

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI OUZOU  
Faculté de Génie Electrique et Informatique  
Département d'électronique

*Mémoire de fin d'étude*  
*En vue d'obtention Du Diplôme de Master En Electronique*  
*Option*  
*Réseaux et Télécommunications*

Thème

# *Systeme de Télécommunication satellite*

Présenté par :  
Mr. Ourahmoune Lounes

Encadré par : Mr. Lahdir.M  
Co-promoteur: Mr. Zougagh.A

*Promotion : 2010/2011*

# *Remerciement*

Je remercie avant Dieu le tout puissant de nous avoir donné santé, patience et courage

Pour mener à terme ce mémoire.

Mes remerciements à Mr. ZOUGAGH Ahmed mon encadreur au niveau du téléport de LAKHDARIA pour son suivi durant toute la période de stage.

Ainsi que mon promoteur Mr. LAHDIR pour ses suggestions et son aide précieuse.

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui m'ont apporté le soutien moral et matériel.

Les membres du jury pour avoir accepté de juger mon travail.

Mes profonds remerciements sont adressés à ma famille d'être toujours à mon soutien.

Je remercie tous ceux qui m'ont apporté leurs aides de près ou de loin.

Plus encore, mes remerciements à vous qui êtes en train de lire mon mémoire.

lounes

# *Dédicace*

*Au nom de Dieu puissant, clément et miséricordieux.*

*Je dédier ce modeste travail à  
Mes très chers parents.*

*Mes sœurs.*

*Mes frères.*

*Tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment*

# Sommaire

Introduction générale.....	1
Présentation de sujet.....	2
Présentation de l'organisme d'accueil.....	3
<b>Chapitre I : Notions de base sur les télécommunications satellites</b>	
<b>1. Préambule.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Architecture d'un système de télécommunication satellite.....</b>	<b>6</b>
2.1. Introduction.....	6
2.2. Secteur terrien.....	7
2.2.1. Modulation.....	8
2.2.2. Les codes d'erreur .....	10
2.2.3. Multiplexage et démultiplexage.....	10
2.3. Secteur spatial.....	10
2.3.1. Composition du satellite.....	10
2.3.1.1. Charge utile.....	10
2.3.1.1.1. Le sous système antenne.....	11
2.3.1.1.2. Le sous système répéteur.....	11
a) Le filtre de réception.....	11
b) Le récepteur .....	12
c) La partie canalisée.....	12
d) Le démultiplexeur d'entrée (IMUX).....	12
e) L'amplificateur de canal.....	12
f) L'amplificateur de puissance.....	12
g) Le multiplexeur de sortie (OMUX).....	12
h) Le filtre d'émission.....	12
2.4. La plate-forme.....	13
2.4.1. La production d'énergie.....	13
2.4.2. Le système de contrôle thermique.....	13
2.4.3. La gestion du bord.....	13
2.4.4. Le système de propulsion.....	14
2.4.5. Le contrôle de l'orientation .....	14
<b>3. Bande de fréquence.....</b>	<b>14</b>
3.1. Réutilisation de fréquence.....	16
<b>4. Techniques d'accès utilisés dans la transmission par satellite.....</b>	<b>16</b>
4.1. Politiques d'accès aux canaux satellites.....	16
4.1.1. Introduction.....	17
4.1.2. Politiques de réservation.....	17
4.1.2.1. Le FDMA.....	17
4.1.2.2. Le TDMA.....	18
4.1.2.3. Le CDMA.....	19
<b>5. Mode d'accès utilisés dans la transmission par satellite.....</b>	<b>19</b>
5.1. Mode d'accès multiple avec pré allocation PAMA.....	19
5.2. Mode d'accès multiple avec allocation à la demande DAMA.....	19
<b>6. Les différents types de satellite et leurs orbites.....</b>	<b>20</b>
6.1. Introduction.....	20
6.1.1. Satellites géostationnaires.....	20
6.1.2. Satellites en orbite moyenne.....	20

6.1.3. Satellites en orbite basse.....	21
<b>7. Domain d'utilisation d'un satellite.....</b>	<b>21</b>
7.1. Introduction .....	21
7.1.1. Les satellites scientifiques.....	21
7.1.2. Les satellites d'application.....	22
7.1.2.1. Les satellites de télécommunications.....	22
7.1.2.2. Les satellites d'observation.....	22
7.1.2.3. Les satellites de localisation et de navigation.....	23
7.1.2.4. Les satellites militaires.....	23
<b>8. Discussions.....</b>	<b>24</b>

## **Chapitre II : présentation du réseau VSAT DVB-S, DVB-S2 et DVB-RCS (modèle).**

<b>1.Introduction au VSAT.....</b>	<b>25</b>
<b>2.Fonctionnement.....</b>	<b>25</b>
<b>3.Réseaux satellite.....</b>	<b>25</b>
3.1. Topologie des réseaux satellitaires.....	25
3.1.1. Topologie en étoile.....	26
3.1.2. Topologie maillée.....	26
<b>4.Les protocoles de télécommunication satellite.....</b>	<b>27</b>
4.1. Description générale.....	27
4.1.1. Protocole au niveau physique.....	27
4.1.2. Protocole au niveau liaison.....	27
4.1.3. Protocole au niveau transport .....	27
4.1.4. Protocole au niveau réseau.....	27
<b>5.Voie aller DVB-S et DVB-S2.....</b>	<b>28</b>
5.1. Le standard DVB-S.....	28
5.1.1. Vue générale.....	28
5.1.2. MPEG2.....	29
5.1.3. Chaîne de transmission.....	30
<b>5.2.Le standard DVB-S2.....</b>	<b>31</b>
5.2.1. Caractéristiques de DVB-S2.....	32
5.2.1.1. Codage avancé .....	32
5.2.1.2. Ordre de modulation supérieure.....	32
5.2.1.3. Plusieurs formats de données .....	32
5.2.1.4. Chaîne de transmission DVB-S2.....	32
5.2.1.5. Bloc d'adaptation.....	33
5.2.1.6. Codeur FEC.....	33
5.2.1.7. Organisation suivant le schéma de constellation.....	34
5.2.1.8. Bloc de formation des trames de la couche physique .....	34
5.2.1.9. La modulation.....	34
<b>6.Voie retour DVB-RCS.....</b>	<b>34</b>
6.1. Vue générale.....	35
6.2. Les différents bursts RCS.....	35
6.3. Chaîne de transmission.....	37
6.4. La signalisation sur la voie retour.....	38
6.5. Mise en œuvre du DVB-RCS.....	38
<b>7. Discussions.....</b>	<b>40</b>

## Chapitre III : Paramètres d'un bilan de liaison satellite

<b>1. Paramètres d'un bilan de liaison.....</b>	<b>41</b>
1.1. Introduction.....	41
1.2. Paramètres d'antenne.....	41
1.2.1. Elévation.....	41
1.2.2. Azimut.....	42
1.2.3. Polarisation.....	42
1.2.4. Le gain d'antenne .....	43
1.3. La Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE) .....	43
1.4. La densité de flux de puissance reçue.....	43
1.5. Puissance de transmission et de réception.....	44
1.6. Facteur de mérite G/T .....	45
1.7. Capacité de transmission.....	45
1.8. Origine du Bruit.....	46
1.9. Autres handicaps.....	46
1.9.1. Pertes ionosphériques.....	47
1.9.2. Pertes troposphériques.....	48
1.10. Qualité de la liaison montante et la liaison descendante.....	48
1.10.1. Qualité de la Liaison montante.....	49
1.10.2. Qualité de Liaison descendante .....	49
<b>2. Conception de l'application.....</b>	<b>50</b>
2.1. Introduction.....	50
2.2. Langage de programmation utilisé.....	50
2.3. Présentation du logiciel.....	50
2.3.1. Création d'une application.....	50
2.4. Présentation de notre application.....	53
<b>3. Discussions.....</b>	<b>54</b>

## CHAPITRE IV : Techniques d'optimisation

<b>1. Introduction.....</b>	<b>55</b>
1.1. Stratégies FEC.....	55
1.1.1. Symboles de modulation numérique et le nombre de bits par Symboles.....	56
1.1.2. Comparaison entre BPSK, QPSK, 8PSK.....	56
1.2. Stratégies ARQ.....	57
1.2.1. Systèmes ARQ avec arrêt et attente .....	57
1.2.2. Systèmes « ARQ continue ».....	57
1.3. Stratégies hybride ARQ/FEC.....	58
1.4. Comparaison des stratégies.....	58
<b>2. Description de la fonction « Double Talk Carrier in Carrier ».....</b>	<b>58</b>
2.1. Fonctionnement du « Double Talk Carrier in Carrier ».....	59
2.2. Occupation spectrale et la réduction de puissance d'un lien full-duplex avec la fonction « Double Talk Carrier in Carrier».....	59
<b>3. Discussions.....</b>	<b>61</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>61</b>

## Liste des figures :

**Figure 1.1 :** la structure d'un système de télécommunication par satellite.

**Figure 1.2 :** l'organisation de la station terrienne. RF (radio frequency), IF (intermediate frequency).

**Figure 1.3 :** Méthodes de modulation.

**Figure 1.4 :** Structure classique du sous système répéteur d'un satellite de télécommunications.

**Figure 1.5 :** Réutilisation de fréquence.

**Figure 1.6 :** décomposition de la bande de fréquence a n utilisateurs (FDMA).

**Figure 1.7 :** décomposition du temps a n tranches (TDMA).

**Figure 1.8 :** technique de multiplexage par N code différent pour chaque utilisateur (CDMA).

**Figure 1.9 :** observation de la terre en orbite héliosynchrone.

**Figure. 2.1 :** architecture générale d'un réseau VSAT.

**Figure 2.2 :** Architecture en étoile.

**Figure. 2.3 :** Architecture maillée.

**Figure 2.4 :** Système DVB-S.

**Figure. 2.5 :** Codage et multiplexage de programmes MPEG2.

**Figure. 2.6 :** Format de la trame MPEG2-TS.

**Figure 2.7 :** Aperçu de la chaîne de codage du DVB-S.

**Figure 2.8 :** système de transmission DVB-S2.

**Figure 2.9 :** bloc d'adaptation.

**Figure 2.10 :** trame BBFRAME.

**Figure 2.11 :** Schéma de constellation 16APSK.

**Figure. 2.12 :** Système DVB-RCS.

**Figure.2.13 :** format du trafic burst en utilisant MPEG2-TS.

**Figure.2.14 :** format du trafic d'un burst en utilisant ATM.

**Figure.2.15 :** format du burst CSC (Common Signalling Channel).

**Figure.2.16 :** format du burst ACQ (Acquisition).

**Figure 2.17 :** Aperçu de la chaîne de codage du DVB-RCS.

**Figure 3.1 :** angle d'élévation.

**Figure 3.2 :** angle d'azimut.

**Figure 3.3 :** La figure ci-contre illustre les deux types de polarisation, verticale et horizontale.

**Figure 3.4 :** la puissance reçue par une antenne de réception.

**Figure 3.5 :** l'emplacement du gain et la température de bruit.

**Figure 3.6 :** réfraction de l'onde électromagnétique.

**Figure 3.7 :** atténuation due à l'oxygène et de l'eau en fonction de la fréquence .

**Figure 3.8 :** atténuation due à la puit en fonction de la fréquence.

**Figure 3.9 :** la géométrie d'une liaison montante.

**Figure 3.10 :** la géométrie de la liaison descendante.

**Figure 3.11 :** création de nouveau projet.

**Figure 3.12 :** choix du type d'application et le nom du projet.

**Figure 3.13 :** illustration des différents champs du logiciel.

**Figure 3.14 :** la conception d'un désigne d'une application.

**Figure 3.15 :** page de l'application.

**Figure 4.1:** Stop-and-wait ARQ.

**Figure 4.2:** Go-back-N ARQ.

**Figure 4.3 :** sans double Talk carrier in carrier.

**Figure 4.4 :** avec double Talk carrier in carrier.

**Figure 4.5 :** signal conventionnel en modulation 8PSK.

**Figure 4.6 :** signal modulé en QPSK avec un taux de codage 7/8.

**Figure 4.7 :** signal composé avec une réduction de spectre et de puissance.

## **Liste des tableaux :**

**Tableau 1.1 :** bandes de fréquences et leurs services.

**Tableau 2.1 :** Evolution du standard de communication par satellite.

**Tableau 4.1 :** rapport entre le type de codage avec la modulation et le taux de codage.

**Tableau 4.2 :** nombre de bites pour différentes technologies de modulation numérique.

**Tableaux 4.3 :** types de modulation et taux de codage.

**Tableau 4.4 :** Stratégies de codage.

# Introduction générale

---

## **Introduction générale :**

Depuis plus de 50 ans les communications de tous types n'ont cessé de croître. Toute sortes de média ont fait leur apparition au cours des années, comme par exemple la radio, le téléphone ou bien encore la télévision. Cependant, c'est le besoin toujours grandissant de communiquer sur de longues distances qui a donné naissance aux satellites de télécommunications.

Désormais, ces satellites possèdent de nombreuses fonctionnalités, comme la diffusions de canaux de télévision, et permettent aussi de répondre aux attentes des entreprises ou des particuliers en transmettant différents types de données de plus, pour les entreprises les réseaux de satellites complémentent les réseaux terrestres. Ces satellites offrent en outre des bandes passantes très larges pour des transferts rapides d'informations et une capacité supérieurs de transmission qui permettra sans doute de réduire l'engorgement des réseaux terrestres.

Notre sujet s'inscrit dans le domaine de télécommunication. Il s'agit de réaliser un bilan de liaison par satellite, en développant une application qui permet de garantir la performance de transmission dans un réseau satellite, en prenant en considération que le signal envoyé par l'émetteur est atténué et la fraction arrivant au récepteur est réduite, malgré les gains des antennes et de l'amplificateur. Le signal est donc dégradé. En outre, divers éléments introduisent une puissance de bruit qui va également dégrader les performances.

L'évaluation de ces performances est le rapport du signal sur le bruit S/N au récepteur sera fait à l'aide du bilan de liaison qu'on va réaliser, et qui recense des dégradations aux divers endroits de liaison.

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

Dans le premier chapitre nous donnons des généralités sur les télécommunications, en insistant sur les techniques utilisées dans la transmission par satellite, sur les différents accès multiples et les bandes de fréquences, en fin nous allons présenter les réseaux satellitaires.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons les réseaux VSAT DVB-S, DVB-S2, DVB-RCS, avec ses déférentes chaînes de transmission pour chaque standard et aussi le type du flux utilisé, comme MPEG2-TS ainsi leurs trames et bursts.

Dans le troisième chapitre, nous présentons un bilan de liaison avec différentes équations qui permettent de calculer quelques paramètres, et la conception d'une application graphique permettant de calculer ces différents paramètres de transmission par satellite programmée avec le langage C Sharp.

Dans le chapitre 4 nous présentons les techniques d'optimisation. On parlera de types de codage FEC et la nouvelle technique d'optimisation de double talk carrier in carrier.

En fin on termine par une conclusion générale.

## Présentation de sujet

---

### Présentation de sujet :

Dans la transmission on cherche toujours à transmettre plus d'informations, plus loin, en essayant d'optimiser le coût de réalisation.

Dans cette optique et comme pour n'importe quelle opération de conception nous avons jugé que la réalisation d'un logiciel ou bien une application comme un système expert d'ingénierie et d'exploitation au niveau du centre des télécommunications par satellite est indispensable afin de minimiser le temps de réalisation.

L'objectif de notre travail est illustré en Quatre parties :

1. Calcul des paramètres relatifs au site d'installation (Azimut, élévation et angle de polarisation).
2. Gestion des ressources satellitaires (bande passante) en fonction du débit binaire des clients et caractéristiques des modems.
3. Calcul de bilan de liaison en fonction des paramètres de :
  - la liaison montante.
  - la liaison descendante.
  - le satellite.
  - L'analyse de l'affaiblissement dû à la pluie.
  - L'analyse de l'affaiblissement dû aux gaz atmosphérique.
  - Dimensionnement préliminaire de la station d'émission.
4. techniques d'optimisation

Notre travail est donc d'élaborer une application simple, attrayante et conviviale pour tout utilisateur voulant faire le calcul du bilan de liaison par satellite.

## Présentation de l'organisme d'accueil

---

### Présentation de l'organisme d'accueil :

#### 1. Situation géographique, classification et importance :

Le complexe des télécommunications par satellite est situé à Lakhdaria dans la Wilaya de Bouira à 75 Km à l'Est de la capitale, Alger. Il a été mis en service le 25 juillet 1975.

Ce complexe est abrité par un site entouré de collines, ce qui le protège des forts vents et sa relative proximité avec l'océan le rend quasiment dépourvu de neige en hiver permettant ainsi une bonne transmission des ondes radioélectriques. De même par son emplacement, ce site facilite l'accès aux satellites couvrant les régions océaniques Indienne et Atlantique, les régions indiennes desservies par le complexe. Le complexe de transmission est au même niveau que celui de la mer, de plus la distance qui le sépare de la capitale diminue le coût de la liaison par fibre optique qui sert ici de liaison secours avec Alger.

Dès le début de sa mise en fonction, le complexe des télécommunications par satellite avait pour mission de connecter les sites inaccessibles par câble à savoir les régions du sud telles que Tamanrasset, Illizi, etc.

Avec l'implantation de la fibre optique dans le sud Algérien, les fonctions du complexe se sont restreintes à des tâches de surveillance et de gestions des connections déjà établies à savoir :

- Exploiter les systèmes installés comme (la TV et la téléphonie).
- Tester les nouvelles liaisons avec les pays.
- Faire des rapports de situations (dérangements).
- Développer et consolider les activités relatives aux domaines des télécommunications. Vue L'implantation de nouveaux systèmes et les perspectives visées par le centre, nous pouvons ajouter à la liste précédente.
- Servir de station maîtresse pour différents systèmes de télécommunications, tant à l'échelle nationale qu'à l'échelle internationale.

Ce qui classe donc Lakhdaria parmi les centres hors série que comptent l'Algérie, le complexe des télécommunications de Lakhdaria ce présente comme le canal par lequel la quasi-totalité des communications internationales transitent. Plus encore, il représente la voie par laquelle les régions du sud doivent leurs accès à la télévision Algérienne.

Le centre de télécommunications par satellites(CTS) est composé d'un ensemble de plusieurs stations réparties dans tout l'espace du complexe.

## Présentation de l'organisme d'accueil

On dénombre actuellement près de huit stations opérationnelles au niveau du centre, à savoir :

La station LKH-01 I.O.R Indien Océan Région.

La station LKH-02 DOMSAT.

La station LKH-03 A.O.R Atlantic Océan Région.

La station LKH-04 VSAT.

La station LKH-05 ARABSAT.

La station LKH-06 INMARSAT.

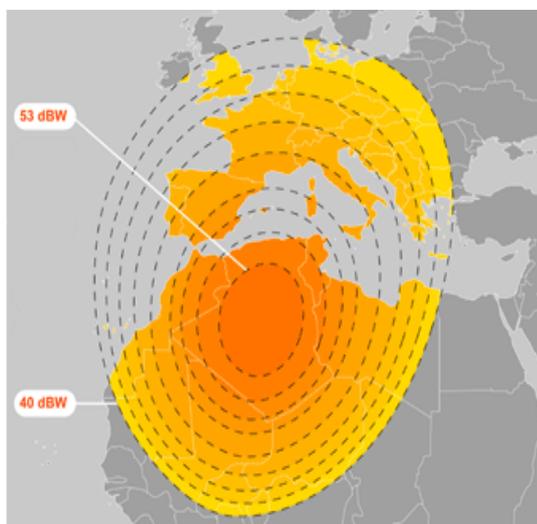
La station LKH-07 Liaison Algérie-Canada.

La station LKH-08 DVB-RCS.

