeur de bande,  $N_o$  peut être exprimée par  $kT$  avec  $k$  désigne la constante de Boltzmann ( $k=1.38 \times 10^{-23} J/K$ ).

Il est souvent recommandé d'exprimer  $N_o$  en décibel selon l'équation suivante [14][16][13][11]

$$[N_o]_{dB} = 10 * \log(k) + 10 * \log(T) = -228.6 + 10 * \log(T) \quad dB / Hz \quad (2.11)$$

$$N = N_o.(dB/HZ) + 10 \log B + F(dB) \quad (dBm) \quad (2.12)$$

Tel que B est la bande de fréquence (GHZ).

F est facteur de bruit (db)

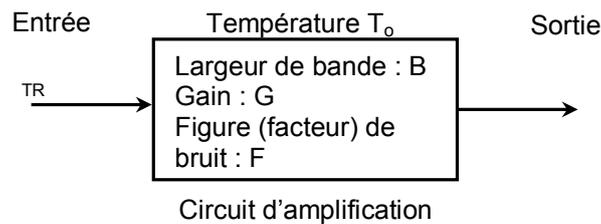
### 2.5.6 Le facteur de bruit F :

Le facteur de bruit du LNB est un paramètre primordial pour une bonne réception, d'où l'intérêt à vérifier si sa valeur est suffisamment faible suivant le diamètre d'antenne utilisé. On peut s'exprimer en fonction de la température de bruit en Kelvin (K) par:

$$F(db) = 10 \log \left( 1 + \frac{T_R}{T_0} \right) \quad (2.13)$$

$T_0$  Et  $T_R$  dénotent respectivement la température physique du milieu et la température du bruit équivalente à l'entrée de récepteur.

$T_R$  Est Généralement beaucoup moins que 290 K et plus pratique à utiliser que le niveau de bruit dans les communications par satellite [17] [18] [19].



**Figure 2.3-**Facteur de bruit d'un amplificateur.

### 2.5.7 Température de bruit

Le niveau de bruit du récepteur, dans un système de communication par satellite, doit être extrêmement faible puisque le signal désiré est souvent assez faible. Ce niveau du bruit peut être exprimé en termes de température absolue équivalent au bruit thermique est appelé température de bruit (noise température).

#### 2.5.8.1 Température de bruit d'un récepteur :

Le bruit causé par un récepteur est généralement exprimée en termes de température équivalente de bruit d'un amplificateur  $T_R$ . Elle est définie comme la température d'une source de bruit (résistance).

Le récepteur est composé d'un circuit en cascade, et plus précisément de quelques étages d'amplification ou d'autres réseaux (tels que le convertisseur abaisseur, etc.), chacun ayant son

propre profit  $g_i$  et sa température  $TR_i$  de bruit. Il peut être facilement démontré que, dans ces conditions, l'équation de température de bruit du récepteur est écrite par la formule suivante :

$$T_R = T_{R1} + T_{R2} / g_1 + T_{R2} / g_1 * g_2 + \dots + T_{Ri} / \prod g_i * g_{i+1} \quad (2.14)$$

Cette formule est importante car elle montre que les contributions de bruit des étapes successives sont atténuées par le gain total des étapes précédentes. Par conséquent, l'amplificateur RF, appelé amplificateur à faible bruit (LNA) doit avoir un faible  $TR_1$  et une grande  $g_1$ .

Les valeurs courantes du  $TR$  pour les amplificateurs à faible bruit utilisés dans les récepteurs modernes sont comprises entre 30 K et 150 K, en fonction de la bande de fréquences et sur la conception de LNA.

Dans les petites stations terriennes (réception seulement (ex tv), les petites stations pour la communication d'entreprise, appelées VSAT, etc.), Il est généralement fourni avec le convertisseur abaisseur (D / C) en une seule unité appelée convertisseur de bruit (LNC) ou d'un bloc à faible bruit (LNB). Ainsi le bruit causé par le récepteur est parfois exprimée par son facteur de bruit  $F$ [11][13][14][18][16][17].

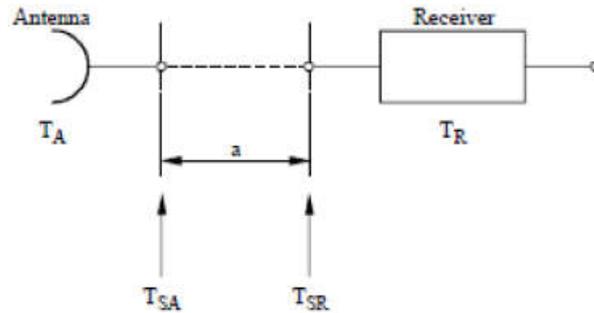
### 2.6.10.2 Température de bruit d'une antenne :

La température de bruit de l'antenne est la température de bruit collectée par l'antenne peut généralement être considérée comme égale à la température absorbée par la terre, ex : environ 290 K si Le bruit de l'environnement terrestre, en raison de L'atténuation atmosphérique du ciel (vapeur d'eau, brouillard, nuages, pluie, oxygène).ou si le raison de beruit est les contributions dans la catégorie TA est fortement dépendant de l'angle d'élévation du faisceau d'antenne. Pour une faible élévation, l'antenne recueille les contributions de bruit relativement élevés à partir de l'atmosphère) ou bien en l'élévation bas, le plus long de la longueur des rayons dans l'atmosphèreet aussi du sol [8] [11] [15] [14] [17] [16].

### 2.6.10.3 Température de bruit d'un système de réception :

La figure montre un système de réception pratique, avec une antenne à une température du bruit  $TA$  et d'un récepteur à une température de bruit  $TR$ .

Une section d'atténuation est insérée entre les deux parties. Cette section représente les pertes (pertes généralement ohmique) à l'antenne et dans le feeder (à savoir la liaison RF, guide d'onde, coaxial ou tout autre élément)[15][18][19].



**Figure 2.4** - la température de bruit d'un récepteur.

Dans ces conditions, la température de bruit totale du système est le suivant :

$$T_{SR} = T_R + Ta \left(1 - \frac{1}{a}\right) + \frac{T_A}{a} \quad (2.15)$$

$$T_{SA} = T_A + Ta(a-1) + aT_A \quad (2.16)$$

Tel que :

- a** : est l'atténuation, exprimée en rapport de puissance ( $a \geq 1$ , en décibels,  $\text{adB}=10\log a$ )
- Ta** : est la température physique de la section d'atténuation (généralement considéré = 290 K)
- T<sub>SR</sub>** : est renvoyé à l'entrée du récepteur, ce qui signifie que, dans les calculs ultérieurs, le récepteur peut être considéré comme silencieux
- T<sub>SA</sub>** : est renvoyé à la sortie de l'antenne, ce qui signifie que, dans les calculs ultérieurs, la section d'atténuation et le récepteur peuvent être considérés comme silencieux.

Les formules montrent que la contribution de la section d'atténuation peut être très importante ( $\approx 7 K$  par une perte de 0,1 dB). Toutefois, dans le cas habituel où l'atténuation reste faible ( $a \approx 1$ ) et si la contribution de la section d'atténuation est inclus dans  $T_A$ , puis la température de bruit du système de réception peut être écrit simplement

$$T_S \approx T_{SR} \approx T_{SA} \approx T_A + T_R \quad (2.17)$$

## 2.7 Le rapport signal /bruit S/N porteuse /bruit C/N l'énergie moyen /bruit E/N :

La performance globale d'une liaison unidirectionnelle entre deux stations terriennes E et R dépend des caractéristiques de trois éléments: la liaison montante (de STE vers satellite), le transpondeur satellite et la liaison descendante (satellite vers STR). Cette section explique le calcul

du bilan de liaison global d'une liaison satellitaire unidirectionnelle. Bien sûr, un tel calcul peut être directement étendu au cas de multiples liens d'accès.

L'objectif d'un bilan de liaison en télécommunication par satellite consiste à calculer la qualité de cette liaison [14][15][16][18][19][11]:

### 2.7.1 Le rapport $C/N$ :

$C/N$  est le rapport entre le niveau de puissance au niveau de bruit dans la bande passante d'un système.  $C/N$  fournit une valeur de la qualité d'un canal de communication. La qualité du système est généralement déterminée par des plots de BER contre  $C/N$

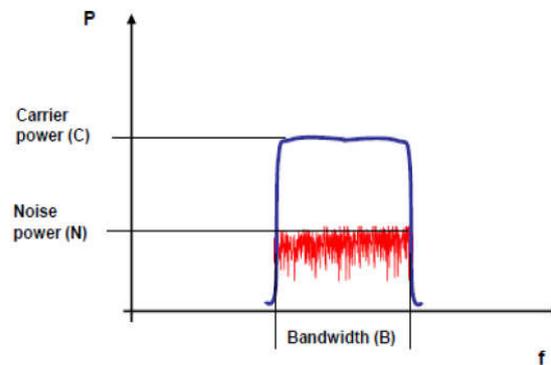


Figure 2.5-Le rapport  $C/N$ .

### 2.7.2 Le rapport $E_b/N_0$ :

$E_b/N_0$  est le rapport de l'énergie par bit divisée par la densité spectrale de puissance de bruit. Il permet de comparer les taux d'erreur binaire (TEB) (efficacité) des différents systèmes de modulation numérique. Ces deux facteurs sont normalisés et la bande passante n'est plus une préoccupation.

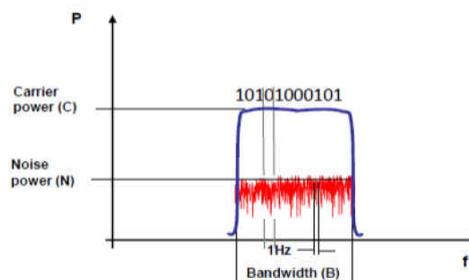


Figure 2. 6-le rapport  $E_b/N_0$ .

Le resultat finale d'un bilan de liaison est de calculer les paramètres de conception techniques nécessaires pour le signal (type de modulation, codage correcteur d'erreurs, etc) et pour le satellite (G/T, PIRE, etc.). Ces paramètres techniques déterminent le type d'équipement nécessaire à savoir (type et la taille des antennes, la puissance des amplificateurs, des modems, des codecs, etc.) [15][18][19][17][16][11].

$$\left(\frac{c}{n}\right) = \left(\frac{c}{n_0}\right) \cdot B^{-1} \text{ ou } \text{endB: } \left(\frac{C}{N}\right) = \left(\frac{C}{N_0}\right) - 10 \log B \quad (2.18)$$

$$\left(\frac{c}{n_0}\right) = \left(\frac{c}{T}\right) \cdot k^{-1} \text{ ou } \text{endB: } \left(\frac{C}{N_0}\right) = \left(\frac{C}{T}\right) - 10 \log k \quad (2.19)$$

**En numerique :**

$$\left(\frac{c}{n_0}\right) = \left(\frac{eb}{n_0}\right) \cdot R \text{ ou } \text{endB: } \left(\frac{C}{N_0}\right) = \left(\frac{Eb}{N_0}\right) \cdot 10 \log R \quad (2.20)$$

Tel que :

**c** : La puissance de la porteuse

**n** : La puissance de bruit

**no** : La densité de bruit (puissance de bruit par hertz)  $n_0 = n / B$

**k** : La constante de Boltzman

## 2.8 Liaison montante (Up Link $(C/N_0)_u$ ) :

La puissance reçu à l'entrée du récepteur par satellite est donnée par :

$$c_u = p_e * g_e * \frac{g_r}{l_u}(w) \quad (2.21)$$

Tel que :

**pe**: La puissance de sortie de l'amplificateur de haute puissance de la station terrienne (HPA)

**ge**: Le gain de l'antenne d'émission de la station terrestre dans la direction du satellite, d'où:

**pe \* ge**: La puissance isotrope rayonnée équivalente de la station terrienne (E) dans la direction du satellite (pire).