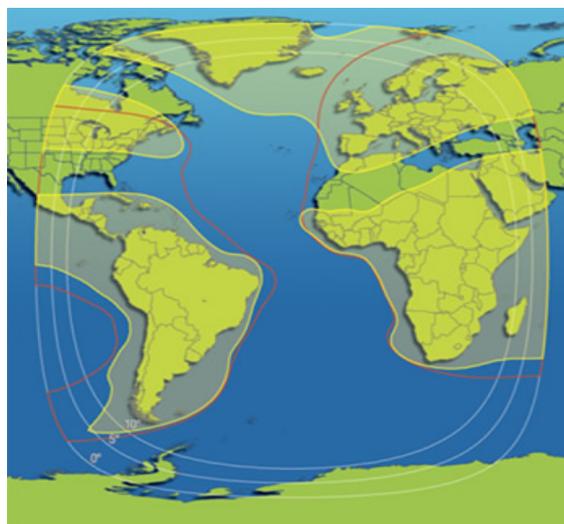
- **Les zones de couverture :**

ALGERIE TELECOM SATELLITE utilise plusieurs satellites de communication afin d'assurer la plus grande couverture mondiale possible :

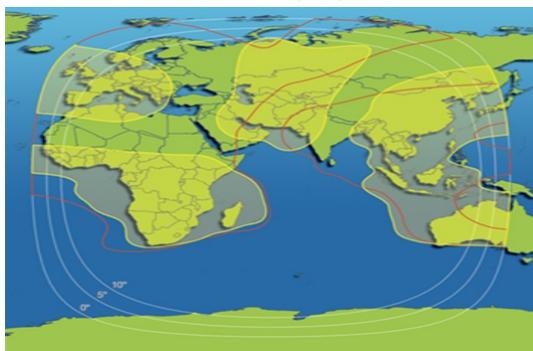
**EUTELSAT : Réseau VSAT DVB-RCS**



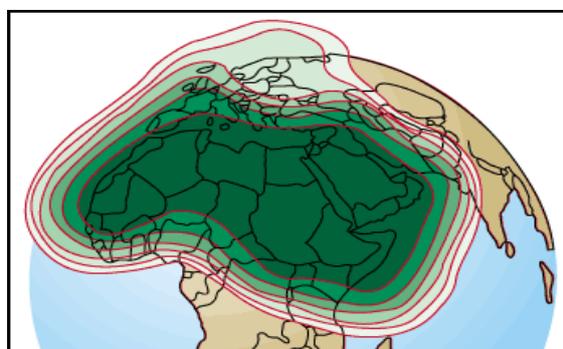
**INTELSAT : Interconnexion entre les pays de la REGION OCEAN ATANTIQUE**



**INTELSAT : Interconnexion entre les pays de la REGION OCEAN INDIEN (IOR)**

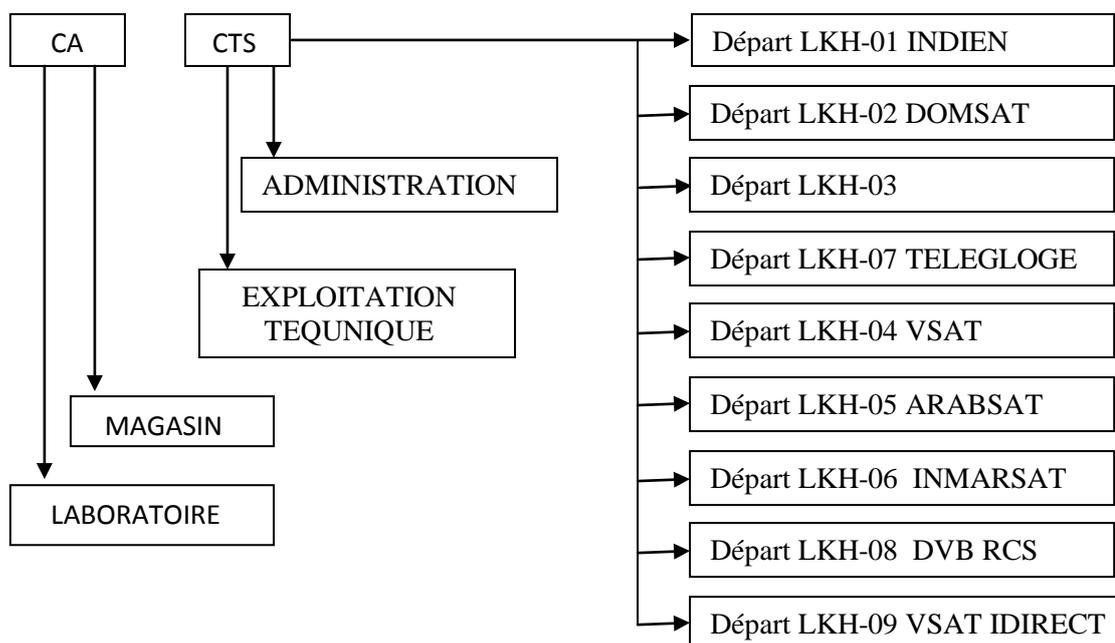


**ARABSAT : Interconnexion entre les pays Arabes**



## Présentation de l'organisme d'accueil

### 2. Taches dévolues aux différentes organisations et services :



CA : centre d'amplification

CTS : centre des télécommunications par satellite

CNTS: Centre National Transit Spatial

LKH: Lakhdaria

DOMSAT: domestic satellites

VSAT: Very Small Aperture Terminal networks

INMARSAT: International Maritime Satellite

DVB-RCS: Digital Video Broadcasting-Return Channel by Satellite

### Moyens humains:

Pour mener à bien sa mission le Complexe des télécommunications par satellite de LAKHDARIA dispose d'une équipe dirigeante compose de :

Un chef de centre

02 opérateurs

02 A.T.C

01 O.P.H.C

01 antenniste

01 agent technique

11 ingénieurs d'état

01 ingénieur d'application

05 chefs de division

14 techniciens

03 ouvriers professionnels

06 ANDM

### 1. préambule

Les systèmes de télécommunications par satellite ont connu des mutations radicales ces dernières années, passant d'une technologie dominée par les pouvoirs publics et les satellites géostationnaires à des systèmes de satellites en orbite basse et moyenne exploités par des entreprises privées. Il s'agit de nouveaux systèmes multifaisceaux qui forment à la surface de la terre des cellules semblables à celles utilisées par les systèmes de téléphonie cellulaire terrestre, et peuvent acheminer divers types de données allant de la voix aux Communications par Internet.

Les satellites de télécommunications sont des stations hertziennes dans l'espace. Ils servent en gros à la même chose que les tours hertziennes que l'on voit le long des autoroutes. Ces satellites reçoivent des signaux radio transmis depuis la terre, les amplifient et les renvoient vers le sol. Leur altitude élevée leur permet de "voir" une grande partie de la terre, ce qui constitue leur principal avantage dans le domaine des télécommunications: ils peuvent couvrir de vastes surfaces sur la planète.

Un satellite est un objet qui doit remplir des fonctions spécifiques dans un environnement spatial. Son architecture résulte des objectifs définis par la mission et des contraintes particulières liées à son évolution dans l'espace.

### 2. Architecture d'un système de télécommunication satellite

#### 2.1. Introduction :

La **figure 1.1**, donne une vue d'ensemble d'un système de communication par satellite et illustre les interfaces avec les entités terrestres. Le système satellite se compose d'une station spatiale, un segment de commande et un segment au sol:

La mission de télécommunications d'un système par satellite consiste à prendre en charge ces informations à partir de la station terrienne, et à les acheminer grâce à un support radioélectrique (onde porteuse) vers une ou plusieurs stations réceptrices, en utilisant le satellite comme relais radioélectrique. Les informations recueillies par chaque station réceptrice sont ensuite acheminées vers le terminal destinataire, directement connecté à cette station, ou relié à elle par des liaisons terrestres.

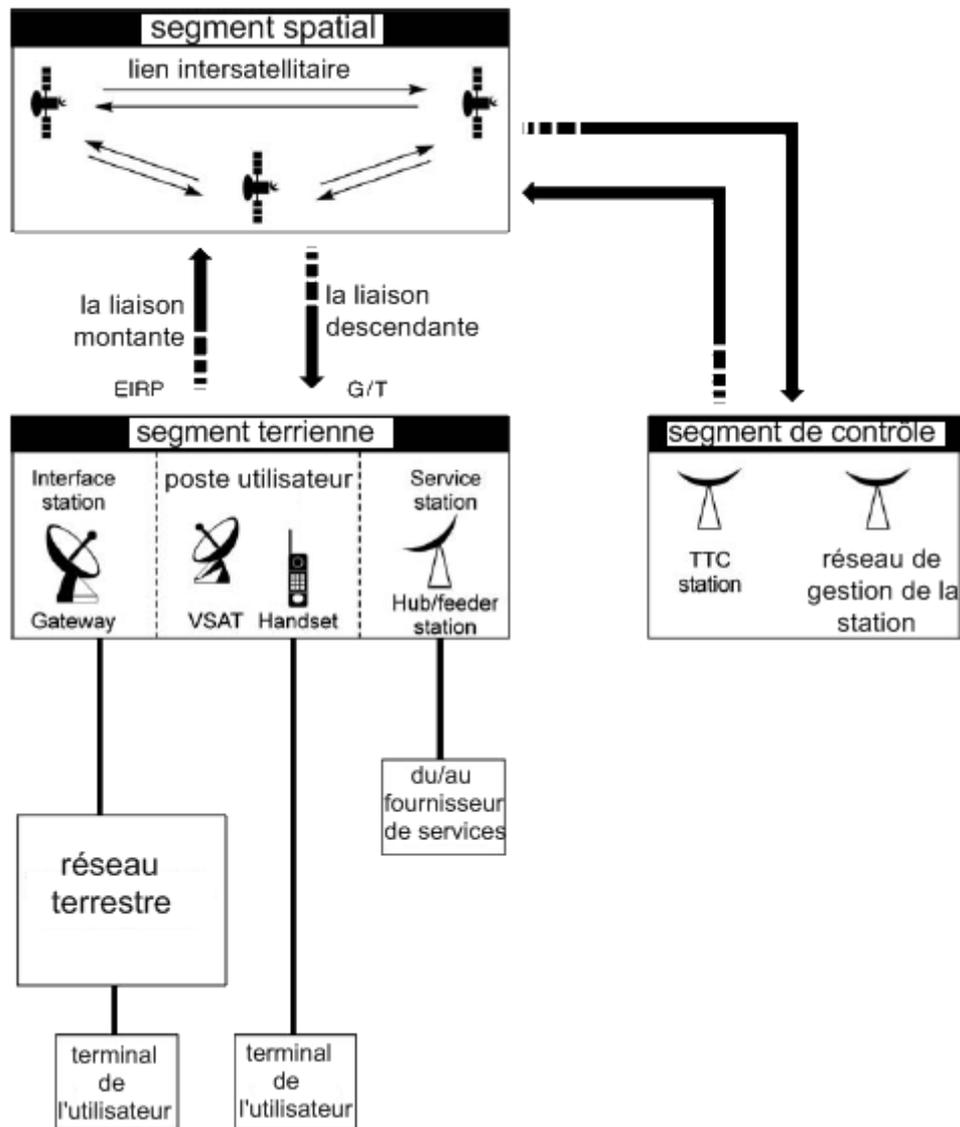
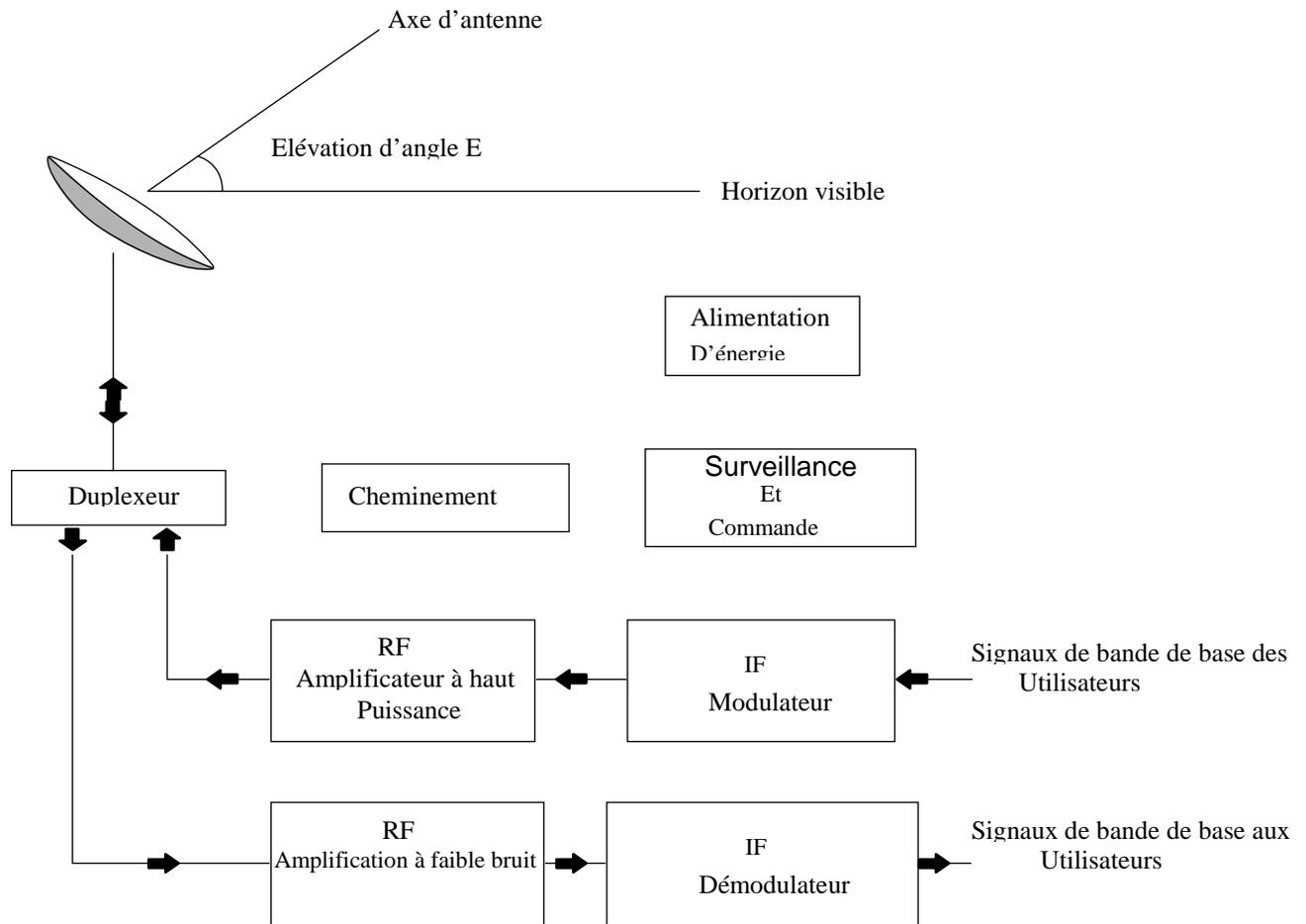


Figure 1.1 : la structure d'un système de télécommunication par satellite.

## 2.2. Secteur terrien :

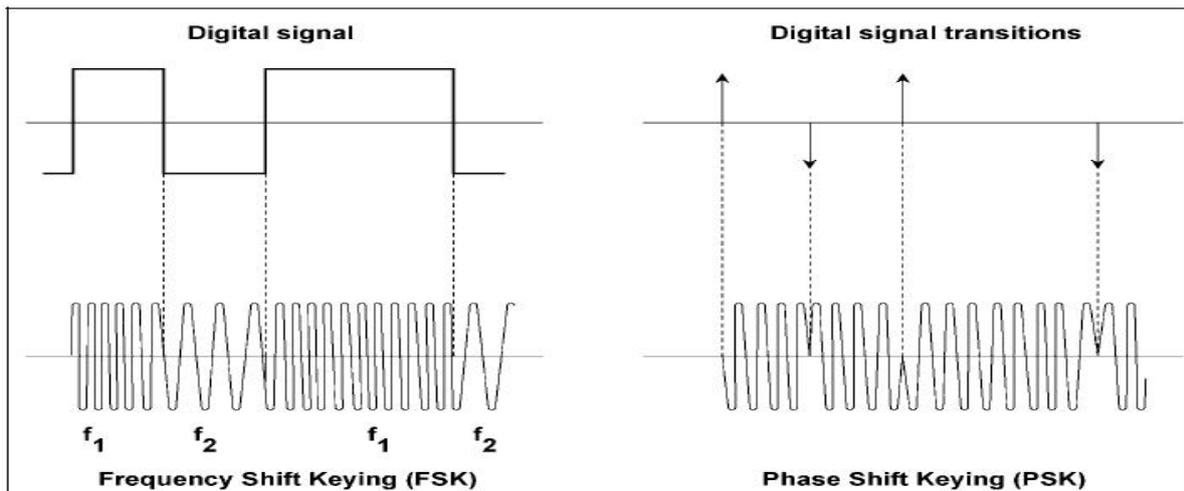
Il comprend le centre où sont élaborés les signaux d'informations à transmettre c'est-à-dire les signaux vidéo et audio pour la télévision ou d'autres signaux comme les signaux téléphoniques ou les données pour les communications professionnelles, les signaux sont transmis par câble, fibre optique ou relais hertzien à la station d'émission proprement dite où se trouve la liaison montante qui comprend l'émetteur.



**Figure 1.2 :** l'organisation de la station terrienne. RF (Radio Frequency), IF (Intermediate Frequency).

### 2.2.1 Modulation

Il y a seulement deux états du signal (1 et 0), la modulation consiste à coder ces deux états suivant une des deux méthodes suivantes : Frequency Shift Keying (FSK) consiste à produire deux fréquences porteuses  $f_1$  et  $f_2$  pour représenter les deux états, Phase Shift Keying (PSK) consiste à changer la phase entre les deux états.



**Figure 1.3 :** Méthodes de modulation.

Dans la théorie, le FSK est plus commode, car le récepteur peut toujours distinguer les deux fréquences et identifier par conséquent correctement l'état du chiffre reçu (0 ou 1). De même, PSK a un inconvénient du fait que le récepteur ne peut pas identifier le chiffre reçu à moins qu'il ne connaisse la nature de la phase.

Cependant, dans la pratique il est plus difficile de mettre en application FSK, alors que l'ambiguïté de phase peut être résolue, si tous les systèmes numériques de transmission utilisent des horloges.

En conséquence, PSK est la méthode la plus utilisée par les satellites de communications. Binary Phase Shift Keying (BPSK), avec un changement de phase de  $180^\circ$ , est la forme basique de PSK. (Etant donné qu'il n'y a que deux symboles à coder 0,1). Cela renforce les réussites du détecteur d'amplitude et de phase face au bruit qui est susceptible d'altérer le signal.

La capacité de charge de l'information d'un BPSK modulé sur le canal est limitée à un bit par symbole. Cette contrainte est surmontée avec Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), dans lequel les données binaires sont converties en symboles de deux bits, pour des raisons de limitation de puissances dans les communications via satellites c'est la technique de QPSK qui est utilisée dans le standard DVB-RCS.

Les caractéristiques de DVB pour QPSK utilisent une amélioration en changeant les configurations binaires qui sont codées dans l'émetteur et décodées dans le récepteur. L'amélioration s'appelle Gray coded QPSK, parce qu'il emploie le codage de Gray, (Robert M. Gray est un professeur d'université de Stanford au début des années 70). Ce code améliore la résistance au bruit, en réduisant au minimum le nombre de bit d'erreurs par symbole. Son principe est que chaque transition d'un symbole à l'autre se fait en ne changeant qu'un seul bit, ce qui simplifie la détection des erreurs tout en réduisant la proportion de bit mal transmis.

### 2.2.2 Les codes d'erreur

Il y a deux types de codages différents pour assurer l'intégrité des données transmises : D'une part les codes pour la détection d'erreur, détectent l'erreur, mais ne sont pas capables de la corriger. Ils entraînent alors la réémission de l'information. Puis il y a les codes de correction d'erreur, en plus de la même fonction des codes de détection ils ont la possibilité de corriger l'erreur sans nécessiter la réémission de l'information. Les Forward Error Correction (FEC).

### 2.2.3 Multiplexage et démultiplexage :

Le multiplexage consiste à recombinaison des signaux amplifiés provenant des différents canaux vers une seule voie pour permettre l'émission du signal utile à l'aide d'une antenne d'émission unique. Le démultiplexage consiste à diviser le signal provenant du récepteur en différentes sous bandes avant l'amplification canal par canal.

#### Remarque :

Les éléments du secteur terrien peuvent être fixes (stations de télécommunications) se que on appelle dans ce cas le service fixe par satellite (SFS), ou bien elle peut être une station terrienne mobile (navires, avions,...) ce que on appelle le service mobile par satellite(SMS).

### 2.3. Secteur spatial :

Il comporte le satellite et l'ensemble des moyens de contrôle situées au sol c'est-à-dire l'ensemble des stations de poursuite, de télémétrie et de télécommande (TT&C : tracking, telemetry and command) ainsi que le centre de contrôle du satellite où sont décidées toutes les opérations liées au maintien à poste et vérifier les fonctions vitales du satellite.

#### 2.3.1. Composition du satellite

Il n'existe pas, à priori, de configuration type pour les satellites. Cependant, il peut être décomposé en deux sous parties : la « charge utile », servant à l'observation, à la communication ou à toute autre fonction utile : la « plate forme », ou module de service, qui supporte la charge utile et qui lui fournit les ressources dont elle a besoin pour son fonctionnement, qui maintient le satellite sur son orbite selon l'orientation demandée et assure la liaison avec les stations à terre et les principales caractéristiques d'un satellite sont :

##### 2.3.1.1. Charge utile

La charge utile est le sous-ensemble du satellite chargé de mener à bien sa mission. Elle varie en fonction du type de satellite :

- Transpondeurs pour un satellite de télécommunications.
- Caméra ou radar pour un satellite d'observation.
- Télescope pour un satellite d'observation astronomique.
- etc.

### 2.3.1.1.1. Le sous système antenne :

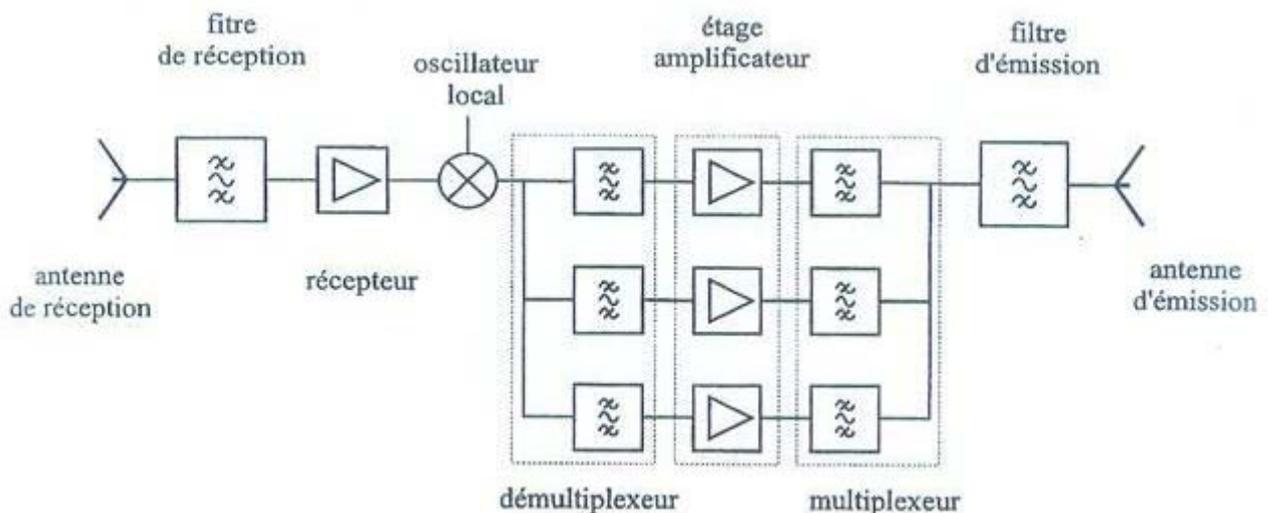
Les principales fonctions de ce sous système sont :

- D'assurer une densité de puissance reçue au sol obéissant à une répartition imposée à l'intérieur d'une ou de plusieurs zones géographiques ("zones de couverture") aux contours quelconques.
- De disperser un minimum d'énergie à l'extérieur des zones de couverture, cette énergie étant soit inutilisée (océans,...), soit gênante pour d'autres systèmes de télécommunications.
- De recevoir les signaux transmis par une ou des régions particulières de la terre.
- De capter le moins de signaux parasites possibles.

Pour cela, les antennes à réflecteurs, les antennes à lentilles et les antennes réseaux sont fréquemment utilisées.

### 2.3.1.1.2. Le sous système répéteur :

Le sous système répéteur a pour rôle de transposer en fréquence et d'amplifier les signaux de très faibles amplitudes issus de l'antenne de réception. La **figure 1.4** présente la structure classique d'un sous système répéteur.



**Figure 1.4 :** Structure classique du sous système répéteur d'un satellite de télécommunications.

#### a) Le filtre de réception :

Le filtre de réception est situé juste après l'antenne de réception. Il permet de sélectionner la bande de fréquences à amplifier et d'éliminer les signaux parasites susceptibles de perturber le fonctionnement des répéteurs. Dans le cas où le satellite de télécommunications utilise plusieurs bandes de fréquences en réception, ce filtre doit présenter une excellente réjection sur une grande largeur de bande. De plus, ses pertes d'insertion doivent être minimales pour ne pas détériorer le facteur de bruit du récepteur.

### **b) Le récepteur :**

Il assure la première étape de l'amplification et la transposition de la fréquence de réception (montante) à la fréquence d'émission (descendante). Il est constitué d'un amplificateur faible bruit (LNA), d'un mélangeur, d'un oscillateur local et d'un amplificateur faible puissance. Un second récepteur est utilisé en redondance pour palier à une éventuelle défaillance.

### **c) La partie canalisée :**

Elle est constituée par un démultiplexeur d'entrée (IMUX), un ensemble de chaînes d'amplification en parallèle et un multiplexeur de sortie (OMUX).

### **d) Le démultiplexeur d'entrée (IMUX) :**

Il a pour rôle de séparer la bande de réception en plusieurs canaux. Les filtres doivent être très sélectifs afin d'éviter l'amplification d'un signal par plusieurs canaux, et donc de distordre l'information après recombinaison. Ces filtres doivent présenter un temps de propagation de groupe le plus linéaire possible pour éviter les distorsions de phase. L'ondulation dans la bande doit être faible pour éviter de produire une modulation d'amplitude parasite qui risque de perturber la réception du signal. Le démultiplexeur étant placé avant l'amplificateur de puissance, les pertes d'insertion ne sont pas un point critique.

### **e) L'amplificateur de canal :**

L'amplificateur de canal (Camp) se situe juste avant l'amplificateur de puissance. Il contrôle la puissance à l'entrée de ce dernier de sorte qu'elle conserve toujours une valeur optimale malgré les variations d'amplitude de la liaison montante lors de sa propagation dans l'atmosphère.

### **f) L'amplificateur de puissance :**

L'amplificateur de puissance doit fournir au signal une puissance élevée afin qu'il puisse être reçu au sol dans de bonnes conditions. Il est réalisé par un tube à onde progressive (ATOP) qui est caractérisé par un faible encombrement, un haut rendement et une grande fiabilité. Ces amplificateurs peuvent consommer jusqu'à 80 % de la puissance d'un satellite de télécommunications. L'ATOP doit répondre à deux critères que sont le rendement et le bruit D'intermodulation.

### **g) Le multiplexeur de sortie (OMUX) :**

L'OMUX a pour rôle de recombinaison les canaux après l'amplification de puissance. L'OMUX étant placé après l'amplificateur de puissance, les pertes d'insertion doivent être réduites au minimum. Les canaux étant proches les uns des autres, les contraintes sur les pertes d'insertion sont d'autant plus difficiles à tenir. Les filtres d'OMUX sont soumis à de fortes puissances pouvant atteindre aujourd'hui plusieurs centaines de Watts, risquant de provoquer des claquages et altérer le bon fonctionnement de l'OMUX.

### **h) Le filtre d'émission :**

Ce filtre de type passe bas est situé juste avant l'antenne d'émission et a pour rôle, d'une part d'éliminer les harmoniques générés par les amplificateurs et, d'autre part d'atténuer les signaux dans la bande de réception pour éviter le rebouclage par les antennes. Il doit présenter de faibles pertes puisqu'il est placé en fin de chaîne d'émission – réception. L'ensemble des éléments constitutifs de la charge utile d'un satellite de télécommunications doit donc remplir une fonction bien définie, avec des spécifications précises suivant leur emplacement dans la chaîne de transmission.

**Remarque :** La durée de vie d'un satellite est liée uniquement à la possibilité pour le satellite d'être maintenu à poste dans une attitude nominale, c'est-à-dire à la quantité de carburant disponible pour le sous-système de propulsion et de contrôle d'attitude et d'orbite. La vie d'un satellite de télécommunications est construite pour fonctionner entre dix à quinze ans, tandis qu'un satellite d'observation, comme ceux de la série Spot, est construit pour une durée de vie de 5 ans.

### 2.4. La plate-forme :

La plate-forme qui intègre les moyens logistiques indispensables à la mise en œuvre correcte de la charge utile. Il s'agit des sous-systèmes de propulsion, de contrôle d'attitude et d'orbite, D'alimentation électrique, de contrôle thermique, de télécommande et de télémétrie.

#### 2.4.1. La production d'énergie

Le satellite doit disposer d'énergie électrique pour le fonctionnement de la charge utile et de la plate-forme. Les besoins en énergie électrique varient en fonction de la taille des satellites et du type d'application. Les plus gourmands sont les satellites de télécommunications qui consomment énormément d'énergie en amplifiant les signaux reçus.

La puissance électrique est généralement fournie par des panneaux solaires utilisant l'énergie solaire. Pour un satellite en orbite autour de la terre, il faut en moyenne 40 m<sup>2</sup> de panneaux solaires les panneaux solaires doivent donc être réorientés en permanence pour que les rayons du Soleil les frappent à la perpendiculaire. Le satellite en orbite autour de la terre peut se trouver sur sa trajectoire dans le cône d'ombre de la terre. Durant les périodes d'obscurité, le satellite puise son énergie dans des batteries qui sont alimentées durant la phase éclairée.

#### 2.4.2. Le système de contrôle thermique

Le système de contrôle thermique doit maintenir la température des composants du satellite dans une plage de valeurs qui est souvent proche de celle rencontrée sur terre (environ 20 °C). Le satellite subit de fortes contraintes thermiques avec des écarts de température qui peuvent atteindre 200 °C entre la face éclairée par le Soleil et les faces tournées vers l'espace. Les équipements et instruments embarqués convertissent l'énergie électrique qu'ils utilisent en énergie thermique qu'il est nécessaire d'évacuer. Or, le vide ne permet pas de dissiper cette énergie par convection de l'air et l'énergie doit donc être évacuée par radiation, un processus de refroidissement moins efficace.

#### 2.4.3. La gestion du bord

La gestion du bord pilote le fonctionnement du satellite. Elle regroupe les sous-systèmes suivants:

 Le système de télécommande et de télémétrie : prend en charge le dialogue avec le sol. Les fonctions de télécommande (sol ⇒ satellite) reçoivent et décodent les instructions ou données envoyées par le centre de contrôle et en assure la distribution aux autres sous-systèmes. Les fonctions de télémétries (satellite ⇒ sol) recueillent les données du satellite

portant sur le fonctionnement du satellite, les données issues des instruments et après compression les transmettent au centre de contrôle lorsque les stations sont en visibilité.

✚ Le système de surveillance et le contrôle du vol : maintient la trajectoire et l'orientation du satellite. Ce système repose sur un logiciel qui utilise les données fournies par différents types de capteurs pour déterminer les écarts et effectue des corrections à l'aide d'actuateurs (orientation) et des moteurs généralement chimiques (trajectoire).

### 2.4.4. Le système de propulsion

Le système de propulsion du satellite remplit plusieurs missions :

- il assure le transfert du satellite depuis son orbite d'injection vers son orbite définitive.
- dans le cas d'un satellite lancé vers une planète autre que la terre, le système de propulsion peut également assurer l'injection sur une trajectoire interplanétaire.

Une fois le satellite à poste :

- il corrige les modifications de l'orbite induites par les perturbations naturelles (traînée atmosphérique, irrégularités du champ de gravité...).
- il permet les changements d'orbite prévus dans le cadre de la mission de certains satellites scientifiques.

### 2.4.5. Le contrôle de l'orientation

Les instruments du satellite, pour pouvoir fonctionner correctement, doivent être en permanence pointés avec une bonne précision, Or le satellite est soumis à des couples qui modifient son orientation : phénomènes naturels (pression de la radiation solaire, pression aérodynamique, couples créés par le champ magnétique ou le champ de gravité terrestre, etc.) ou résultant de déplacements de mécanismes du satellite (pointage d'instrument). Pour contrer les changements d'orientation (ou attitude) le satellite utilise les données fournies par des capteurs qui utilisent comme repère, selon le satellite, le centre la terre, le Soleil ou les étoiles les plus brillantes.

## 3. Bandes de fréquences

Le seul moyen de communiquer avec un engin spatial est l'onde hertzienne. Tout satellite est muni de divers instruments de télécommunication qui lui permettent d'être en relation avec la terre : liaisons montantes, de la terre au satellite, liaisons descendantes, du satellite à la terre, liaisons de service, de télémessures et de télécommandes. On utilise même aujourd'hui des liaisons inter-satellites. Toutes ces liaisons utilisent des bandes de fréquences différentes.

Les bandes de fréquences mises en œuvre pour les communications 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 satellitaires sont possibles mais l'absorption atmosphérique est importante et la technologie d'amplification plus complexe.

La bande de fréquence 1-60 GHz est divisée en sous bandes désignées par des lettres :

bandes	fréquences	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 au réseau large bande
EHF	21-45 GHz	communications militaires
V	60 GHz	Liaisons inter satellites

**Tableau 1.1** : bandes de fréquences et leurs services.

Globalement on peut résumer les phénomènes de propagation en considérant que plus la fréquence est basse la propagation est meilleure car l'atténuation due aux précipitations croît avec la fréquence. Cette atténuation, causée par l'absorption d'énergie par les gouttes d'eau est ainsi pratiquement inexistante en bande L et devient sensible à partir de 4 GHz.

- ✚ **Bande L** : bande utilisée actuellement par le système INMARSAT pour les services mobiles aéronautiques par satellite (AMSS). Le débit maximum fourni est égale 10,5 Kbps/canal pour les services aéronautiques classiques.
- ✚ **Bande S** : pour certains canaux de télévisions (Arabsat) et pour la communication (Météosat).
- ✚ **Bande C** : le sens montant (terre vers satellite) est compris entre 5.9 et 6.4 GHz, le sens descendant entre 3.7 et 4.2 GHz. Cette bande est partagée avec d'autres systèmes (faisceaux hertziens) et demande une coordination. La pluie n'a que peu d'effet. Il y a par contre des interférences provenant de systèmes terrestres (les radars par exemple).
- ✚ **Bandes X, EHF** : gamme réservée pour les communications militaire.
- ✚ **Bande Ku** : bande qui est principalement employée pour la radiodiffusion par satellite (BSS : Broadcasting Satellite Service), elle est aussi utilisée actuellement pour les systèmes d'accès Internet par satellite. Un exemple d'application de la bande Ku dans le domaine aéronautique est le système Connexion By Boeing dédié aux services pour les passagers.
- ✚ **Bande Ka** : Cette bande dispose d'une large bande passante attribuée en allocation primaire aux services MSS (AMSS). De plus, par rapport a la bande Ku, elle permet l'utilisation d'antennes plus petites pour un même débit ou bien, a taille équivalente, un débit plus élevé. Cependant, les signaux de cette bande sont beaucoup plus sensibles à l'atténuation atmosphérique et principalement, à la pluie. La période ou l'atténuation rend la bande de fréquence inutilisable pour la transmission est appelée « outage » (coupure), cet impact des conditions de propagation peut conduire à la réduction de la disponibilité des services de communication lies a cette bande.

### 3.1. Réutilisation de fréquence :

La réutilisation de fréquence consiste à utiliser plusieurs fois la même bande de fréquence de façon à accroître la capacité d'un réseau sans demander une allocation en bande supplémentaire.

La réutilisation peut se faire de deux façons (**figure 1.5**) :

Par diversité de polarisation : deux porteuses de même fréquence et de polarisations orthogonales sont séparées par l'antenne de réception en fonction de leurs polarisations respectives. Le facteur de réutilisation est alors égal à 2.

Par diversité spatiale : deux porteuses émises à la même fréquence dans deux faisceaux disjoints sont séparées par l'antenne de réception grâce à l'isolation angulaire entre les lobes des faisceaux. Le facteur de réutilisation dépend de la valeur de l'isolation angulaire. Il est au plus égal au nombre de faisceaux.

Les deux techniques peuvent être combinées : en théorie, un satellite multifaisceaux à 10 faisceaux disjoints peut offrir 20 fois plus de capacité pour la même bande allouée qu'un satellite mono faisceau travaillant sur une seule polarisation.

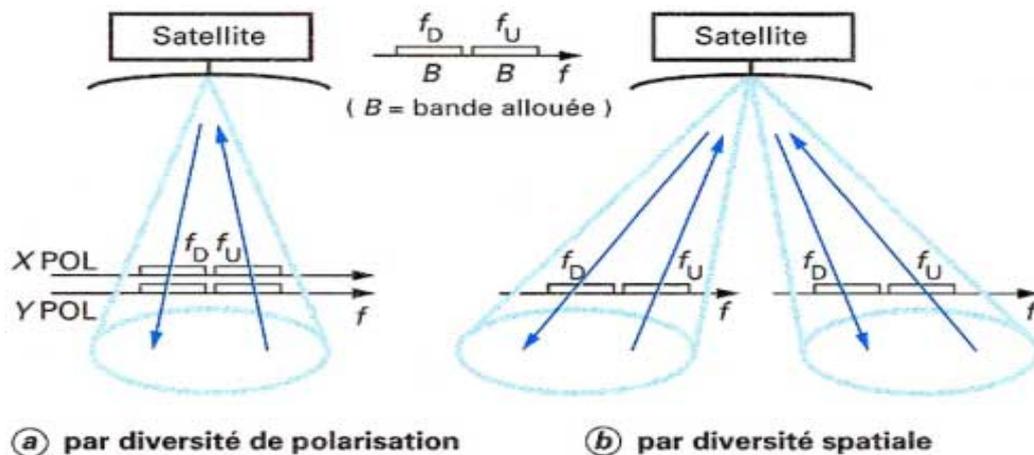


Figure 1.5 : Réutilisation de fréquence.

## 4. Techniques d'accès utilisés dans la transmission par satellite

### 4.1. Politiques d'accès aux canaux satellites.

### 4.1.1. Introduction :

Supposons que le signal reçu par le satellite avec une fréquence  $f_1$  est retransmis vers la terre avec une fréquence  $f_2$  vers l'ensemble des stations terrestres.

Nous allons supposer aussi que toutes les stations terrestres n'ont à leur disposition qu'une seule fréquence  $f_1$ , qui est transposée en la fréquence  $f_2$  de retour. Les stations terrestres n'ont de relation entre elles que via le satellite : si une station veut émettre un signal, elle ne peut le faire qu'indépendamment des autres stations s'il n'y a pas de politique commune.

Si une autre station émet dans le même temps, il y a collision des signaux qui deviennent incompréhensibles puisque impossibles à décoder. Il y a perte des deux messages qui devront être retransmis ultérieurement.

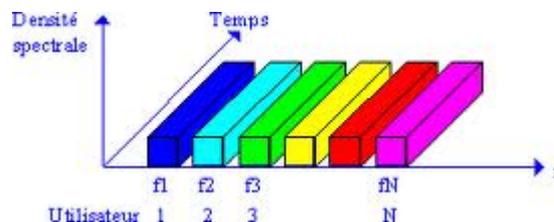
Les politiques d'accès aux canaux satellites doivent permettre une utilisation maximale du canal, celui-ci étant la ressource cruciale du canal.

### 4.1.2. Politiques de réservations :

#### 4.1.2.1. Le FDMA : (Frequency Division Multiple Access)

Supposons toujours qu'il y ait  $n$  stations terrestres.

On découpe la bande de fréquence  $f_1$  en  $n$  sous-bandes permettant à chaque station d'émettre indépendamment des autres liaisons.



**Figure 1.6 :** décomposition de la bande de fréquence a  $n$  utilisateurs (FDMA).

Chaque station terrestre comporte de ce fait un modulateur, un émetteur,  $n$  répéteurs et  $n$  démodulateurs. De plus, le satellite doit amplifier simultanément  $n$  porteuses. Il se crée donc nécessairement des produits d'intermodulation dont la puissance croît très rapidement avec la puissance utile : il peut y avoir perte de plus de la moitié de la capacité de transmission par rapport à un accès unique. On évite les collisions en répartissant le canal entre les divers utilisateurs.

On voit les limites de cette technique puisque, si une ou plusieurs liaisons sont inutilisées, il y a perte sèche des bandes correspondantes. Si l'on veut rendre cette politique dynamique en répartissant la fréquence  $f_1$  entre les utilisateurs actifs, ou si l'on veut introduire une nouvelle station dans le réseau, il faut imposer une nouvelle répartition des fréquences, ce qui pose de nombreux problèmes et ne peut se faire que sur des tranches de temps assez longues. Remarquons que ce procédé tend à disparaître.

### 4.1.2.2. Le TDMA : (Time Division Multiple Access)

On découpe le temps en tranches que l'on affecte successivement aux différentes stations terrestres.

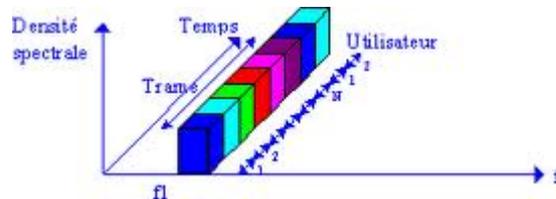


Figure 1.7 : décomposition du temps en n tranches (TDMA).

Toutes les stations terrestres émettent avec la même fréquence sur l'ensemble de la bande passante, mais successivement. A l'opposé du fonctionnement en FDMA, chaque station doit être équipée d'un seul récepteur démodulateur.