**lu**: L'atténuation en espace libre dans la liaison montante + les autres affaiblissements.

**gr**: Le gain d'antenne de réception du satellite dans la direction de la station terrienne d'émission E

Le rapport de puissance de porteuse sur densité de bruit de la liaison montante est donnée par :

$$(c/n_0)_u = (pire)_e \cdot g_r / (l_u \cdot k T u) \quad (2.22)$$

$$\left(\frac{c}{n_0}\right)_u = \left(\frac{g}{T}\right)_s \cdot \frac{(pire)_e}{l_u} \cdot k^{-1} \quad (2.23)$$

**Tu**: Latempérature de bruit équivalente de la liaison montante à l'entrée du récepteur satellite(K)

Telque :

**Td**: la température de bruit équivalente de la liaison descendante à la rentrée du récepteur de la station terrienne (K),

$(g/T)_e$  : le facteur de mérite de la station terrienne ( $K^{-1}$ ).

$(g/t)_s$ : le facteur de mérite de la station spatiale ( $K^{-1}$ ).

La formule (2.23) peut être réécrite comme suit:

$$\left(\frac{c}{n_0}\right)u = \left(\frac{g}{T}\right)_s \cdot \left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) \cdot \frac{(pire)_e}{4\pi d^2} \quad (2.24)$$

$(\lambda^2 / 4\pi)$  : Est la superficie de l'ouverture effective d'une antenne isotrope.

Aussi la formule (2.23) exprimées en décibels

$$(C/N_0)_u = 10 \log_{10} (C/N_0)_u (dB) \quad (2.25)$$

## 2.9 La liaison descendant

Le niveau de la porteuse reçue à l'entrée du récepteur de la station terrienne est donnée par:

$$cd = ps \cdot gst \cdot ger / ld \text{ (watt)} \quad (2.26)$$

Tel que :

**ps**: la puissance de sortie de l'amplificateur de répéteur de satellite,

**gst**: l'antenne d'émission de satellite gain dans la direction de la station terrestre, d'où:

**ps.gst**: la puissance isotrope rayonnée équivalente du satellite dans la direction de la station terrienne de réception (pires)

**ld**: l'atténuation en espace libre dans la liaison descendante + les autres affaiblissement.

**ger**: gain d'antenne de la station terrienne de réception, dont les pertes dans le dispositif d'alimentation entre la sortie de l'antenne et le récepteur.

Par conséquent, le rapport de densité de porteuse sur bruit de la liaison descendante est la suivante :

$$(c/n_0)d = (pire)_s \cdot ger / (ld \cdot kTd) \quad (2.27)$$

$$\left(\frac{c}{n_0}\right)d = \left(\frac{g}{T}\right)_e \cdot \frac{(pire)_s}{ld} \quad (2.28)$$

Telque

**Td**: température de bruit équivalente de la liaison descendante à la rentrée du récepteur de la station terrienne (K) ,

$(g/T)e$ : facteur de mérite de la station terrienne ( $K^{-1}$ ).

La formule 2.27 en dB

$$\left(\frac{c}{N_0}\right) d = \left(\frac{G}{T}\right) e + (PIRE)_s - Ld + 228.6 \quad (2.29)$$

### 2.10 Le bilan total (C/N0) total :

La formule (2.29) ci-dessus peut être prolongée et généralisée comme suit pour inclure toutes les autres contributions de bruit et d'en tirer le résultat final dans le total (C/N0) pour le bilan global de la liaison à partir de la station terrienne A à la station terrienne B:

$$(c/n_0)^{-1} total = (c/n_0)^{-1} u + (c/n_0)^{-1} d \quad (2.30)$$

Ainsi généralement converti  $\left(\frac{c}{N_0}\right)$  en (dB)[17][18][19].

### 2.11 Le bilan énergétique

Puissance porteuse divisée par des bits d'information réels. L'utilisation d' $E_b$  et la puissance globale de la porteuse (C) permet de comparer les différents schémas de modulation facilement.

$$E_b = \frac{C}{R} \quad (2.31)$$

Talque

**C** : est la puissance de la porteuse, et **R** : est le taux réel de bits d'information

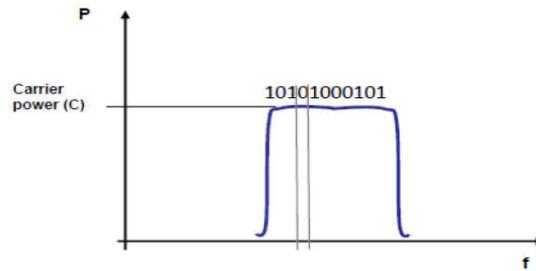
Il existe une relation entre le signal à bruit  $\frac{C}{N_0}$  spécifique à la portion analogique (passe bande) du

lien et le rapport  $\frac{E_b}{N_0}$  de la portion numérique (bande de base) [13][15][16][3].

$$\frac{C}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} \times R_b \quad (2.32)$$

ou en dB :

$$\left(\frac{C}{N_0}\right) = \left(\frac{E_b}{N_0}\right) + 10 \log R \quad (2.33)$$



**Figure 2.7-** la représentation simplifiée du  $E_b$ .

### 2.12 Le taux d'erreur binaire (TEB) :

Le BER (Bite Error Rate) est défini comme le nombre de bits erronés sur le nombre total de bits reçus. Le rapport BER est fonction de la quantité  $E_b / N_o$  avec  $E_b$  est l'énergie par bit et  $N_o$  est la densité de bruit du signal. La relation entre le BER et  $E_b / N_o$  dépend de la modulation utilisée qui doit être choisie de manière attentive en fonction du type du canal de transmission.