Chaque tranche de temps est composée d'un en-tête qui a plusieurs fonctions : les premiers éléments binaires sont utilisés pour l'acquisition des circuits de recouvrement de porteuse et de rythme du démodulateur. L'en-tête transmet également les informations nécessaires pour permettre d'identifier la station terrestre émettrice. De plus, il est nécessaire de synchroniser l'émission en début de tranche pour qu'il n'y ait pas de chevauchement possible. Il existe entre chaque tranche un intervalle réservé à cet effet.

Globalement, le rendement de la politique TDMA est bien meilleur que celui du FDMA. De plus, il est facile de découper de nouvelles tranches de temps si de nouvelles stations sont connectées sur le canal.

La valeur de la tranche de temps varie selon l'application devant être supportée.

Dans le cas du transport de la parole en numérique sur un multiplex normalisé à 2MB/s, une tranche de temps est composée de 6 blocs de 125  $\mu$ s. Les signaux transmis pendant cette tranche forment une trame de 750 $\mu$ s qui est précédée d'un en-tête. L'augmentation de la durée des tranches de temps diminue la fraction du temps perdu en en-tête et augmente l'efficacité de la transmission et le taux d'utilisation réel du canal satellite.

Toute la difficulté de la politique TDMA est de donner la main aux stations terrestres qui en ont réellement besoin, au bon moment et avec une tranche de temps la plus longue possible. Une politique d'allocation dynamique doit donc être utilisée. Les stations demandent, au fur et à mesure de leurs besoins, les tranches nécessaires pour écouler leur trafic. Ces demandes d'allocation ont, en revanche, le désagrément d'alourdir la gestion du système et d'augmenter sensiblement le temps de réponse, puisqu'il faut au minimum deux aller-retour avant d'obtenir de la station maître qui gère le système les tranches de temps correspondant à la demande. Dans le cas d'une application téléphonique, ce délai est inacceptable puisque déjà un seul temps de propagation aller-retour rend la conversation à la limite du compréhensible.

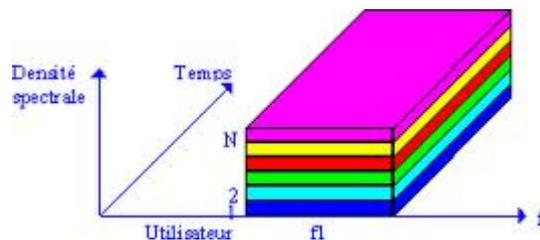
En résumé :

**Avantage** : simplicité et gestion pas très compliquée.

**Inconvénient** : taux d'utilisation du canal souvent loin de l'optimum.

### 4.1.2.3. Le CDMA : (Code Division Multiple Access)

TDMA et FDMA sont deux exemples des systèmes orthogonaux, mais il y a des autres. CDMA est une technique de multiplexage par code. Chaque utilisateur reçoit en effet un code différent.



**Figure 1.8** : technique de multiplexage par N code différent pour chaque utilisateur (CDMA).

Cette technique permet d'éviter tout problème de synchronisation temporelle. De plus, CDMA partage le canal de façon dynamique. Il n'est pas nécessaire d'avoir une allocation rigide des ressources. On peut tolérer plusieurs usagers qui transmettent en même temps, jusqu'à un maximum.

## 5. Mode d'accès utilisés dans la transmission par satellite

L'UIT (union internationale des télécommunications) considère que l'accès multiple est la possibilité, pour plusieurs stations terriennes, d'émettre simultanément leurs porteuses dans un même répéteur satellite, et les modes d'accès peuvent être classés en deux catégories :

**5.1. Mode d'accès multiple avec pré allocation PAMA :** (Permanent Assignment Multiple Access), dans lequel les voies dont on a besoin pour écouler le trafic entre deux stations terriennes sont assignées en permanence à celle-ci pour leur usage exclusif.

**5.2. Mode d'accès multiple avec allocation à la demande DAMA :** (Demande Assignment Multiple Access), dans lequel l'allocation des voies est modifiée selon les nécessités de chaque communication. Le choix de la voie s'opère automatiquement (par le hub) et elle reste connectée tant que la communication se poursuit. Avec ce système le rendement d'un répéteur de satellite et d'une manière plus générale de l'ensemble du système de communication est nettement plus élevé qu'avec le système d'accès multiple avec pré allocation.

### **Remarque :**

Un réseau peut avoir un mélange des liens de PAMA et de DAMA. D'une façon générale PAMA est préféré pour des données et DAMA pour la voix. En outre il peut y avoir DAMA multiples et de PAMA du même endroit. Enfin le lien de DAMA peut être facilement transformé en lien de PAMA. Ceci ne réclame aucune chance de matériel. Ceci peut être effectué du système de commande de réseau (NCS).

## **6. Les différents types de satellite et leurs orbites**

### **6.1. Introduction**

La quasi-totalité des satellites, qu'ils soient à usage d'observation ou de télécommunication, ont des orbites, c'est à dire des trajectoires spécifiques à un corps animé d'un mouvement périodique, propres à leur utilisation. On peut ainsi distinguer trois types de satellite différents, chacun ayant des caractéristiques différentes des autres.

#### **6.1.1. Satellites géostationnaires.**

Aujourd'hui, la majorité des satellites en orbite autour de la terre sont placés sur une orbite circulaire, à une altitude de 36000 Km dans un plan voisin de l'équateur. Cette orbite est l'orbite géostationnaire (**Geosynchronous Earth Orbit - GEO**).

Ils tournent à une vitesse angulaire de rotation égale à celle de la rotation de la terre sur elle-même soit 23 heures, 56 minutes et 4 secondes ainsi, de la terre le satellite donne l'impression d'être fixe, Cela permet bien entendu que les stations terrestres ne soient pas obligées de poursuivre les satellites.

L'orbite de tels satellites à 36000 km de la terre, leur confère pour un signal un temps aller-retour de 0.27 sec environ. Ce délai de propagation très important aura un rôle prépondérant dans les techniques d'accès au canal satellite. C'est l'orbite parfaite pour les satellites de télécommunications et pour certains satellites d'observation (météo) qui doivent couvrir une zone fixe. Trois satellites géostationnaires suffisent pour couvrir l'ensemble de la surface du globe terrestre.

#### **6.1.2. Satellites en orbite moyenne.**

Ces dernières années, les innovations technologiques en matière de communications spatiales ont donné naissance à de nombreuses nouvelles orbites. L'orbite moyenne (**Medium Earth Orbit - MEO**) a une altitude de 12800 km. Un signal transmis d'un satellite d'orbite MEO parcourt une distance plus courte et donc la puissance à l'arrivée est supérieure, ce qui permet d'utiliser un terminal de réception moins puissant. De plus, la distance à parcourir étant réduite, donc on réduit le problème du délai, facilitant par la même les communications en " temps réel " (téléphonie par exemple). Il faut savoir que le signal met 0.1 seconde pour un MEO contre 0.27 seconde pour un GEO. Les satellites MEO utilisent des fréquences de 2 GHz.

### 6.1.3. Satellites en orbite basse.

L'orbite basse requiert l'utilisation d'une constellation de satellites pour une couverture constante. En d'autres termes, quand un satellite n'est plus en vue de la station terrestre, un autre satellite apparaît et prend la relève.

L'orbite basse (**L**ow **E**arth **O**rbit - LEO) se divise en 3 catégories :

\* Little LEO

\* Big LEO.

\* Mega LEO.

- ✓ Les satellites qui utilisent l'orbite LEO se situent entre 800 Km et 1600 Km. Ces faibles altitudes permettent de réduire encore le délai de transmission jusqu'à 0,05 seconde.
- ✓ Les satellites Little LEO utilisent des fréquences de 0,8 GHz, les Big LEO 2 GHz et plus et les Mega LEO de 20 à 30 GHz.
- ✓ Les satellites Mega LEO associés à des fréquences élevées permettent de réaliser des transmissions extrêmement rapides.

## 7. Domain d'utilisation d'un satellite

### 7.1. Introduction :

Les satellites sont divisés en deux catégories :

- les satellites d'application, les plus nombreux, sont mis en œuvre pour prendre en charge les télécommunications sur de vastes territoires et observer la terre (observation, géo-positionnement, télédétection, reconnaissance militaire). Leur service ne devant pas s'interrompre, ils nécessitent des redondances en orbite et des remplacements par de nouvelles générations.
- les satellites scientifiques ont un éventail très vaste de missions allant de l'étude de l'espace lointain grâce à des télescopes spatiaux jusqu'à l'étude du milieu spatial.

#### 7.1.1. Les satellites scientifiques

Les satellites scientifiques regroupent les satellites dédiés aux études scientifiques depuis l'espace. On retrouve dans cette catégorie les premiers satellites comme Spoutnik 1 dont les émissions radio ont permis d'étudier les couches atmosphériques supérieures.

- **L'étude de la terre et de l'espace proche**

On trouve dans cette catégorie des satellites dont les missions portent sur la géodésie (niveau des océans, la géodynamique (étude de la tectonique des plaques), la modélisation du fonctionnement de la biosphère (devenue un enjeu vital dans le cadre de la théorie du réchauffement climatique).

- **La recherche en physique fondamentale**

L'espace est également un lieu idéal pour vérifier certaines théories physiques dans lesquelles la gravité est en jeu : on peut citer la vérification du principe d'équivalence avec les satellites (Microscope) et STEP.

- **Les satellites d'astronomie**

Les satellites d'astronomie, qui sont des télescopes en orbite, permettent d'observer l'espace lointain avec une résolution qui dépasse celles des observatoires terrestres les plus puissants (Hubble). Tout le spectre électromagnétique est aujourd'hui étudié par des télescopes spatiaux : rayonnement X (XMM-Newton), gamma (INTEGRAL), infrarouge (télescope ISO).

### **7.1.2. Les satellites d'application :**

#### **7.1.2.1. Les satellites de télécommunications**

Les satellites de télécommunications sont utilisés pour transmettre des informations d'un point à l'autre de la terre, notamment les communications téléphoniques, la transmission de données (par exemple Thuraya), les communications par satellite et les programmes télévisés. C'est le seul domaine qui génère des revenus très supérieurs aux dépenses. Les clients sont des sociétés privées ou d'anciens organismes internationaux privatisés qui disposent généralement d'une flotte de satellites en orbite.

Les principales flottes de satellites de télécommunications sont celles :

- d'Intelsat, couvrant tous les pays du monde pour les communications générales ;
- d'Inmarsat, pour les communications maritimes ;
- d'Eutelsat (Hot-Bird, Atlantic\_Bird 3, W1, 2,3, etc.) et de la SES ou Société européenne de satellites, (Astra 1 et 2), pour l'Europe ;
- d'Arabsat couvrant depuis les années 1980 l'ensemble des pays de la ligue arabe.

#### **7.1.2.2. Les satellites d'observation**

Les satellites de télédétection observent la terre, dans un but scientifique (température de la mer, manteau neigeux, sécheresse...), économique (ressources naturelles, agriculture...) ou militaire (rôle majeur dans les guerres contemporaines ; ils sont plus couramment désignés sous le nom de satellites-espion). Le spectre d'observation est vaste, optique, radar, infrarouge, ultraviolet, écoute de signaux radioélectriques. La résolution atteint actuellement moins d'un mètre pour certaines gammes de fréquence. Celle-ci dépend de la technologie employée mais aussi de l'altitude du satellite : une bonne résolution exige une orbite basse en général héliosynchrone utilisée par exemple par les satellites d'observation de la terre de la famille SPOT.



**Figure 1.9 :** observation de la terre en orbite héliosynchrone.

### 7.1.2.3. Les satellites de localisation et de navigation

Ces satellites permettent de connaître la position d'objets à la surface de la terre, dans les airs (avions, missiles) et dans l'espace. Exemples : DORIS, le système américain GPS, le futur système européen Galileo, le système russe GLONASS.

Dans cette catégorie, se situe également le système Argos de positionnement d'objets mobiles, datant de 1978 et emportés par les satellites météorologiques américains et l'europpéen MetOp.

### 7.1.2.4. Les satellites militaires

Les besoins des militaires sont à l'origine des premiers satellites d'observation : dès 1959, dans le cadre de la guerre froide, les États-Unis et l'URSS ont développé des satellites militaires d'observation, que l'on appelle couramment et abusivement « satellites-espions ». Ils permettaient d'observer les ressources militaires de l'ennemi dans des zones peu accessibles, Parmi eux on trouve :

- ✚ les satellites de reconnaissance (par exemple Helios), qui utilisent les techniques optiques, infrarouges, radars pour obtenir des images des installations stratégiques (installations militaires, champs de bataille...). Ces satellites parfois dotés de capacités hors normes (résolution de quelques centimètres, capacité à descendre à basse altitude).
- ✚ les satellites de télécommunications utilisés pour les liaisons militaires généralement cryptées (par exemple satellites Syracuse).
- ✚ les satellites d'écoute des télécommunications et des signaux radars qui déploient des antennes dont le diamètre pourrait atteindre plus de 100 mètres (satellites américains Mentor).
- ✚ les satellites de suivi des flottes marines (RORSAT) qui repèrent les navires de guerre grâce aux émissions radar.
- ✚ les satellites d'alerte équipés de senseurs infrarouges (série des satellites américains DSP) permettant de détecter la chaleur émise par le lancement d'un missile balistique.
- ✚ les satellites de navigation utilisés dans le cadre des opérations militaires (constellation GPS avec un usage mixte civil/militaire) pour le guidage précis des missiles de croisière, des obus et le positionnement des unités de tous types.
- ✚ les satellites de météorologie dédiés aux missions militaires.

### 8. Discussions

Nous avons étudié dans ce chapitre les notions de base de télécommunications par satellite. Nous avons pu voir leurs structures, ainsi que leurs modes de transmissions (codage, modulation, ...). Nous avons aussi constaté que les applications sont très nombreuses : téléphonie, transmission de données, localisation, météorologie ...

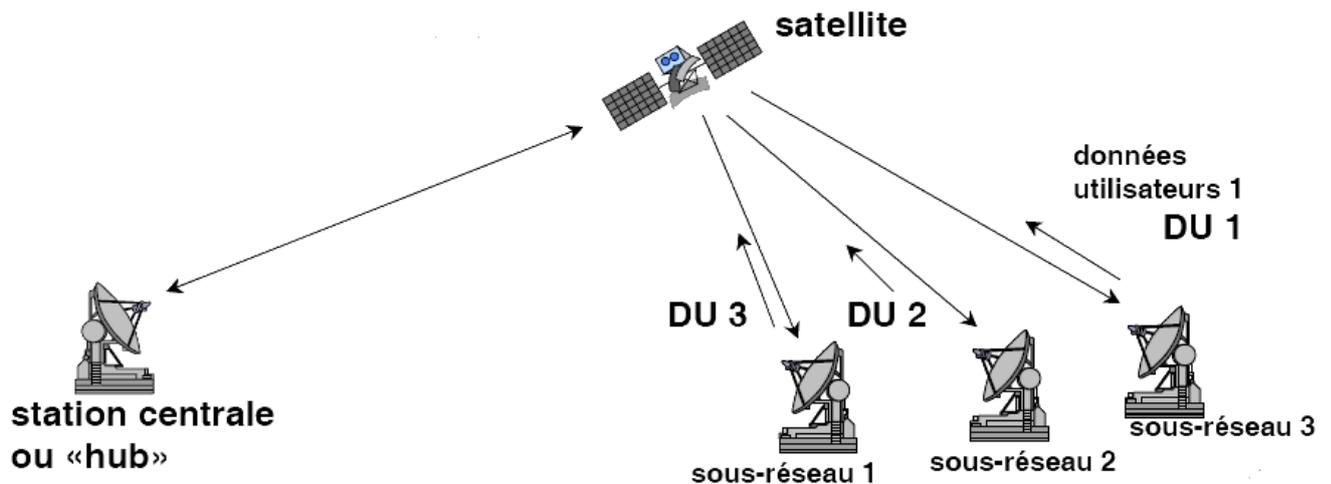
Certains satellites sont déjà en service, comme le GPS et la télévision par satellite, et ont un grand succès. Pour la téléphonie et la transmission des données, les satellites sont à peine lancés ou leur lancement est prévu pour bientôt, mais ils promettent un grand avenir et la possibilité d'être joignable n'importe où sur terre.

De plus, l'heure est à la miniaturisation des satellites. Mini-satellites, microsatsellites et nano-satellites sont sûrement l'avenir des télécommunications par satellite. En effet, leur petite taille permettra des diminutions des coûts et l'on pourra donc en lancer plus qu'actuellement.

Les télécommunications par satellite ont donc encore de nombreux jours devant eux.

## 1 .Introduction au VSAT

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



**Figure. 2.1** : architecture générale d'un réseau VSAT.

## 2 .Fonctionnement

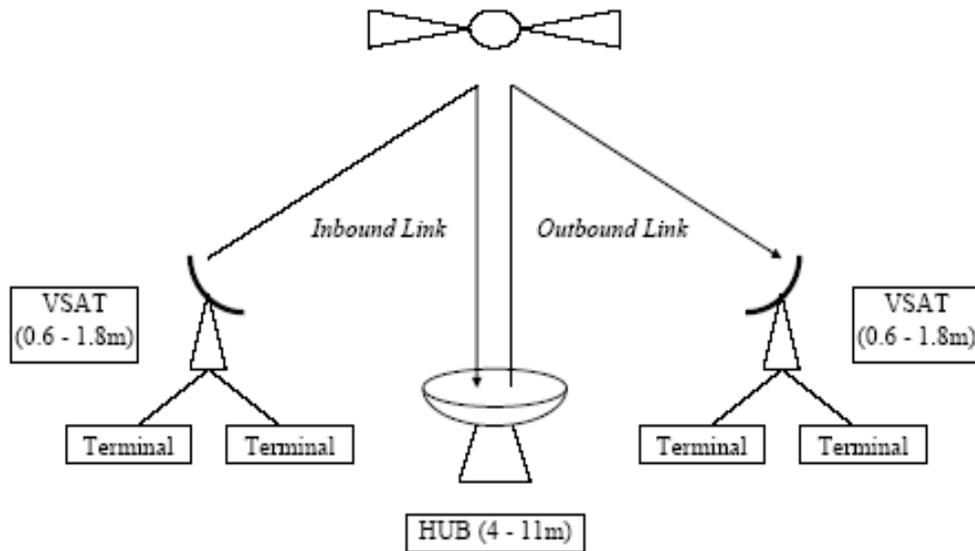
La puissance d'émission des VSAT est faible, deux stations VSAT ne peuvent pas dialoguer directement entre elles. Il est donc nécessaire d'utiliser une station de relais appelée HUB. Le HUB est doté d'une parabole de grande dimension à fort gain. Elle a deux rôles principaux. Tout d'abord elle s'occupe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

## 3 .Réseaux satellite :

### 3.1. Topologies des réseaux satellitaires :

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

### 3.1.1. La topologie en étoile :



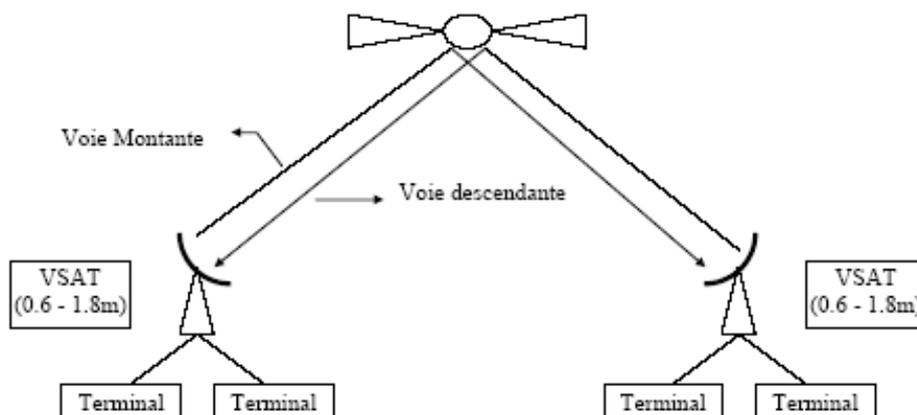
**Figure 2.2 :** Architecture en étoile.

Dans l'architecture en étoile représentée par la **figure 2.2**, le HUB joue le rôle de station terrienne centrale qui contrôle et communique avec un grand nombre de stations utilisateurs. Toutes les stations communiquent uniquement avec le HUB. Elles ne peuvent pas communiquer directement entre elle, (elles communiquent en double bond via le HUB). Il existe deux types de communications station-HUB :

**One-way :** les stations possèdent uniquement la fonction de réception. La liaison HUB-Station est appelée OUTBOUND ou FORWARD.

**Two-way :** la liaison station-HUB est bidirectionnelle. La liaison HUB-Station est appelée INBOUND ou RETURN.

### 3.1.2. La topologie maillée :



**Figure. 2.3 :** Architecture maillée.

Dans l'architecture maillée représentée par la **figure 2.3**, les stations communiquent directement entre elles par le biais du canal satellite. Le HUB assure les fonctions de contrôle et de surveillance. L'inconvénient de cette topologie c'est qu'elle subisse une atténuation de puissance de 200 dB sur la voie montante et sur la voie descendante, les applications de t'elles topologies sont nombreuses : la téléphonie, les liaisons point à point haut débit, le réseau d'entreprise, etc.

#### **4 .Les protocoles de télécommunications satellite**

Les protocoles mis en place pour les télécommunications satellites sont difficilement accessibles par le grand public pour des raisons de confidentialité liées à la concurrence dans ce secteur et aussi parce

Qu'aujourd'hui aucun protocole n'est normalisé spécifiquement pour les télécommunications satellites, des protocoles déjà existants, créés pour les télécommunications terrestre ont été modifiés pour répondre aux contraintes des télécommunications par satellites.

Lors de la transmission par satellite deux contraintes sont interviennent :

- La distance de transmission très importante affaiblit le signal et conduit à un fort taux d'erreurs.
- Le délai de transmission lui aussi important (terre-satellite-terre) de l'ordre de 270 ms pose des problèmes de délais pour les télécommunications.

##### **4.1. Description générale :**

###### **4.1.1. Protocole au niveau physique :**

Le protocole normalisé x21 est utilisé comme protocole de la couche physique dans les télécommunications satellites.

###### **4.1.2. Protocole au niveau liaison :**

La norme ISO 4335 définit les éléments de procédure d'une liaison de données à haut débit HDLC possédant trois procédures de reprises (reprise par pointage, REJ (rejet de trame) et SREJ (rejet de trame sélectif).mais la procédure HDLC (High-Level Data Link Control) est mal adaptée pour le haut débit et forts taux d'erreurs.

###### **4.1.3. Protocole au niveau transport :**

Il n'y a pas de normalisation de protocole de transport dans le cas des télécommunications satellites.

Chaque programme satellite a proposé sa solution propre, puisqu'ils possèdent des besoins est des contrainte spécifiques.

###### **4.1.4. Protocole au niveau réseau :**

Aucun protocole n'ait été défini spécifiquement pour la couche réseau des télécommunications satellite, beaucoup de programmes satellites utilisent une couche réseau partagée en deux sous couches :

- La sous couche accès au sous réseau SNACP (Sub Network Access Convergence Protocol).
- La sous couche réseau SNICP (Sub Network Independant Protocol) contient les fonctions de routage.

## 5 .VOIE ALLER DVB-S ET DVB-S2

### 5.1. Le standard DVB-S

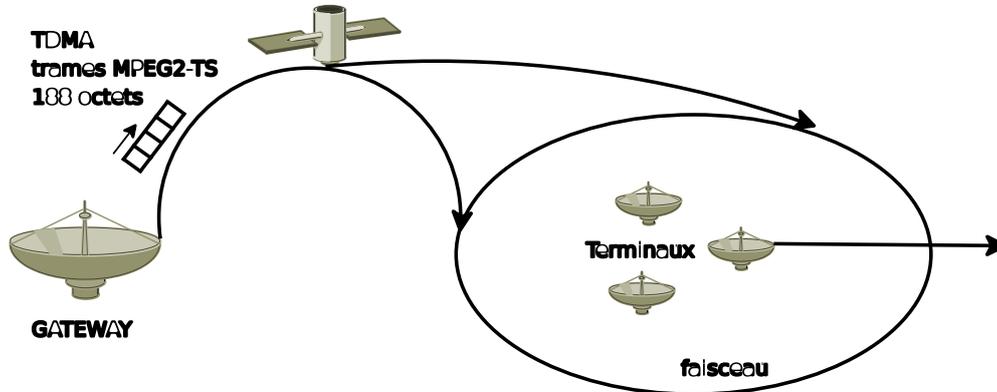


Figure 2.4 : Système DVB-S.

#### 5.1.1. Vue générale :

Comme le montre la **figure 2.4**, un système de télévision classique DVB-S est donc composé de trois éléments : un émetteur nommé passerelle ou “Gateway” diffuse des flux vidéo via un satellite transparent vers des terminaux récepteurs-décodeurs des programmes.

Le système repose sur le standard MPEG2 pour coder les flux vidéos, les flux audio et d’autres informations (télétexte) (**voir figure 2.5**) et enfin pour les multiplexer dans un flux MPEG2-TS (MPEG2 - Transport Stream) composé de trames de 188 octets. Des informations de contrôle et de synchronisation sont également insérées (**voir figure 2.6**). La Gateway code, module et envoie ces trames en TDMA (Time Division Multiple Access) vers le satellite qui répète le signal vers les terminaux. Ces terminaux accèdent à la signalisation de contrôle pour trouver la “carte” des programmes et décodent seulement les trames relatives à un programme visé.

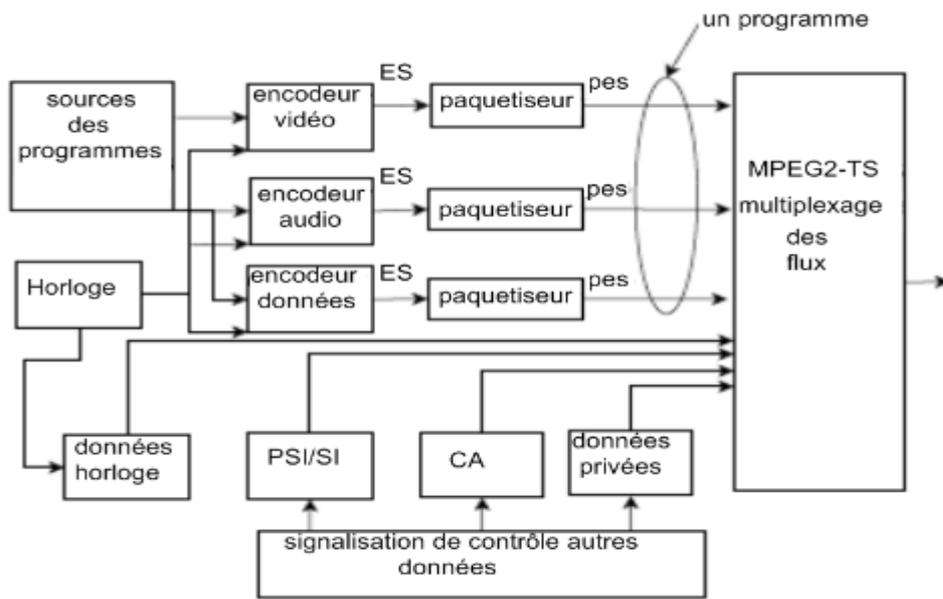


Figure. 2.5 : Codage et multiplexage de programmes MPEG2.

### 5.1.2. MPEG2 :

MPEG2 est la norme de deuxième génération définissant la compression d'images animées et de sons et leur transport dans une structure ou "trame" commune. La **figure 2.5** décrit cette chaîne de codage et de multiplexage.

D'abord, les sources analogiques vidéo et audio des programmes de télévision sont encodées à partir d'une horloge commune permettant de conserver la synchronisation du programme. Ces différents encodages engendrent des flux élémentaires ES (Elementary Stream) qui sont ensuite découpés en PES (Packet Elementary Stream). Ces flux de données doivent donc être maintenant multiplexés en vue d'être envoyés.

Un flux MPEG2-TS est constitué de "paquets" de 188 octets avec un en-tête de 4 octets. Chaque paquet est identifié dans l'en-tête par un PID (Packet Identifier) qui indique le type de contenu en fonction de la signalisation PSI/SI. A chaque programme contenant plusieurs flux PES identifiés par leur stream\_id est associé un PID. Suivant leurs tailles, les PES sont découpés en paquets adéquats de 184 octets en utilisant du bourrage pour compléter le dernier paquet grâce à un champ Adaptation\_Field variable dans l'en-tête. Ce champ d'adaptation servira par la même occasion à transporter la référence d'horloge pour la synchronisation temporelle PCR (Program Clock Reference).

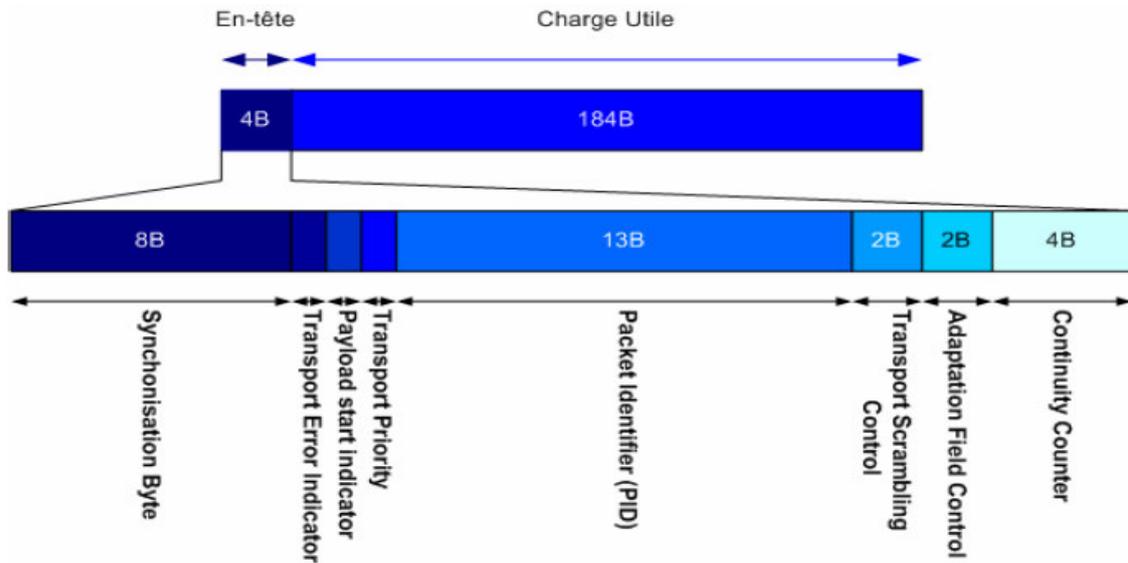


Figure. 2.6 : Format de la trame MPEG2-TS.

- **Sync\_byte (8 bits)** : il contient une valeur unique de synchronisation. Cette valeur ne devrait pas être utilisée dans d'autres champs pour aider à la synchronisation.
- **Transport\_error\_indicator (1 bit)** : il indique au moins une erreur dans le paquet.
- **Payload\_unit\_start\_indicator (1 bit)** : il indique si un PES débute dans cette trame.
- **Transport\_priority (1 bit)** : il indique le niveau de priorité de la trame.
- **PID (13 bits)** : il représente l'élément clef de cet en-tête. Il caractérise le type de paquet et donc la façon de traiter les données encapsulées en rapport avec la signalisation PSI/SI.
- **Transport\_scrambling\_control (2 bits)** : il indique si les données de la trame sont embrouillées ou non.
- **Adaptation\_field\_control (2 bits)** : il indique la présence d'un champ additionnel dans l'en-tête et la présence de données à la suite.
- **Continuity\_counter (4 bits)** : il représente un compteur incrémental de données pour chaque PID et permet notamment de savoir si des données sont dupliquées.

### 5.1.3. Chaîne de transmission :

Le multiplexe MPEG2-TS est traité pour être émis vers le satellite par la couche DVB-S par toute une chaîne de transmission comportant brouillage, codage Reed-Salomon, entrelacement, code convolutif, poinçonnage, modulation QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying). On arrive à un débit utile de 38Mb/s pour un transpondeur de 35 MHz.

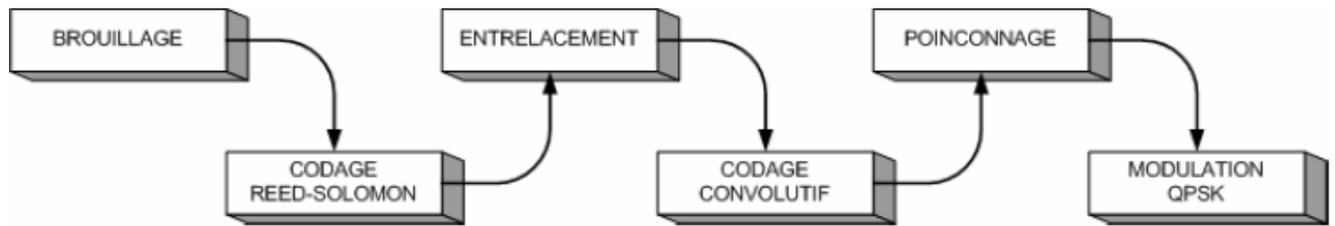


Figure 2.7 : Aperçu de la chaîne de codage du DVB-S.

- ✚ **Le brouillage** : aussi appelé dispersion d'énergie, il permet d'éviter une trop longue succession de 1 ou de 0 qui aurait comme impact la création d'une raie à forte énergie. Le signal est multiplié par la sortie d'un générateur pseudo aléatoire.
- ✚ **Le codage Reed-Solomon** : est un code détecteur et correcteur ce codage rajoute un code de 16 octets à la fin du paquet MPEG-2 TS, permettant de corriger au maximum 8 octets défectueux.
- ✚ **L'entrelacement** : ce mélange des données permet d'éviter les suites consécutives d'erreurs, plus difficiles à corriger, en entrelaçant les octets de plusieurs paquets.
- ✚ **Le code convolutif** : les codes convolutif s'appliquent sur des séquences infinies de symboles d'information et génère des séquences infinies de symboles codés, il ajoute de la redondance au signal à raison de 2 bits pour 1.
- ✚ **Le poinçonnage** : il permet d'améliorer le rendement du code convolutif en éliminant certains bits (on parle de Forward Error Code pour ce rendement).
- ✚ **La modulation QPSK** : elle permet de moduler le signal sans faire de modulation d'amplitude puisque le signal est très bruité par le travail en saturation des transpondeurs.

## 5.2 Le standard DVB-S2

Le standard DVB-S2 représente une évolution de la diffusion numérique pour la télévision, avec les nouveautés apportées la valeur gagné en efficacité spectrale est de l'ordre de **25%** à **30%** par rapport aux standards existants équivalent, en plus des nouvelles modifications introduites au niveau codage et modulation.

Le standard de nouvelle génération DVB-S2 est compatible avec l'ancien système DVB-S mais, DVB-S2 profite d'un meilleur codage de type LDPC (Low-Density Parity-Check) combiné à plusieurs types de modulations (QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK).

Le tableau 1 représente les principales différences du standard DVB-S2 avec le DVB-S.

Année	1994	2003
Standard	DVB-S	DVB-S2
Mode de codage et de modulation	CCM	ACM
Codage	Viterbi, Reed Solomon	LDPC, BCH
Modulation	QPSK	QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK
Format des données	MPEG2	MPEG2, MPEG4, donnés

Tableau 2.1 : Evolution du standard de communication par satellite.

### 5.2.1. Caractéristiques du DVB-S2 :

#### 5.2.1.1. Codage avancé :

Le codage canal adopté est une concaténation d'un code en bloc BCH (Bose-Chaudhuri-Hochquenghem code) et d'un code LDPC. Le code LDPC est un code linéaire caractérisé par sa grande capacité de détection d'erreur. Mais bien que ce code soit connu par sa complexité à cause de son besoin intense en mémoire, les problèmes posés par leur intégration matérielle commencent à être abordés.

#### 5.2.1.2. Ordre de modulation supérieure :

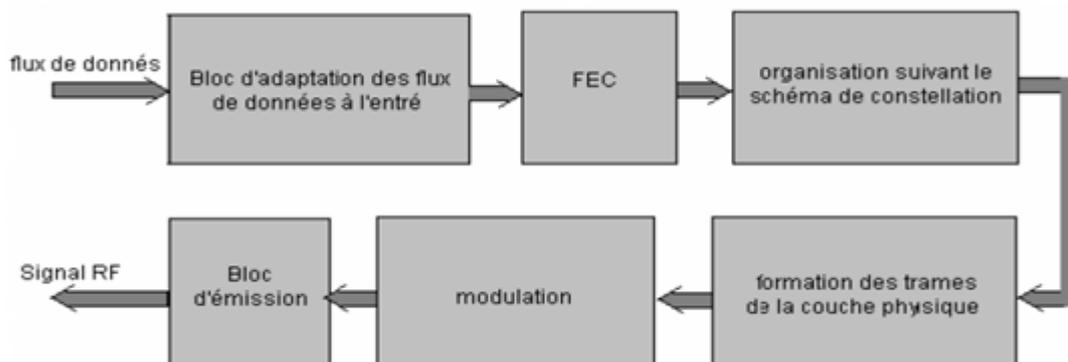
Le standard DVB-S n'a défini que deux modulations qui sont le BPSK (Binary Phase Shift Keying) et le QPSK. Alors que DVB-S2 quatre modulation sont proposés, En général, les modes QPSK et 8-PSK sont utilisés dans les applications de radiodiffusion, car ces modulations se caractérisent par une enveloppe pratiquement constante et elles peuvent être utilisées dans des répéteurs satellites non linéaires portés à quasi-saturation. Les modes 16-APSK et 32-APSK, axés principalement sur des applications professionnelles, peuvent être aussi utilisés pour la radiodiffusion, mais exigent un niveau plus élevé du rapport C/N disponible. Bien que ces modes se caractérisent par un rendement énergétique moindre, ils offrent une efficacité spectrale nettement supérieure. Les constellations 16-APSK et 32-APSK ont été optimisées pour fonctionner sur un répéteur non linéaire en plaçant les points sur des cercles.

#### 5.2.1.3. Plusieurs formats de données :

Le standard DVB-S2 supporte des formats MPEG-4 et des formats génériques comme IP, ATM, ce qui permet de transmettre les données sous leurs formats naturels, sans besoin de les encapsuler dans des trames MPEG.

#### 5.2.1.4. Chaîne de transmission DVB-S2 :

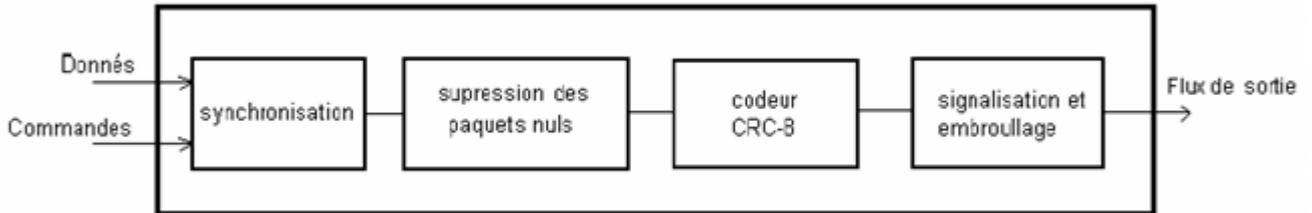
Le système de transmission DVB-S2 est formé par des blocs pratiques qui assurent l'adaptation entre les flux d'entrés qui peuvent être des flux de transport MPEG ou des sources de données génériques et le signal RF à la sortie. Comme c'est montré dans la **figure 2.8**.



**Figure 2.8** : système de transmission DVB-S2.

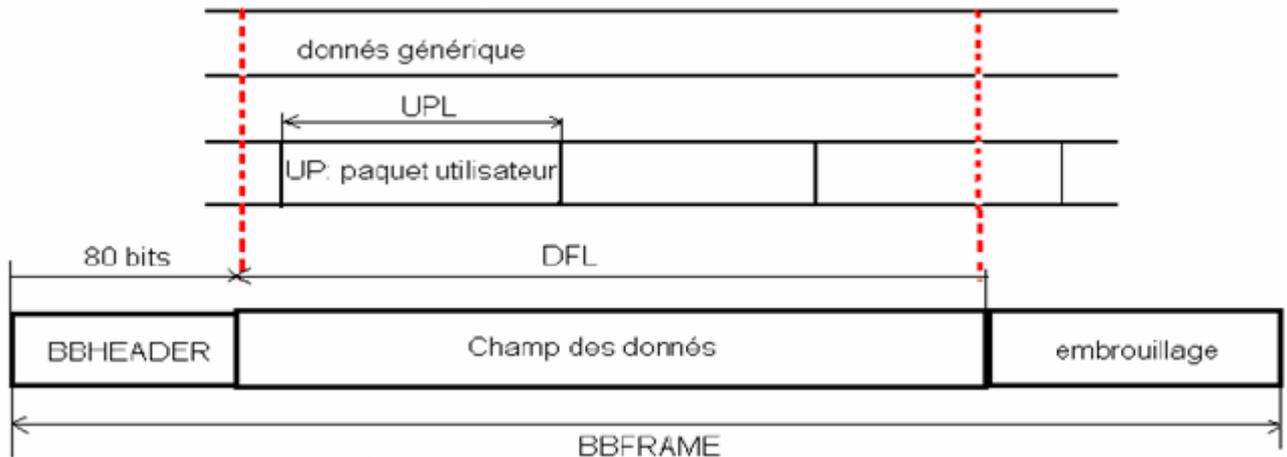
### 5.2.1.5. Bloc d'adaptation :

L'adaptation passe par plusieurs étapes dont la première étape est la synchronisation. Cet étage a pour but d'assurer un débit constant. La deuxième étape est la suppression des paquets nuls du flux MPEG après identification, ce qui permet de réduire le taux des données et d'augmenter le taux de protection. Les paquets nuls supprimés seront insérés dans leurs positions d'origine dans le récepteur. Ensuite, l'information passe par un codeur pour la détection d'erreur CRC-8 (Cyclic Redundancy Check). Les différentes étapes du bloc d'adaptation sont présentées par la **figure 2.9**.