Prenons par exemple le cas d'un signal QPSK (Quaternary Phase Shift Keying ou modulation à déplacement de phase à 4 états) transmis dans canal AWGN (Bruit Blanc Gaussien Additif, Additive White Gaussian Noise), alors le BER s'écrit :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{E_b / N_o}) \quad (2.34)$$

FEC (Forward Error Correction) est une fonction mathématique disponible sous forme de tableau dans la plupart des livres de communications [10][14][15][16][17][18][1].

### 2.13 Facteurs de dégradation fixe

Dans les systèmes de communication numérique, on considère les limitations de la largeur de la bande, la non-linéarité du chemin de transmission et les imperfections des modulateurs et des démodulateurs comme étant des sources de dégradation de la qualité du signal.

La modulation d'une porteuse par un train d'impulsion représentant l'information à transmettre amène à un signal de largeur de bande infinie. Or, les supports de communication ont souvent une largeur de bande de fréquence finie. Dans la pratique on distingue plusieurs types de filtrage. Ainsi, le filtrage, la distorsion de l'amplitude et de la phase due aux caractéristiques amplitude/phase en fonction de la fréquence du lien et la conversion AM/PM génèrent une interférence inter-symboles et un bruit de phase qui entraînent une dégradation de la qualité de la liaison.

La dégradation du signal due à la fluctuation du niveau de détection et au « jitter » dans le circuit de génération de la porteuse et le circuit de recouvrement de l'horloge est associée aux imperfections des modulateurs et démodulateurs alors que celle due à la conversion AM/PM est associée à la non-linéarité du chemin de communication. La contribution de ces différentes sources implique une dégradation du rapport  $C/N_o$  d'environ 2.5 à 3.5 dB [9] [11][14][15][16][18].

### **2.14 Facteurs de dégradation reliés aux interférences**

On distingue plusieurs composantes qui contribuent aux interférences telles que les interférences issues des autres systèmes de communications par satellites, les interférences entre canaux adjacents au niveau de la liaison montante et les interférences provoquées par les systèmes terrestres et les autres canaux de liaison descendante. La quantité de dégradation produite par la somme totale de ces termes d'interférences dans un beau temps est de l'ordre de 0.5 à 2 dB. Par ailleurs, dans les systèmes de communication qui opèrent dans une bande de fréquences affectées par la pluie, le rapport  $C/N_o$  des liaisons montante et descendante peut être détérioré significativement à cause de l'atténuation entraînée par la pluie et le rapport  $C/N_o$  pour lequel l'interférence affecte la qualité de la communication devient petit [12][13][19][16].

### **2.15 Facteurs d'amélioration de la qualité**

Un système de communication numérique comporte un étage de codage de correction d'erreur afin d'améliorer le taux d'erreur de bit (BER). Nous citons à titre d'exemple la combinaison du « codage convolutionnel » et du « décodage de Viterbie » présente une bonne habilité de correction d'erreur. La technique d'amélioration de la qualité de la communication varie selon le contexte tels que la modulation utilisée, le type d'information à envoyer (audio, vidéo, données numériques)[11][13][16][1].

### **2.16 CONCLUSION**

Avant d'aller à l'analyse et le calcul du bilan de liaison, on a vue quelques notions de base sur les antennes (car ils constituent l'interface terre-espace), sur le bruit de la liaison et sur l'influence du milieu de propagation et on a aussi parlé sur la densité surfacique de puissance, puissance isotrope rayonnée équivalente et l'atténuation en espace libre et les pertes supplémentaires comme l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques, l'affaiblissement dû aux nuages et brouillard, l'affaiblissement dû à la pluie et les pertes de dépointages.

Dans la fin on a calculé le bilan de liaison total  $(C/N_o)_{total}$  entre une station terrienne A et une station terrienne B et on a trouvé le rapport  $E_b/N_o$ .

---

### 3.1. Introduction

Les formules mentionnées dans le chapitre précédent sont utilisées pour construire un programme avec le logiciel Matlab (Version R2009b) qui calcule les paramètres d'un bilan de liaison comme le rapport de la qualité du signal  $C/N_0$  et faire la conversion de ce rapport en  $(E_b/N_0)$  dans le cas numérique. Pour cette opération on a besoin des différentes informations qui caractérisent le positionnement ainsi que les différents équipements utilisés. Avant tout cela nous allons présenter l'opérateur ATS et ses systèmes de transmission montés au niveau du centre de télécommunication satellitaire de Lakhdaria.

### 3.2. La localisation du CTS de Lakhdaria :

Le Centre Telecom Satellite est situé à la commune de Lakhdaria à 75 km de l'est de la capitale Alger. Le choix de cette cuvette qui se trouve à environ 300m au niveau de la mer s'est fait pour plusieurs raisons :

#### 3.2.1 La protection contre le vent :

Le site est placé en protection du vent qui peut dépointer les antennes.

#### 3.2.2 La protection contre La neige :

Qui est un moyen de réflexion donc les ondes seront réfléchies par la neige et n'atteignent pas le réflecteur des antennes. Aussi, le poids de la neige qui s'ajoute au poids des antennes qui sont lourdes (ils peuvent atteindre 260 tonnes et 32 mètre de diamètre). La courte distance entre la station et Alger ce qui facilite la liaison des deux stations par les réseaux FH et FO qui sont des substituants en cas de pannes.

### 3.3 Algérie Télécom Satellite (ATS) :

L'ATS désigne l'opérateur des télécommunications spécialisé dans la télécommunication par satellite. Algérie Telecom est l'opérateur historique des télécommunications en Algérie. L'entreprise couvre tout le territoire national. En juillet 2004, le groupe a vu naître d'une nouvelle structure dénommée Algérie Telecom Satellite (ATS). Deux ans après, la filiale dénommée ReVSAT est créée.

Pour répondre au besoin croissant de la communication à haut débit et pour couvrir les régions isolées, divers services sont développés par ATS dont on trouve le VSAT, l'une des principales activités de l'entreprise. L'organisation comprend une direction générale avec six

directions centrales autour d'une direction générale et sept directions régionales (Alger, Oran, Ouargla, Bechar, Sétif, Constantine et Annaba) ainsi qu'un téléport à Lakhdaria.

### **3.4 Présentation du Centre des Télécommunications par Satellite (CTS) Lakhdaria :**

Pour près de 40 ans, l'Algérie a réalisé la valeur de la connectivité par satellite et de son pouvoir de servir une large gamme de secteurs et zones géographiques. Aujourd'hui, les communications IP par satellite représentent une solution puissante pour fournir à grande vitesse, une connectivité IP bidirectionnelle dans n'importe quel environnement. Le Satellite surmonte la distance et les défis environnementaux, en tenant le haut débit à n'importe quel endroit comme faisant partie d'un réseau intégré. Le Satellite est indépendant de l'infrastructure terrestre et est immédiatement accessible, assurer la continuité opérationnelle et un lien vital pour les communications en cas d'urgence. Il peut s'étendre à large bande à travers les océans et le ciel. Les systèmes portables peuvent être déployés à tout moment dans n'importe quelle zone géographique. Le centre de télécommunication par satellite est un site d'une technologie de haut débit qui a été créé en 1975 et bénéficié de plusieurs développements et d'extension. Ainsi plusieurs sections ont été numérisées en 2002.

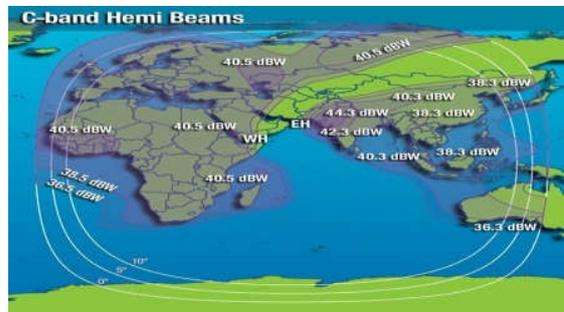
#### **3.4.1 Des exemples pour les stations existent dans le CTS**

##### **3.4.1.1 Station LKH 01 (IOR)**

La station communément appelée le Radar en référence aux deux grandes antennes paraboliques de 32 mètres de diamètre et visible de loin, relève de l'ATS et couvre l'ensemble du territoire national en téléphonie, Internet et autres transmissions télévisuelles. Elle est composée de plusieurs sections désignées par LKH (Logical Key Hierarchy) chaque opérateur se charge d'un volet précis. La station comporte encore neuf stations similaires qui présentes d'autres services et qui sont en relation avec d'autres satellites.



**Figure 3.1** l'antenne Cassegrain de la station CTS (Antenne de diamètre 32 mètre, type : Cassegrain, fréquence d'exploitation : bande C).

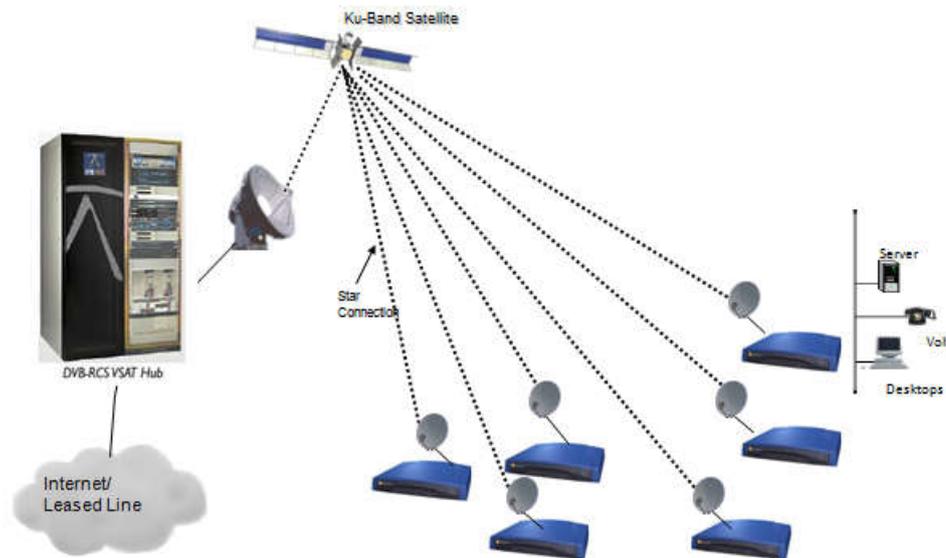


**Figure 3.2** Vision d'un satellite Intelsat IS904 (60°E) (zone de couverture : Asie, Afrique et Europe)

### 3.4.1.2 VSAT

Le VSAT est une technologie de télécommunication par satellite basé sur des satellites géostationnaires. Il se repose sur l'architecture d'un site central appelé HUB et d'un ensemble des stations terriennes appelé micro stations (stations VSAT).

Ils sont aisément déplacés, rapidement installés et compatible avec des systèmes terrestres.



**Figure 3.3-**les composant d'une station LKH 08 (VSAT DVB-RCS).

### 3.5 La simulation du bilan de liaison :

Un système de transmission des informations et en particulier une liaison satellitaire, comprend plusieurs paramètres. Notre programme est conçu pour montrer tous ces paramètres d'entrées/sortie caractérisant une liaison satellitaire. Dans l'objectif d'étudier l'effet qu'apporte le changement de quelques paramètres sur les résultats ; nous allons configurer une connexion en bande Ka entre une station terrienne d'émission qui est installée au niveau de la ville d'Oran (Algérie) et un récepteur (antenne) qui est installé au niveau de la ville d'Alger (Algérie) via un satellite géostationnaire pour une application multimédia (Internet, télévision ou téléphonie mobile).