**Figure 2.9** : bloc d'adaptation.

Les données sont, ensuite, regroupées dans des champs plus grands : DF (Data Field), pour lesquelles nous ajoutons des informations de signalisation de longueur fixe (80 bits) pour obtenir la trame BBFRAME (Base Band Frame), comme c'est montré dans la **figure 2.10**.



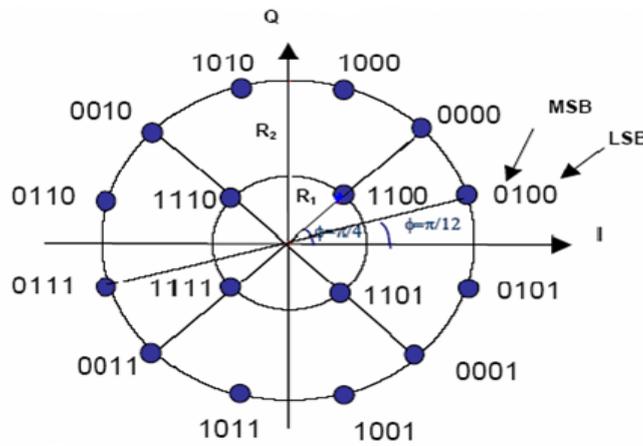
**Figure 2.10** : trame BBFRAME.

### 5.2.1.6. Codeur FEC :

La correction d'erreur directe est le sous-système fondamental pour obtenir d'excellentes performances par satellite, avec des niveaux de bruit et de brouillage particulièrement élevés. Dans ce bloc nous appliquons les codes retenus par le standard DVB-S2 qui sont les codes BCH et LDPC. Le nombre total des bits de la trame de sortie doit être constant, les codes BCH (Bose Chaudhuri Hocquenghem) externes concaténés permettent d'éviter les effets de seuil (d'erreur) dans le cas de faible taux d'erreur binaire.

### 5.2.1.7. Organisation suivant le schéma de constellation :

Ce bloc a pour fonction la génération des symboles suivant le type de modulation adopté. Par exemple comme le montre le schéma de constellation 16APSK dans la **figure 2.11**, les bits sont regroupés en des symboles de 4 bits.



**Figure 2.11** : Schéma de constellation 16APSK.

### 5.2.1.8. Bloc de formation des trames de la couche physique :

Dans ce bloc le flux d'entrée sera coupé en slots de taille 90 symboles. Après chaque groupe de 16 slots, nous ajoutons un entête qui contient des informations de signalisations.

### 5.2.1.9 La modulation :

Dans ce bloc, le signal va être transformé de la bande de base vers la bande RF d'émission. Avant l'émission on filtre notre signal par un filtre en racine de Cosinus Surélevé avec un facteur de roll-off de 0.35, 0.25 ou 0.2. La chaîne de transmission du standard DVB-S2 ainsi défini, permet donc de générer un signal bien protégé et à débit plus important que celui du standard DVB-S.

## 6 .Voie retour DVB-RCS

Le système DVB-S classique est donc complètement adapté à la diffusion. Néanmoins, un besoin d'interactivité est apparu avec la demande de connectivité à Internet nécessitant un lien bidirectionnel. Tout d'abord, la première solution a consisté à mettre en place une voie retour asymétrique par voie terrestre jusqu'à la Gateway (solution UDLR standardisée par l'IETF). Cette solution enlève néanmoins l'un des principaux avantages du satellite : l'indépendance d'emplacement par rapport au réseau. Pour permettre une vraie interactivité entièrement fondée sur le satellite, une voie retour DVB a été définie avec le standard DVB-RCS (Digital Video Broadcast - Return Channel Satellite).

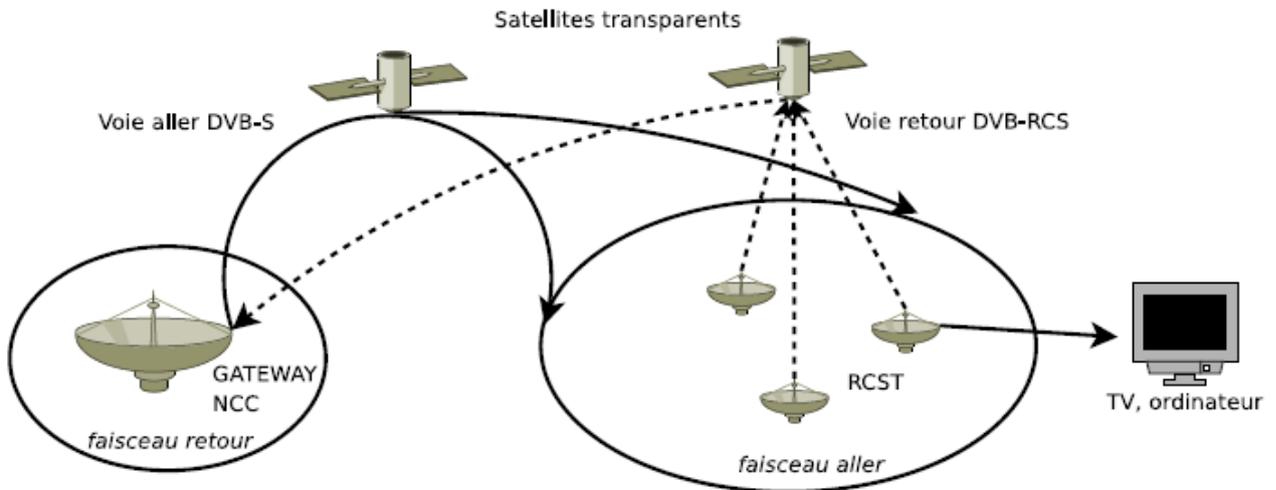


Figure. 2.12 : Système DVB-RCS.

### 6.1. Vue générale :

La norme DVB-RCS repose sur un système DVB-S qui lui confère de nombreuses informations de contrôle pour régler le système. Un des buts affichés est de permettre de créer des récepteurs appelés RCST (Return Channel Satellite Terminal) à un prix envisageable pour les abonnés. La **figure 2.12** montre l'ajout d'une voie retour à un système DVB-S. Cette voie retour est fondée sur un autre transpondeur dédié qui peut se trouver aussi bien sur le même satellite que sur un autre satellite que celui utilisé pour la voie aller. Dans un système DVB-RCS, un centre de contrôle réseau ou NCC (Network Control Centre) souvent associé à la gateway est en charge de toute la signalisation opérateur.

L'émission des informations n'est plus constante mais repose sur le principe de "bursts" utilisant un découpage temporel et fréquentiel standardisé appelé MF-TDMA (Multiple Frequency Time Division Multiple Access). Ce système suppose une décomposition fréquentielle du lien de retour en plusieurs bandes de fréquence, elles-mêmes partagées en slots temporels durant lesquels les ST sont à même de transmettre des bursts de données.

### 6.2. Les différents bursts RCS :

Dans la norme DVB-RCS, quatre types de bursts sont définis :

- ✚ **des bursts de trafic (TRF) :** est utilisé pour transporter les données du ST au NCC, basés soit sur des cellules ATM (Asynchronous Transfer Mode) (ATM TRF burst) soit sur des paquets MPEG2-TS (Moving Picture Experts Group 2 - Transport Stream) (MPEG2-TS TRF burst).

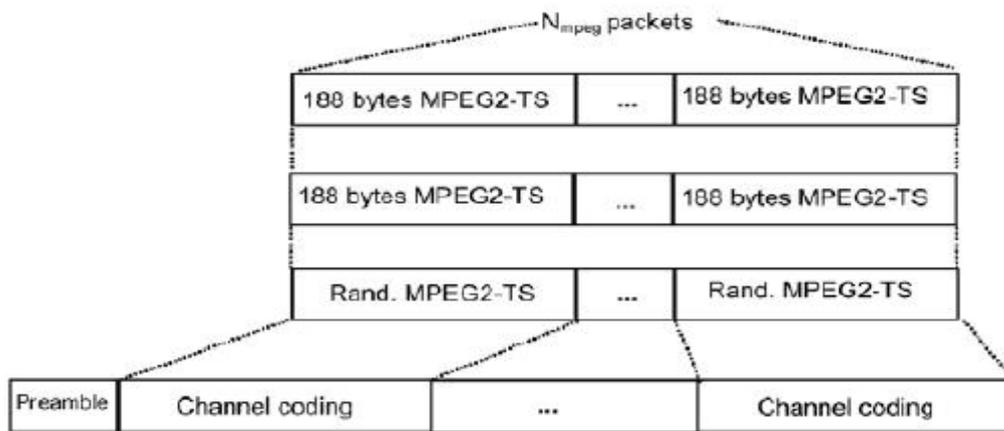


Figure.2.13 : format du trafic burst en utilisant MPEG2-TS.

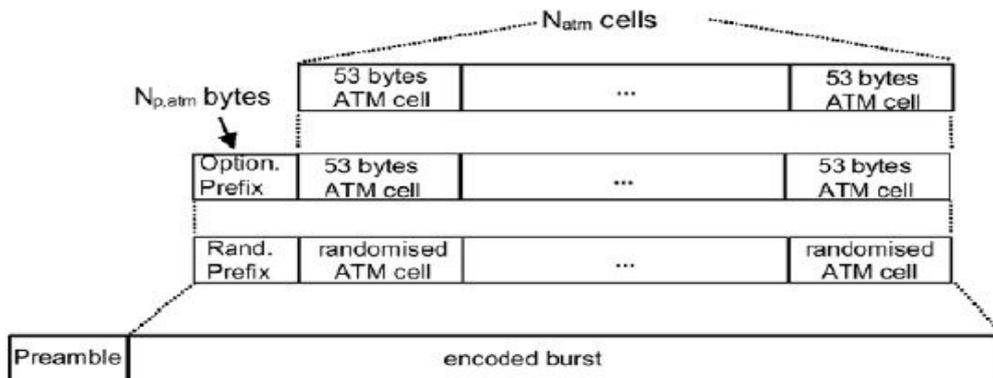


Figure.2.14 : format du trafic d'un burst en utilisant ATM.

Tous les 53 bits on retrouve une cellule ATM avec un préfix, (48 octets de données et 5 pour l'adressage et le contrôle).

- ✚ **le burst CSC (Common Signalling Channel)** : permettant aux ST de s'identifier auprès du centre de contrôle NCC lors de la phase de logon (premier accès au réseau).

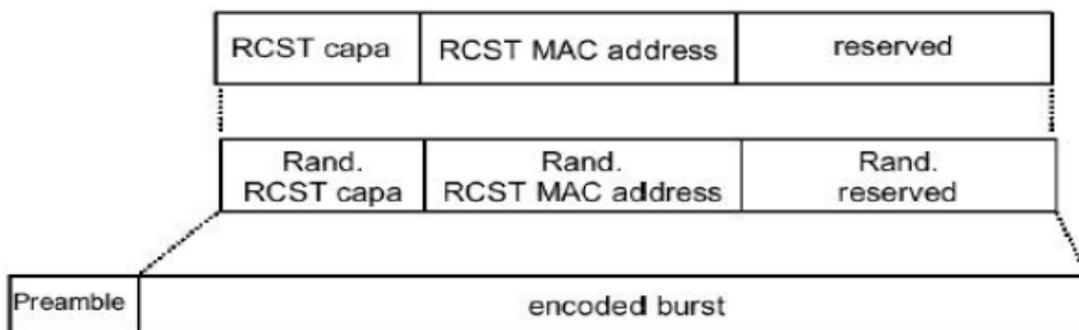


Figure.2.15 : format du burst CSC (Common Signalling Channel).

- un préambule de taille variable pour la détection du burst.
- un champ décrivant les capacités du terminal, incluant:
  - Terminal return channel (RCST) capability, 24 bits.
  - adresse mac du terminal (RCST), 48 bits.
  - réservé pour une application future, 40 bits.

✚ **le burst ACQ(Acquisition)** : permet la synchronisation de la couche physique (correction de la fréquence de l'émetteur) et la procédure de ranging (mesure fine de la distance mobile –satellite - station terrienne). , la trame comporte un préambule et une fréquence.

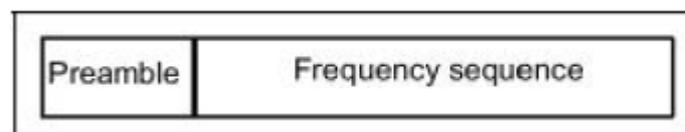


Figure.2.16 : format du burst ACQ (Acquisition).

✚ **le burst SYNC(Synchronisation)** : utilisé pour maintenir la synchronisation ou envoyer des informations de contrôle vers le NC.

### 6.3. Chaîne de transmission :

Contrairement à la chaîne de transmission DVB-S, la norme DVB-RCS propose d'utiliser les turbo-codes comme option. En effet, comme l'illustre la figure ci-dessous (**Figure 2.16**), après le codage CRC, on peut, soit suivre un traitement identique à la chaîne de transmission classique du DVB-S, soit remplacer la chaîne codage Reed-Solomon, entrelacement et codage convolutif (aussi appelé codage concaténé) par du turbo-code.

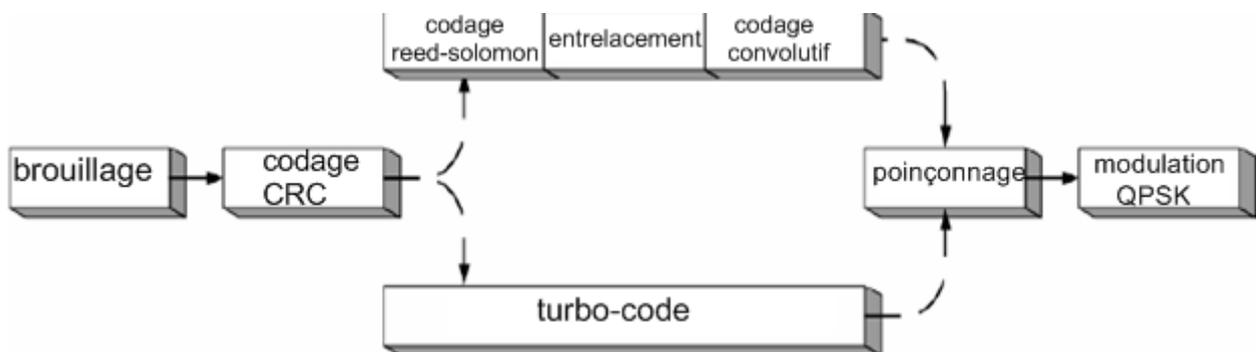


Figure 2.17 : Aperçu de la chaîne de codage du DVB-RCS.

**Remarque :** l'utilisation des turbo-codes dans le DVB-RCS, est plus complexes que le codage convolutif en treillis, et sont aussi beaucoup plus performants. L'un des avantages des turbos codes est qu'il requière pour un même taux de perte de paquets moins d'énergie par bit d'information  $E_b/N_0$ .

#### 6.4. La signalisation sur la voie retour :

La signalisation sur la voie retour est effectuée via des bursts. En effet nous avons vu précédemment que les données étaient envoyées sous forme de bursts, appelés bursts de trafic (TRF). A partir de ces messages, la signalisation sur la voie retour peut être gérée selon deux méthodes :

- **la méthode SAC** (Satellite Access Control) qui utilise le champ optionnel des bursts de trafic et les bursts SYNC et utilise les slots SYNC comme un canal à contention pour les requêtes d'allocation.
- **la méthode DULM** (Data Unit Labelling Method) permet aussi de transporter des requêtes de ressources dans des canaux virtuels dans les données. La méthode d'allocation de ressources peut être fixe, gérée par la fonction CAC (Connection Admission Control) à la connexion des terminaux. Les ressources peuvent aussi être allouées dynamiquement à la demande grâce au champ SAC par une méthode DAMA (Demand Assignment Multiple Access).

#### 6.5. Mise en œuvre du DVB-RCS :

##### Lien allé

Sur le lien Aller, les flux proviennent d'Internet, du PABX Voie IP mais aussi du sous-système Retour dans le cas d'un trafic entre deux terminaux. La destination par défaut de ces flux est la passerelle NCC (Network Control Center). A la sortie de cet équipement, un seul flux MPEG-TS est généré. Il constituera avec la signalisation, la porteuse DVB-S. Un PID unique (PID données) est attribué à tous les paquets MPEG-TS composant le flux. Ce sera le PID trafic que tous les terminaux doivent « écouter ». Il est spécifié par l'opérateur du réseau et spécifié dans le NCC également.

C'est notamment au niveau de la passerelle NCC, qu'une association statique entre les adresses des différents réseaux locaux, les adresses MAC des terminaux qui leur sont associés et le/les PID trafic (données), est établie. D'une autre manière, pour router les paquets sur le lien Aller, la passerelle NCC joue un rôle de routeur d'accès dans ce cas. Elle détermine l'adresse MAC du terminal correspondant à une adresse MAC destination en consultant le fichier des associations statiques. Elle procède par la suite à l'encapsulation MPEG. L'adressage et le routage DVB s'appuie sur des associations statiques définies par l'opérateur du réseau. C'est aussi au niveau de la passerelle NCC que le débit MAC maximal que peut atteindre la porteuse est spécifié. Et aussi les flux DVB-S transportent la signalisation DVB-RCS.

A la sortie un flux MPEG unique est codé et modulé. A la sortie du modulateur, la porteuse TDM est ainsi formée et elle est transmise en bande L au simulateur du lien satellite.

Côté réception et de part la nature diffusante de la porteuse DVB-S, l'ensemble des terminaux la reçoivent. Ils accèdent aux cellules MPEG-TS identifiées par le PID données.

Ensuite, c'est en accédant au champ MPE que les RCST peuvent savoir, en fonction de l'adresse MAC, si le trafic leur est destiné.

### **Lien retour**

La procédure de connexion du terminal consiste en l'identification et l'authentification du terminal par le NCC. Durant cette phase de Logon le terminal s'authentifie avec son adresse MAC ainsi que 2 identifiants logiques (Group\_id et Logon\_id). Ces paramètres permettent au NCC de vérifier que le terminal appartient au réseau interactif DVB-RCS mais aussi de déterminer le niveau de service qui lui est attribué, les catégories de capacité radio à utiliser et le niveau de bande passante maximale à attribuer.

Le NCC communique aux terminaux, via les messages TIM, les PIDs à utiliser pour émettre du trafic sur la voie Retour.

Sur le lien montant ou Retour, le terminal joue le rôle d'un routeur d'accès et répartit le trafic selon les priorités. Les règles sont compatibles et les flux de donnée sont répartis selon leur adresse source/destination et/ou port source et destination.

Les paquets MPEG ainsi formés vont venir occuper les Time Slots trafic alloués par le NCC. Ils sont le résultat aussi bien d'une allocation statique par le NCC qu'une demande explicite du terminal.

### **Remarque :**

Le système DVB-RCS est intégralement dépendant des flux aller DVB-S qui contient les différentes informations pour régler le système (accès, signalisation et synchronisation des terminaux).

Plusieurs entités de gestions du système : le NCC (Network Control Centre) et le NMNC (Mission and Network Management Centre). Ces entités sont chargées de gérer le système, de s'occuper de l'accès au système ainsi que d'une grande partie de la signalisation. Ces fonctionnalités peuvent être intégrées dans une Gateway. Les flux DVB-S transportent la signalisation DVB-RCS. Celle-ci est diffusée sur tout le faisceau DVB-S, et les terminaux peuvent ainsi se synchroniser et émettre leurs données vers la Gateway, via un faisceau descendant restreint.

## 7. Discussions

Comme il a été démontré dans ce chapitre, la technologie VSAT permet de mettre en place différents réseaux: de données, téléphoniques, vidéos. Comme on a vu aussi les différentes topologies que le réseau VSAT peut utiliser avec quelques protocoles qui ne sont pas vraiment normalisés.

Dans ce chapitre nous avons introduit le standard de diffusion numérique, le DVB, il apparaît que les systèmes DVB fondés sur la norme MPEG2 posent problème, c'est la raison pour laquelle MPEG2-TS est nécessaire. Ensuite, nous avons illustré quelques standards comme le DVB-S, DVB-S2 et DVB-RCS. Nous avons aussi présenté les principales caractéristiques et la chaîne de transmission de ces standards. Nous avons vu que la chaîne de transmission du standard DVB-S2, permet donc de générer un signal bien protégé et à débit plus important que celui du standard DVB-S.

Ensuite, l'ajout de DVB-RCS a ouvert de nombreuses possibilités pour le développement des services bidirectionnels.