Pour calculer les différents facteurs de qualité de la liaison étudiée , nous avons employé un ensemble des équations détaillées en deuxième chapitre. Tel que pour calculer le facteur  $E/N$  nous avons l'équation :

#### 3.5.1 Les paramètres d'entrés et sortie

Afin de pouvoir visualiser notre liaison, nous avons intégré des différents paramètres qui caractérisent cette liaison. Nous expliquons ci-dessous l'ensemble des paramètres employés dans notre programme et qui caractérisent la station terrienne d'émission et de réception, le satellite et le milieu de propagation.

## 3.5.1.1 Les paramètres d'entrés

Tableau 3.1 les paramètres des La station terrienne émettrice

	Les variables	Les unities
La station terrienne émettrice	La fréquence	GHz
	La puissance d'entrés	W
	Le diamètre de l'antenne	M
	Angle d'élévation	Degree
	Angle de pointage	Degree
	Longitude	Degree
	La distance (station-satellite)	Km
	Les pertes harnais	dB
	Les pertes de la modulation	dB

Tableau 3.2 les paramètres des pertes d'émission et des Pertes deréception

	Les variables	Les unities
Les pertes d'émission et de reception	Perte polarisation	dB
	Atténuationatmosphérique	dB
	AML perte musèlement de	dB

**Tableau 3.3** les paramètres d'entrée de La station terrienne réceptrice.

	Les variables	Les unités
La station terrienne réceptrice	La fréquence	GHz
	diamètre de l'antenne	M
	Angle d'élévation	Dégré
	Angle de pointage	Dégré
	Longitude	Dégré
	La distance	Km
	La température de référence	K
	La température de système	K
	Threshold (seuil)	dBm

**Tableau 3.4** les paramètres d'entrée de satellite

Le satellite	Gain	dB
	Perte harnais	dB
	Perte modulation	dB
	La température de milieu	Kalven
	La température de	Kalven

## Les paramètres de sorties :

Tableau 3.5 les paramètres de sorties de La station terrienne émettrice

	Les variables	Les
La station terrienne émettrice	Longueur d'onde	M
	Le gain	dBi
	La puissance isotrope rayonnée équivalent	dBm

Tableau 3.6 les paramètres de sorties de satellite

Le satellite	Puissance émis	dBm
	Le facteur de maritime de	dB/K
	La puissance équivalente	dBm

Tableau 3.7 les paramètres de sorties de station réceptrice

La station réceptrice	Le gain	dBi
	Lalongueur d'onde	M
	La puissance réceptrice	dBm
	Le facteur maritime de la	dB/K

**Tableau 3.8** Les paramètres de sorties des pertes d'émission et les pertes de réception

Les pertes d'émission et les pertes de réception	Les pertes de l'espace libre	dB
	Les pertes totales	dB

**Tableau 3.9** les paramètres de sorties de résultats finale

Le résultat Finaux	Les variables	Les
	Le facteur de qualité de la	dB/K
	Le facteur de qualité de la	dB/K
	Le facteur de qualité de la	dB/K
	Le facteur de qualité numérique de la liaison	/
	Le bruit	dbm
La marge	dBm	

Après avoir entré les paramètres de la liaison, le programme décide si la liaison est fonctionnelle ou non. Tel que ; si la valeur du **PR** est supérieur au niveau du seuil; la liaison est alors fonctionnelle (fermée), sinon la liaison est déclarée non fonctionnelle (ouverte). En effet, l'état de la liaison dépend de la valeur du « marge », elle est fermée pour une valeur positive (le système fonctionne correctement), et ouverte pour une valeur négative (le système n'est pas en service).

La figure ci-dessous montre l'interface de notre application créée pour évaluer l'état de la liaison étudiée. Notre application « bilan de liaison » comporte quatre 04 champs essentiels qui spécifient respectivement ; la station d'émission, la station de réception, le satellite et les résultats du bilan. Tel que ; les champs vides blancs sont destinés pour les paramètres d'entrée, et les champs vides bleus seront remplis par des calculs au sein du programme. Aussi, les champs noirs présentent

nos résultats obtenus à travers des calculs des fonctions qui développent ces différents résultats comme ; le C/N montant, C/N descendant, C/N totale et le rapport E/N. À la fin, la décision est exposée dans des champs verts.

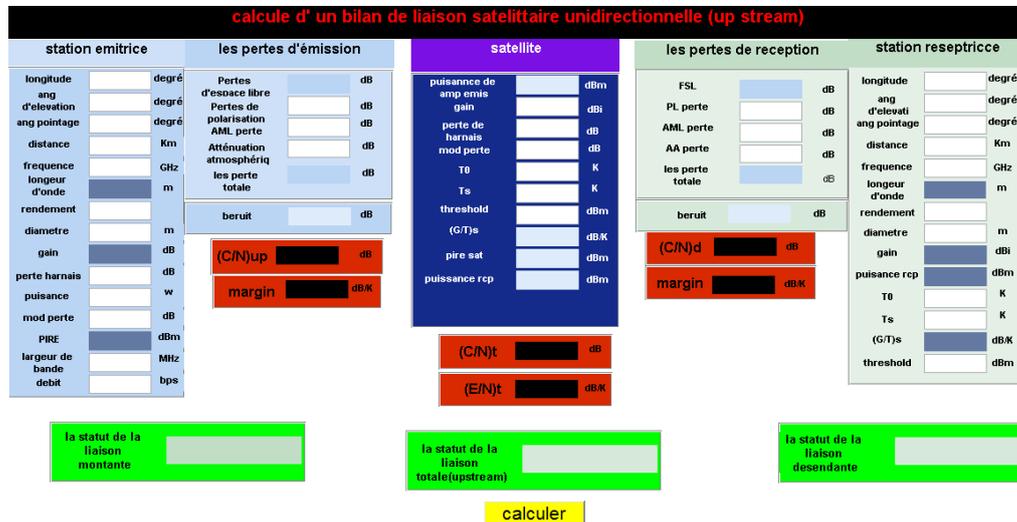


Figure3.4 : l'interface finale de l'application qui calcule le bilan d'une liaison unidirectionnelle (upstream)

Pour la simulation nous pouvons suivre la procédure suivante en passant par les étapes inscrites ci-après :

- Exécutez le programme MATLAB.
- appeler un fichier GUI puis ouvrez-le (notre fichier de simulation).
- Sélectionnez là l'angle de (longitude, pointage et d'élévation) pour les deux stations émettrice et réceptrice.
- Écrivez la valeur de (la fréquence, distance, rendement,) du support de liaison montante pour les deux stations émettrice et réceptrice.
- Sélectionnez la puissance de transmission.
- Choisissez une valeur pour diamètre de l'antenne.
- Estimation de la perte dans l'émetteur tel que la perte de câble et les connecteurs.
- Donnez une valeur pour la perte de désalignement de l'antenne (pour l'émission et la réception).
- Donnez une valeur pour la perte de polarisation (pour l'émission et la réception).
- Estimez la perte d'espace libre ou perte d'atmosphère telle que (pluie, gaz et brumeux). (pour l'émission et la réception).
- Estimez l'aperte de modulation.
- Écrivez le gain du satellite.
- Donnez une valeur pour le signal minimum requis au destinataire.



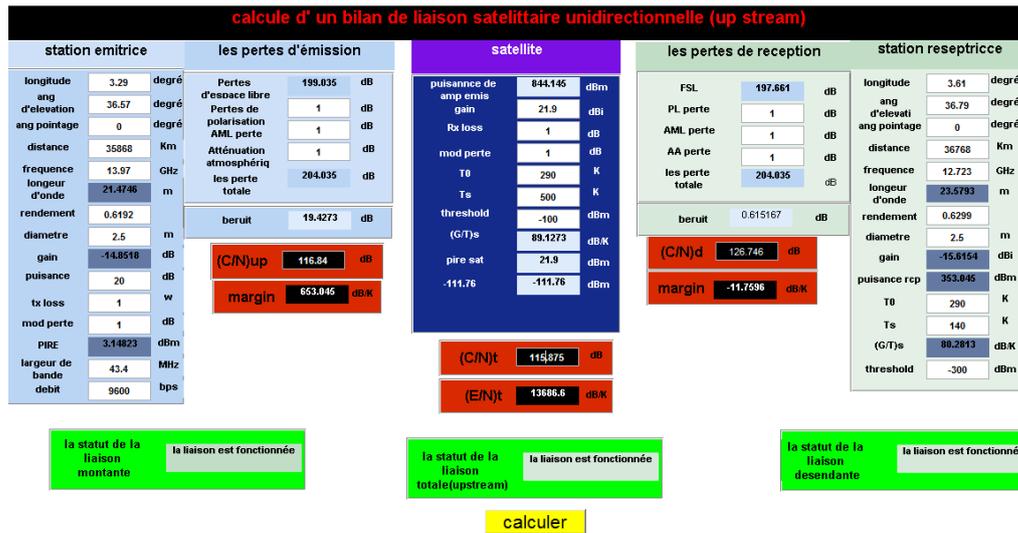


Figure3.6 : L'interface pour le fonctionnement de la liaison

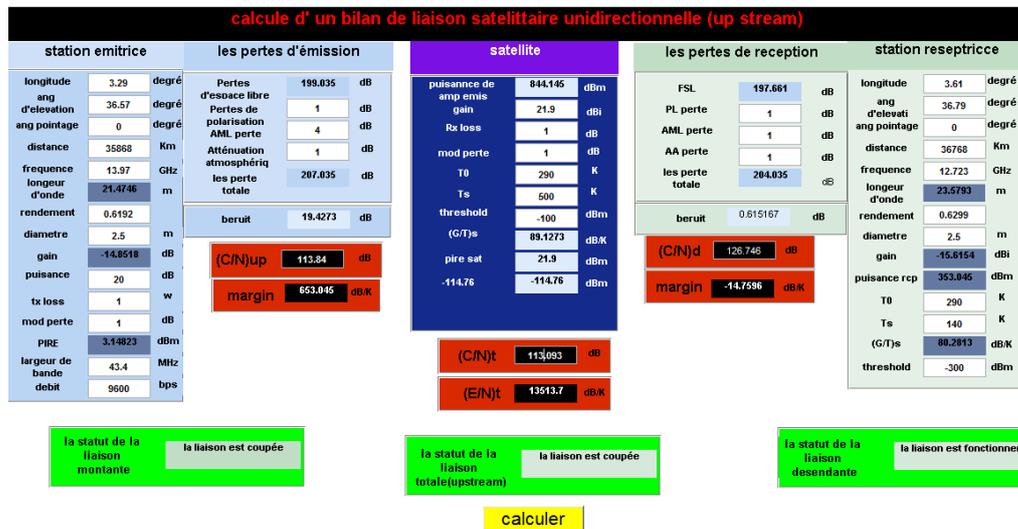


Figure 3.7 : L'interface pour le non fonctionnement de la liaison

**Commentaire :**

Après le remplissage des champs dans l'interface de l'application on obtient les resultats dans la figure precedant

Et à partir de cette figure on obtient le BER

**Remarque :**

Apartir de ce résultat en remarque que si la valeur du rapport  $C/N_o$  d'une des liaisons est suffisamment faible comparée aux autres valeurs, par exemple  $(C/N_o)_D \ll (C/N_o)_U$  et  $(C/N_o)_D \ll (C/I_o)$ , la qualité totale,  $(C/N_o)_T$ , peut être approximée par  $(C/N_o)_D$ . Ceci signifie que la qualité totale du canal de communication est dominée par la liaison la plus mauvaise. La figure (3.6) montre un exemple de calcul du rapport  $(C/N_o)_T$  dépendamment du rapport  $(C/N_o)_U$ . On constate bien que le rapport  $(C/N_o)_T$  est dominé par la mauvaise liaison descendante et qu'il ne dépasse jamais cette valeur peu importe la valeur du rapport  $(C/N_o)_U$ .