## 1. Paramètres d'un bilan de liaison

### 1.1 .Introduction :

Lors de la définition d'un système de communications avec un satellite, il est nécessaire de déterminer la taille des antennes d'émission et de réception, la puissance d'émission et le rapport signal à bruit nécessaire pour pouvoir effectuer la transmission avec la qualité requise. Effectuer cet ensemble de déterminations constitue le Bilan de Liaison.

### 1.2 .Paramètres d'antenne :

Considérons une antenne omnidirectionnelle, dite isotrope (Isotropic Antenna) rayonnant  $P_T$  Watts.

Supposons maintenant que l'antenne est directive est rayonne principalement dans une direction définie par un azimuth et une élévation  $(\theta_0, \varphi_0)$ . Par rapport à l'antenne omnidirectionnelle la densité de puissance dans cette direction sera multipliée par un coefficient  $G_T(\theta_0, \varphi_0)$  qui représente le gain de l'antenne dans cette direction, sachant que le gain est défini comme la capacité de l'antenne pour amplifier le signal très faible.

#### 1.2.1 .Elévation :

L'élévation est l'angle formé entre l'horizontale du point de réception une ligne reliant ce point au satellite (figure 3.1).

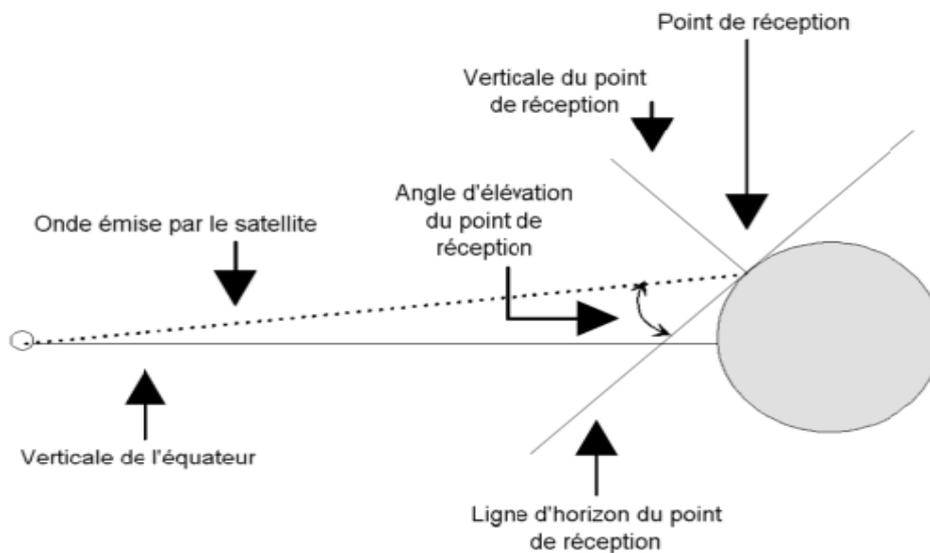


Figure 3.1 : angle d'élévation.

### 1.2.2 .Azimut :

L'azimut est l'angle formé par le nord géographique et la d'érrection du stellite. C'est à peut de chose près ce qu'on mesure avec une boussole (nord magnétique).

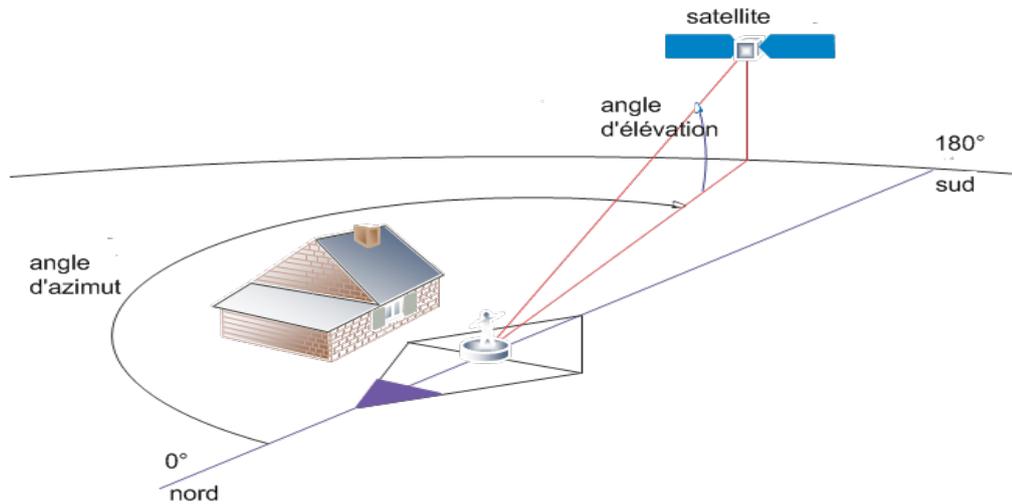


Figure 3.2 : angle d'azimut..

### 1.2.3 .Polarisation :

L'onde rayonnée par une antenne est constituée d'une composante du champ électrique et un champ magnétique, ces deux composantes sont orthogonales et perpendiculaire à la direction de propagation.

La polarisation de l'onde est définie par la direction du champ électrique, donc l'orientation de l'onde électromagnétique dans l'espace.

Lorsque le vecteur champ électrique est parallèle à l'horizon, l'onde est polarisée horizontalement.

Lorsque le champ électrique est vertical, l'onde est polarisée verticalement.

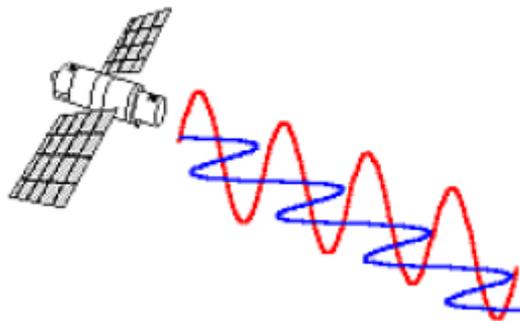


Figure 3.3 : La figure ci-contre illustre les deux types de polarisation, verticale et horizontale.

**1.2.4 .Le gain d'antenne :**

Le gain de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée ou bien reçu par l'antenne dans une direction donnée à la puissance rayonnée par une antenne isotrope nourris avec la même puissance.

Le gain est maximum dans la direction de rayonnement maximal (l'axe électromagnétique de l'antenne), le gain d'une antenne parabolique de diamètre  $D$  s'exprime par l'équation :

$$G_{\max} = (4\pi / \lambda^2) A_{\text{eff}} \quad (1) \quad \text{ou} \quad \lambda=c/f \quad A_{\text{eff}} = \eta (\pi D^2/4) \quad (2)$$

$C$  : est la vitesse de la lumière égal à  $c=3*10^8$  m/s

$f$ : est la fréquence de l'onde électromagnétique.

$A_{\text{eff}}$ : la surface d'ouverture effective de l'antenne.

$\eta$  : l'efficacité de l'antenne.

$$G_{\max} = \eta (\pi D / \lambda)^2 = \eta (\pi D f / c)^2 \quad (3)$$

L'expression en dBi (le gain relatif à une antenne isotrope) est :

$$G_{\max} = 10 \log \eta (\pi D / \lambda)^2 = 10 \log \eta (\pi D f / c)^2 \text{ (dBi)} \quad (4)$$

**1.3 .La Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE) :**

Le PIRE signifie Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente; en anglais on la note EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power). Elle représente la puissance équivalente émise par un amplificateur de puissance  $P_T$  associé à une antenne de gain  $G_T$ . Elle se mesure en dBW. Sa valeur typique pour un PIRE satellite est de **45 à 52 dBW**.

$$\text{PIRE} = G_T P_T \text{ (w)} \quad (5) \quad \text{PIRE}_{\text{dBW}} = 10 \log(G_T P_T) \text{ dBW} \quad (6)$$

**Remarque :** On rappelle que la PIRE est la puissance rayonnée par rapport à une antenne isotrope pour laquelle  $G_T = 1$ .

**1.4 .La densité de flux de puissance reçue :**

$P_{\text{FD}}$  : représente la densité de flux de puissance reçue à une distance  $D$  de la source.

$$P_{\text{FD}} = \text{PIRE} / 4 \pi D^2 \text{ W/m}^2 \quad (7)$$

La densité de puissance en (dB) est donnée par l'équation suivante :

$$P_{\text{FD}} = \text{PIRE} - 10 \log (4 \pi D^2) \text{ dBW/m}^2 \quad (8)$$

### 1.5 .Puissance de transmission et de réception :

Une antenne de réception dirigée dans la direction de rayonnement principal de l'antenne d'émission va recevoir une fraction de la puissance rayonnée. Cette fraction est proportionnelle à la surface de l'antenne de réception et à son orientation par rapport à la direction de propagation de la puissance émise. En supposant les antennes d'émission et de réception parfaitement alignées.

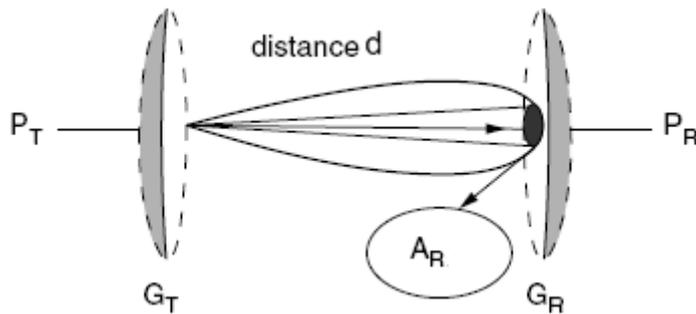


Figure 3.4 : la puissance reçue par une antenne de réception.

La puissance reçue s'écrit : 
$$P_R = P_T G_T A_R / 4\pi d^2 \quad (9)$$

Le terme  $A_R$  est l'aire effective de l'antenne de réception. Pour une antenne parabolique de diamètre  $D$ , on a :

$$A_R = \eta \pi D^2 / 4 \quad (10)$$

Dans cette expression le coefficient  $\eta$  représente l'efficacité de l'antenne. Il varie généralement entre 50% et 70%.

La puissance reçue par l'antenne s'écrit finalement : 
$$P_R = P_T G_T G_R / (4\pi d / \lambda)^2 \quad (11)$$

On introduit alors le facteur  $L_s$  qui est appelé la perte en espace libre (free-space path loss).

$$L_s = (\lambda / 4\pi d)^2 \quad (12)$$

La puissance reçue s'écrit alors : 
$$P_R = P_T G_T G_R L_s \quad (13)$$

Si en prenant en compte des pertes de propagation atmosphérique sous la forme d'un terme  $L_a$ , la puissance reçue devient :

$$P_R = P_T G_T G_R L_s L_a \quad (w) \quad (14)$$

L'expression de la puissance en dB devient :

$$(P_R)_{dB} = (P_T)_{dB} + (G_T)_{dB} + (G_R)_{dB} + (L_s)_{dB} + (L_a)_{dB} \quad (15)$$

### 1.6 .Facteur de mérite G/T :

Le G/T appelé facteur de mérite est lié aux performances de l'antenne de réception. G désigne le gain de cette antenne. T est la température du bruit après l'antenne. Ce bruit a pour contributions majeures:

Le bruit pénétrant dans l'antenne de l'extérieur (sol, ciel, soleil...)

Le bruit des équipements de réception ramenés à l'entrée de récepteur.

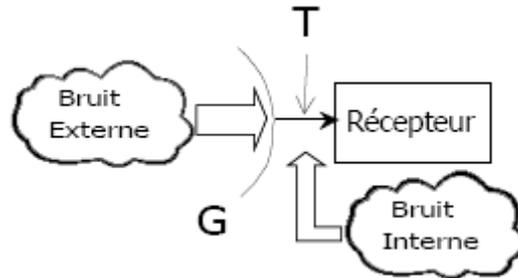


Figure 3.5 : l'emplacement du gain et la température de bruit.

Retenons ici l'expression logarithmique du facteur de mérite :

$$G/T_{dB/K} = 10 \log (G/T) \quad (16)$$

### 1.7 .Capacité de transmission :

En 1948 Shannon a démontré un théorème prouvant que l'on pouvait transmettre des données à un débit  $R_b$  (bits/sec) sur un canal de taille  $W$  (Hz) avec un taux d'erreurs aussi faible que l'on désire à condition de ne pas dépasser la capacité  $C$  (bits/sec) du canal, Cette capacité s'écrit :

$$C = W \log_2 (1+S/B) \quad (17)$$

Le rapport  $S/B$  représente le rapport signal sur bruit, en général on préfère utiliser directement le rapport  $E_b/N_0$  en plus si on transmet à un débit  $R_b$  égal à la capacité  $C$ , la puissance du signal utile.

$$P_s \text{ s'écrit : } P_s = R_b \cdot E_b = C \cdot E_b \quad (18)$$

$$\text{La puissance de bruit } P_b \text{ dans la bande } W \text{ s'écrit : } P_b = N_0 \cdot W \quad (19)$$

$$\text{Le rapport signal sur bruit devient donc : } S/B = C \cdot E_b / N_0 \cdot W \quad (20)$$

La formule de la capacité de Shannon devient alors :

$$C = W \log_2 (1+ C \cdot E_b / N_0 \cdot W) \text{ bits/sec.Hz.} \quad (21)$$

### 1.8 .Origine du Bruit

Le bruit d'une liaison radioélectrique a plusieurs origines :

- ✚ **Le bruit thermique** : c'est la résultante d'une part du bruit qui s'introduit par l'antenne de réception en raison du rayonnement naturel des objets se trouvant dans son champ d'action, d'autre part du bruit du récepteur. Le bruit thermique est défini par sa densité mono latérale de puissance :

$$N_0 = kT \text{ Watts/Hz} \quad (22)$$

Avec **k** : constante de Boltzmann :  $k = 1,38.10^{-23} \text{ JK}^{-1}$       **T** : température de bruit en Kelvin.



**Le bruit de brouillage** : il s'agit de la puissance de porteuses non désirées dans la bande de la porteuse utile. Elle résulte du brouillage externe, produit par des liaisons appartenant à d'autres systèmes de télécommunications opérant dans la bande de la porteuse utile, et du brouillage interne, causé par des porteuses de fréquence voisine de celle de la porteuse utile, et par la réutilisation de fréquence entre porteuses.



**Le bruit d'intermodulation** : il s'agit de la puissance générée dans la bande de porteuse utile par les produits d'intermodulation. Les produits d'intermodulation résultent de l'amplification simultanée de plusieurs porteuses utiles par un amplificateur non linéaire.

### 1.9 .Autres handicaps

#### 1.9.1 .Perturbations ionosphériques:

La traversée de l'ionosphère peut provoquer des affaiblissements dont l'origine est multiple: erreur de pointage due à la réfraction, effet de rotation du plan de polarisation des ondes...

La réfraction des ondes électromagnétiques due à l'ionosphère provoque un décalage entre la trajectoire apparente des ondes et leur trajectoire réelle. Ce décalage est d'autant plus important que la fréquence est basse (<1GHz). Cela pose des problèmes de fiabilité et de pointage des antennes.

Pour cette raison on travaille à fréquence plus élevée (>1GHz).

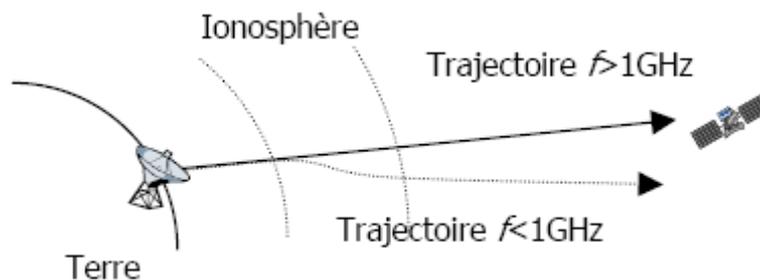


Figure 3.6 : réfraction de l'onde électromagnétique.

1.9.2 .Pertes troposphériques :

Les couches basse de l'atmosphère (troposphère) peuvent présenter des variations importantes de concentration en molécules d'eau (pluie, neige, brouillard...) ou des éléments divers qui atténuent la puissance des ondes. Ces phénomènes météorologiques sont responsables, de même que les éléments chimiques présents dans la composition de l'atmosphère, qui absorbent plus spécifiquement certaines fréquences.

✚ Oxygène (O<sub>2</sub>) et eau (H<sub>2</sub>O) :

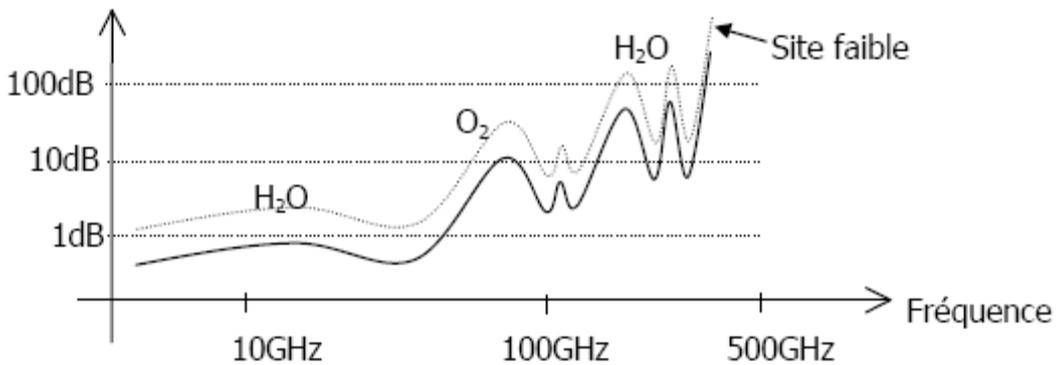


Figure 3.7 : atténuation due à l'oxygène et de l'eau en fonction de la fréquence.

Au delà de 50GHz, l'atténuation devient très importante et rend la liaison satellite plus difficile.

Pluit :

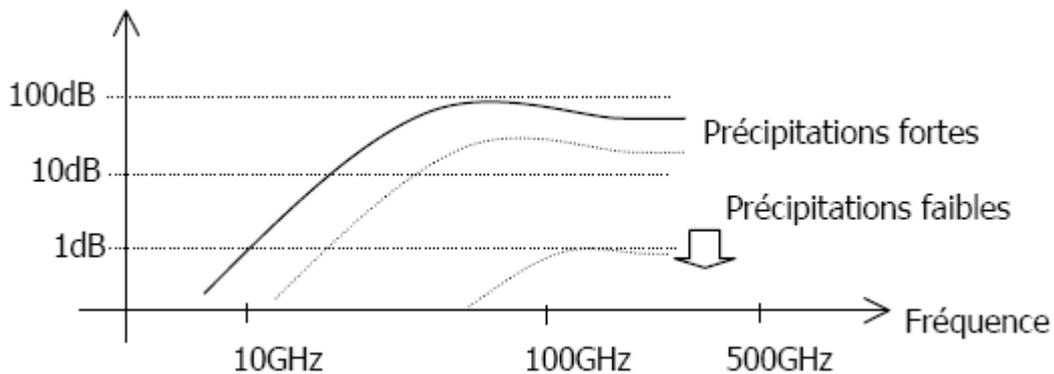


Figure 3.8 : atténuation due à la pluie en fonction de la fréquence.

Plus les précipitations sont fortes, plus l'atténuation est importante dans toute la bande de fréquence.

Les fréquences les plus élevées sont les plus sensibles. En présence de pluie ou de nuage (plus ou moins denses) la liaison est donc dégradée.

#### ✚ Neige et glace :

Il n'y a pas ou peu de problèmes d'atténuations atmosphériques provoquées par ces météores; en revanche, il existe des contraintes mécaniques au niveau de la parabole avec l'alourdissement dû au givre et au gel.

#### ✚ Sables et poussière :

L'atténuation est inférieure à 1dB. Comme précédemment, les contraintes sont essentiellement mécaniques, notamment en présence de vent fort qui peut déséquilibrer l'installation.

#### ✚ Site faible :

L'inclinaison trop faible provoque une perte importante, due à la couche d'atmosphère traversée qui est alors plus épaisse. La courbe d'atténuation atmosphérique due à l'eau et à l'oxygène a tendance à se translater vers le haut quand l'angle de site diminue (voir schéma précédent). De plus, il existe des risques de diriger des lobes secondaires vers le sol et de faire entrer du bruit de sol dans le récepteur.

#### ✚ Dépointage :

Le satellite géostationnaire n'est jamais rigoureusement immobile mais présente un mouvement de variation autour de sa position nominale. La conséquence est que les antennes ne sont jamais exactement alignées ce qui provoque un affaiblissement de l'ordre de 1 dB et un risque d'augmentation du Bruit. Des systèmes de poursuite des antennes de grand diamètre au sol sont nécessaires pour limiter ces pertes.

### 1.10 .Qualité de la liaison montante et la liaison descendante :

Les performances de la liaison est évaluée comme le rapport de la puissance de la porteuse reçue  $C$ , sur la puissance du bruit de la densité spectrale  $N_0$ .