### Conclusion :

Après avoir programmé l'application qui calcule le bilan de liaison en télécommunications par satellite avec le logiciel Matlab, on a essayé cette application par un exemple en Algérie et on a obtenu un résultat qui confirme notre travail.

Le rapport  $E_b/N_o$  calculé nous a aidés à connaître le BER donc la qualité de la liaison satellitaire entre une station terrestre à Oran et une station terrestre installée à Alger.

Cette application peut être utilisée dans plusieurs domaines comme la construction des satellites.

Pour établir le programme qui calcule le bilan de liaison globale il faut d'abord faire un programme pour la liaison montante et un autre pour la liaison descendante. Pour cela on va ajouter une lettre r dans le programme pour le cas de la liaison montante et une lettre D pour la liaison descendante. A la fin on calculera le rapport total  $(C/N_o)$  total.

### Conclusion générale :

L'objectif de ce projet, est d'élaborer une application par le logiciel Matlab pour calcul du bilan de liaison entre une station terrienne E et une autre station terrienne R via un satellite géostationnaire de télécommunications.

Dans une première étape, on a vu une introduction sur les télécommunications par satellite, le développement des TPS, les satellites géostationnaires utilisés dans cette étude, les orbites et on a terminé par d'autres domaines d'utilisations des satellites.

Dans le deuxième chapitre, nous avons défini les différentes parties (segments) qui construisent la liaison satellitaire. Avant d'aller à l'analyse et le calcul du bilan de liaison, on a rappelé quelques notions de base sur les antennes, le bruit dans la liaison, l'influence du milieu de propagation, la densité surfacique de puissance, la puissance isotrope rayonnée équivalente et l'atténuation en espace libre, les pertes supplémentaires comme l'affaiblissement dû aux gaz atmosphériques, l'affaiblissement dû aux nuages et brouillard, l'affaiblissement dû à la pluie, les pertes de dépointages puis le calcul du bilan total de la liaison et le calcul du rapport  $E_b/N_0$ .

En dernière étape (Chapitre3) on a élaboré un programme avec le logiciel Matlab pour le calcul du bilan de liaison satellitaire. La validité de l'application est vérifiée par un exemple numérique.

## Références bibliographiques

[1] G. Maral, Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Site de Toulouse, France, M. Bousquet Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace (SUPAERO), Toulouse, France, satellite communicationssystem, Techniques and Technology Fifth Edition. Revisions to fifth edition by Zhili Sun University of Surrey, UK with contributions from Isabelle Buret, Thales Alenia Space.

[2] M. Dekke All Rights Reserved. Bruce R. Elbert The Satellite Communication Applications Handbook Second Edition.

[3] M. BOUSQUET- G. MARRAL- J. PARES, Les systèmes de télécommunications par satellite, MASSON, px-278, Paris, 1982.

[4] Michelle REMOISSENET, Théorie et pratique de la télévision par satellite: Installation d'une station de réception individuelle, Editions EYROLLES, 1988.

[5] Panagopoulos, Athanasios D., Pantelis and Panayotis G. Cottis. "Satellite communications at Ku, Ka, and V bands: Propagation impairments and mitigation techniques." IEEE Communications Surveys & Tutorials.

[6] Monge, Peter R., and Noshir S. Contractor. "Emergence of communication networks." The new handbook of organizational communication: Advances in theory and methods (2001): 440-502.

[7] Trenberth, Earth's Annual Global Mean Energy Budget, Bulletin of the American Meteorological Society, 1997.

[8] B. DIOP, Dimensionnement d'une antenne parabolique pour la réception de signaux de satellite, Projet de fin d'études, Juin 1990

[9] J The parabolic torus reflector, Marconi Rev., vol.41, n0211, pp 237-248, Gbr., DA 1978

- [10] La diffusion à 12 GHz: Dimensionnement des stations, J. Electronique Radio-Plans, n0537, pp 61-70, Août 1992
- [11] L'antenne de la station terrienne suisse pour satellite, P.T.T. Bull. Techn., n03, pp 68-84, 1977
- [12] T. Kurner, D.J. Cichon, and W. Wiesbeck, "Concepts and results for 3D digital terrain-based wave propagation models: an overview," *IEEE J. Select. Areas Commun.* pp. 1002–1012, Sept. 1993
- [13] J.-E. Berg, R. Bownds, and F. Lotse, "Path loss and fading models for microcells at 900 MHz," *Vehic. Technol. Conf. Rec.*, pp. 666–671, May 1992
- [14] Some aspects of ground station antennas for satellite communications, T. H. Rep, n060, bib.5 ReL pp 173, Nederl., DA 1975
- [15] Nadeem, Farukh, et al. "Weather effects on hybrid FSO communication link." *IEEE journal on selected areas in communications* 27.9 (2009).
- [16] L'antenne de la station terrienne suisse pour satellite, P.T.T. Bull. Techn., n03, pp 68-84, 1977
- [17] Tranter, William H., et al. Principles of communication systems simulation with wireless applications. Vol. 1. New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [18] Petites stations terriennes pour expérimentation de liaisons numériques par satellites, Rev. Electr. Commun. Labo., vol.30, n01, pp 80-91, Japon, 1982
- [19] Noise considerations en space communication, J. Institut Telecommunications, vol.18, n09, Bibl.15 ref, pp437-448, Engrs India, DA 1972
- [21] [COR95] : CORNELIUS (D.J.), HERRIDGE (A.J.), SILK (R.) et THOMPSON (P.T.). The Intelsat VIII/VIIIA génération of global communications satellites. *International Journal of Satellite Communications*, vol. 13, no 1, p. 39-48 (1995).

[22] [MAR91] : MARAL (G.), De Rider (J.J.),EVANS (B.G.) et RICHHARIA (M.). – Low earthorbit satellite systems for communications.International Journal of Satellite Communications,vol. 9, no 4, p. 209-225 (1991).