$C/N$  : représente la puissance de la porteuse sur la puissance du bruit.

$C/N = (C/N_0)(1/B_N)$  ou  $B_N$  est le bruit de la band passante du receptr.

$$C/N_0 = (PIRE)(1/L_S)(G_R/T)(1/K) \quad (Hz)$$

(23)

$C/N_0$  : peut aussi etre exprimée en fonction de la densité de puissance  $\Phi$

$$C/N_0 = \Phi (\lambda^2/4\pi) (G_R/T)(1/K) \quad (Hz) \quad (24)$$

$$\Phi = PIRE/4\pi R^2 \quad (W/m^2) \quad (25)$$

$R$  : distance entre la station terrienne et le satellite.

1.10.1 .Qualité de la Liaison montante

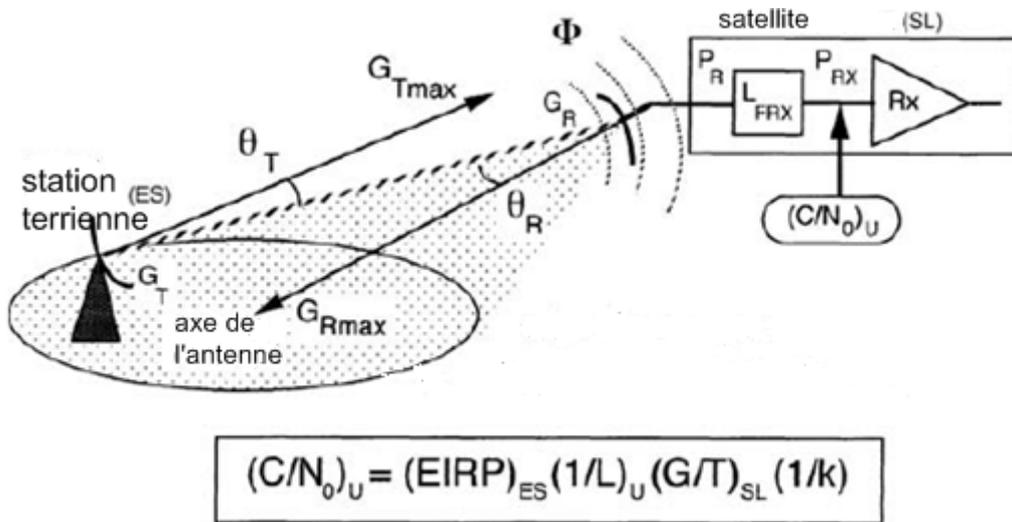


Figure 3.9 : la géométrie d'une liaison montante.

$\theta_T, \theta_R$  : L'erreur maximum de pointage.

$L_{FRX}$  : pertes de réception entre l'antenne et le récepteur.

$L = L_f L_a$  (en dB)

$L_f$  : perte en espace libre.

$L_a$  : atténuation atmosphérique.

$P_{RX}$  : puissance de réception de l'amplificateur.

1.10.2 .Qualité de Liaison descendante

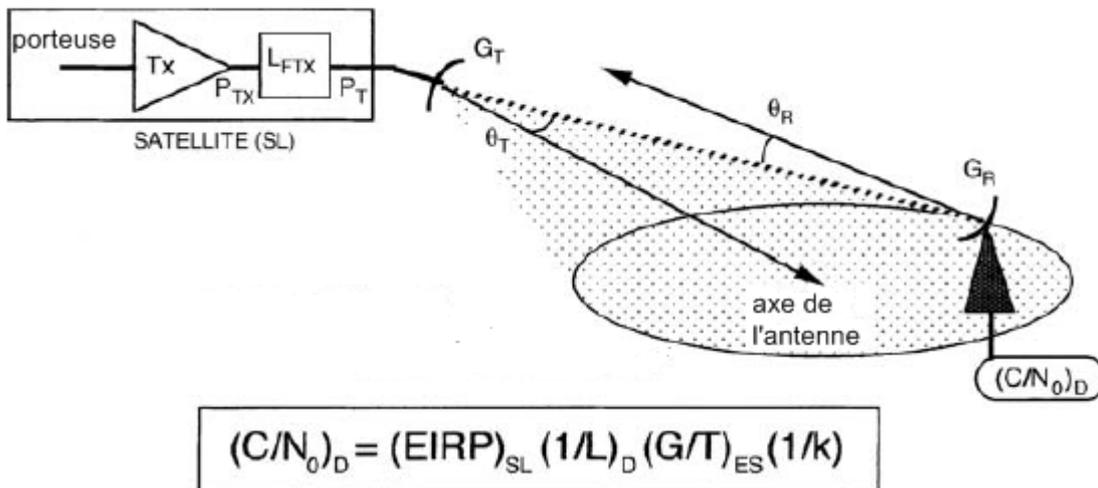


Figure 3.10 : la géométrie de la liaison descendante.

$L_{FTX}$  : pertes de transmission entre l'antenne et le récepteur.

$P_{TX}$  : puissance de transmission de l'amplificateur.

$K$  : constante de Boltzmann.

## 2. Conception de l'application :

### 2.1 Introduction :

Notre bute ici c'est de crée une application Windows graphique qui permet de calculer les paramètres du bilan de liaison entre deux stations terriennes et le satellite et pour cela on utilisant Microsoft Visual C# qui est un outil extrêmes puissant pour construire des applications pour la plateforme Windows qui est un environnement de programmation Visual Studio 2008 qui contient également tous ce que nous avons besoin pour créer des applications Windows graphiques. En fait il nous offre deux vues d'une application graphique : le point de vue design et la vue de code et nous pouvons basculer entre les deux points de vue quand nous le voulons.

### 2.2 Langage de programmation utilisé :

C# a été construit à partir de l'origine comme un langage OOP (Objet-Oriented Programming) cela signifie que nous ne pouvons pas crée un programme sans avoir construire des classes première et ayant des champs et les méthodes à l'intérieur de leurs classe. C# a été une évolution du C++, et résolu beaucoup de problèmes qui ont toujours fait face les programmeurs C++. Par exemple, il s'est débarrassé de pointeurs qui perdu du temps des programmeurs et des efforts pour résoudre les problèmes associes, tel que les fuites de mémoire. Il a également débarrassé de l'héritage de classe multiples, qui a causé plus de problèmes que d'avantages.

### 2.3 Présentation du logiciel :

#### 2.3.1 .Création d'une application :

Dans le menu fichier, pointez sur nouveau et puis cliquez sur projet, la boite de dialogue nouveau projet s'ouvre, cette boite de dialogue répertorie les modèles selon le langage de programmation que nous utilisons et le type d'application.

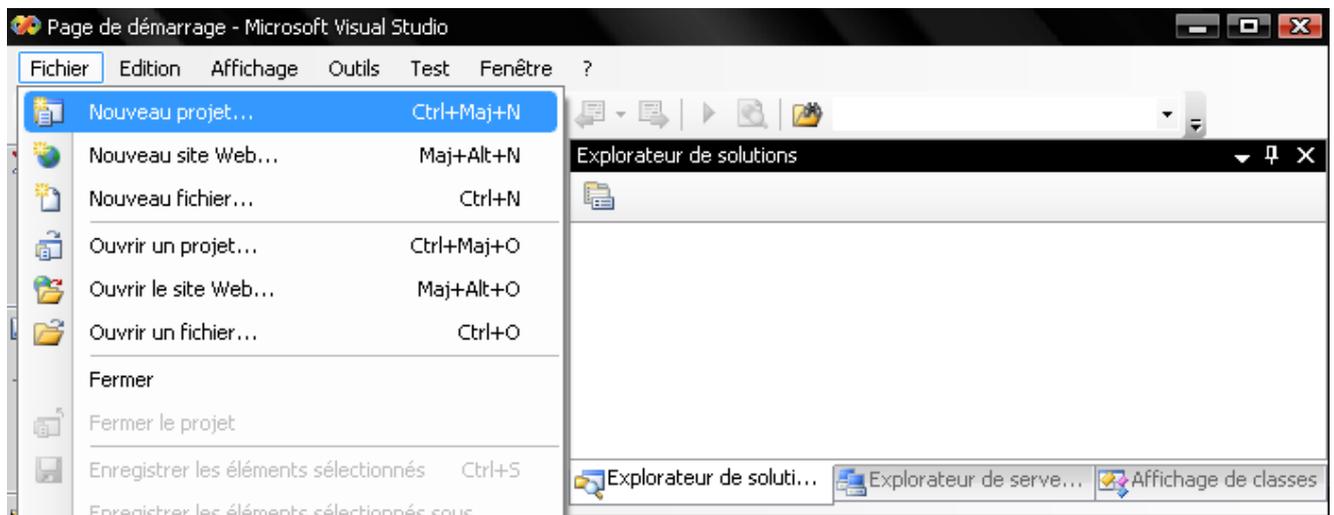


Figure 3.11 : création de nouveau projet.

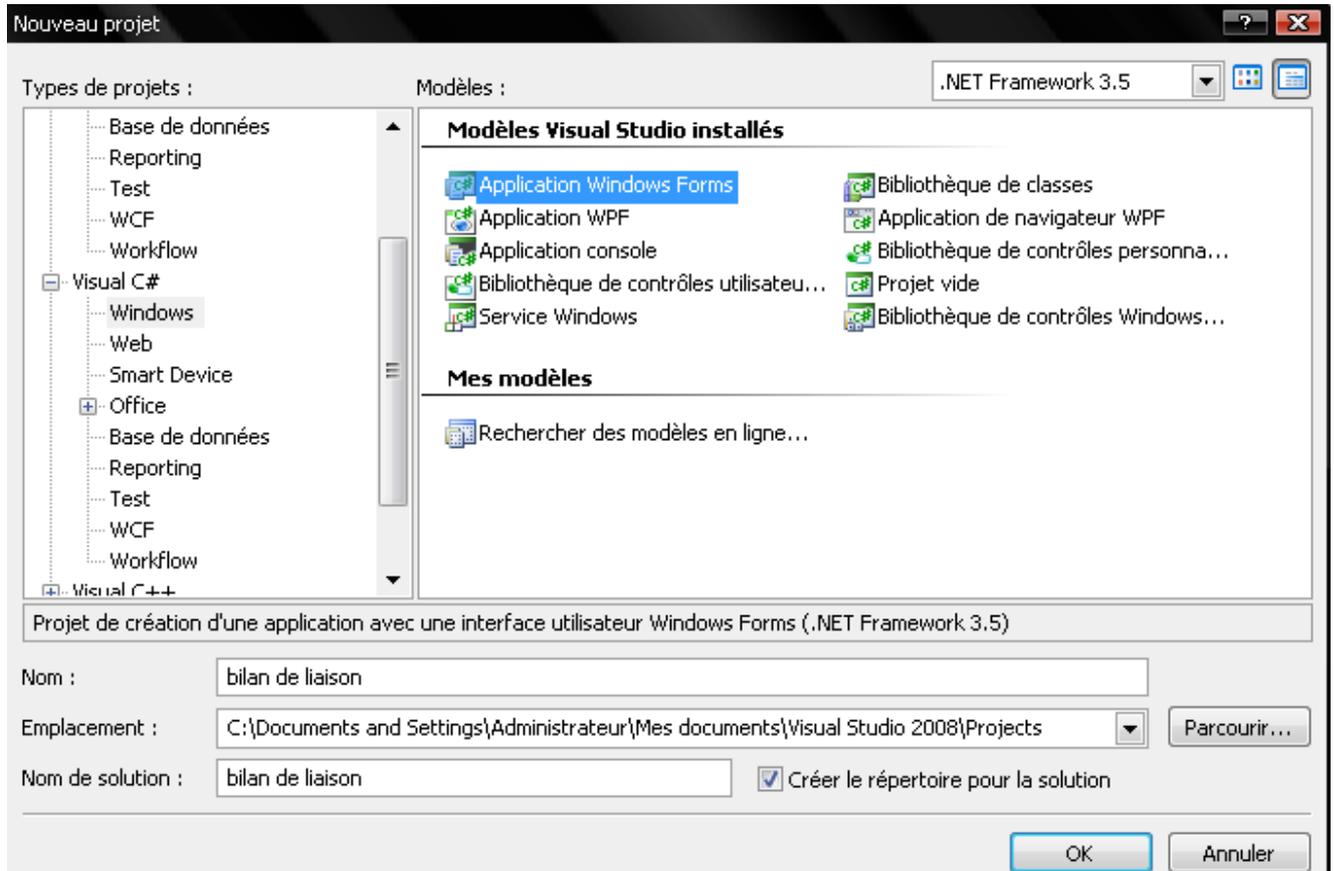


Figure 3.12 : choix du type d'application et le nom du projet.

La barre de menu en haut de l'écran permet d'accéder aux fonctions que nous utilisons dans l'environnement de programmation, la barre d'outils se trouve sous la barre de menu et propose des raccourcis bouton pour exécuter les commandes les plus fréquemment utilisés.

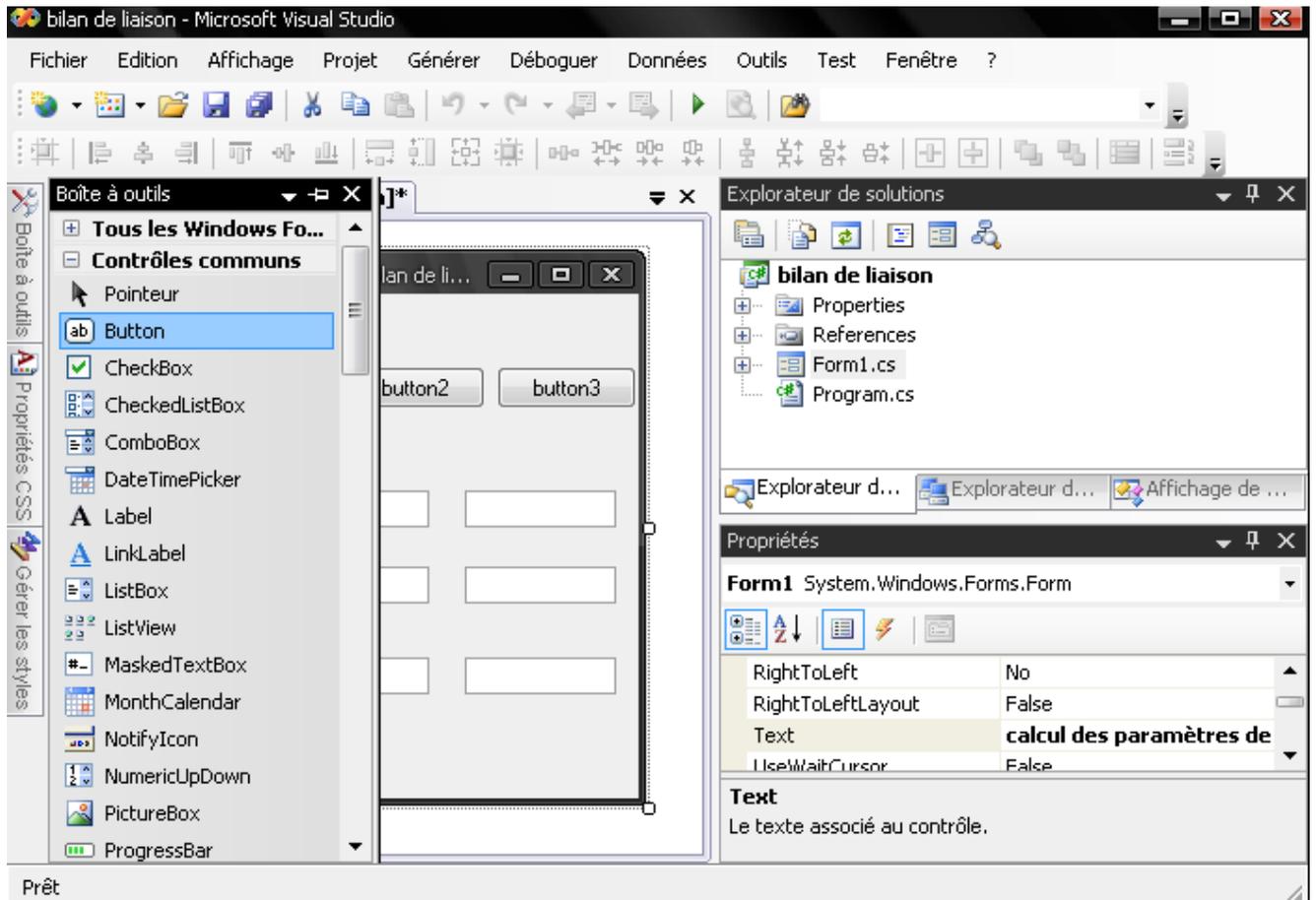


Figure 3.13 : illustration des différents champs du logiciel.

- **L'explorateur de solutions** : affiche les noms des fichiers associés au projet, nous pouvons aussi double cliquer sur un nom de fichier dans l'explorateur de solutions pour mettre ce fichier source à l'avant plan dans le code et la fenêtre de l'éditeur de texte.
- **Le champ propriétés** : nous pouvons utiliser ce champ pour rajouter des attributs à un programme, telles que le nom de l'auteur, la date de création du programme, et ainsi de suite.
- **Le champ références** : c'est un dossier qui contient des références à du code compilé que notre application peut utiliser.
- **Programm.cs** : ceci est le fichier source de C# c'est ici que nous allons écrire notre code pour l'application, il contient également un code que Visual Studio fournit automatiquement.
- **Form1.cs** : représente le design de l'application en même temps on peut accéder au code de chaque outil, il suffit de double cliquer sur l'outil pour y accéder.

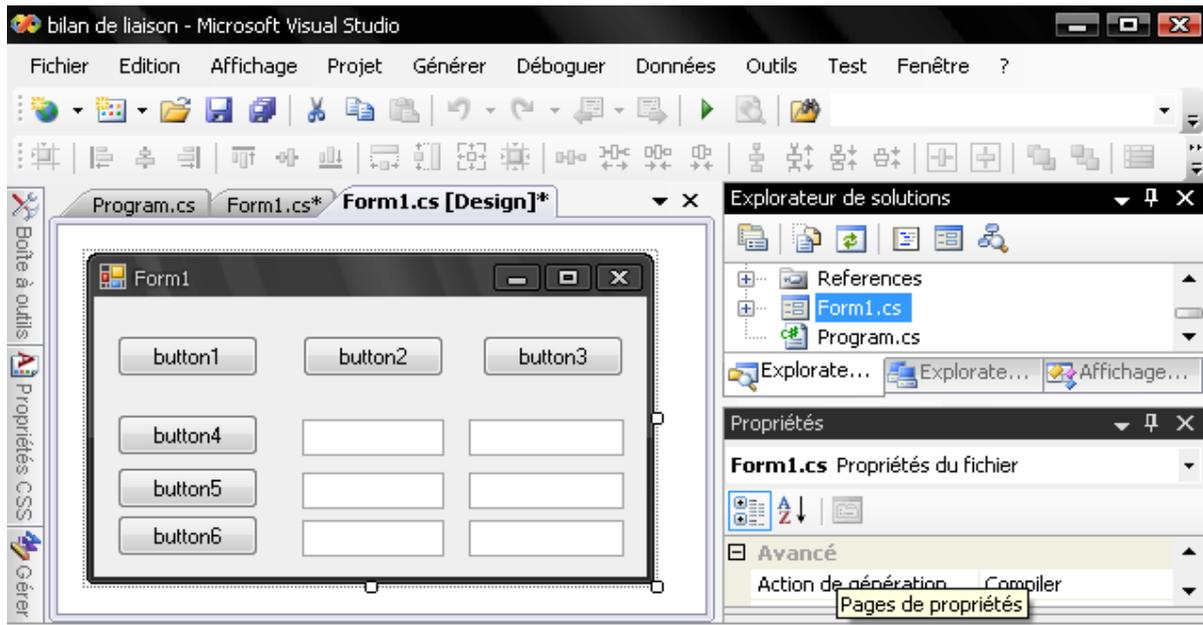


Figure 3.14 : la conception d'un désigne d'une application.

### 2.4 .Présentation de notre application :

Notre application est devisé en deux parties, les champs des variables et une partie qui contiennent les champs des résultats, il suffit de remplir tous les champs des variables de chaque station ainsi du satellite ensuite à l'aide du bouton calculer on peut avoir tous nos résultat.



Figure 3.15 : page de l'application.

### 3. Discussions

Dans ce chapitre nous avons représenté quelques paramètres d'un bilan de liaison entre deux stations terriennes et un satellite. Nous avons commencé par présenter quelques formules qui nous permettent de calculer ces paramètres, comme le gain d'antenne et la qualité de transmission. Ensuite nous avons essayé de représenter toutes ces équations en les introduisant dans une application graphique en utilisant un langage de programmation c# (sharp) que nous avons présenté dans ce chapitre et à la fin nous avons présenté notre application qui nous facilite la tâche de calculs pour les utilisateurs.

## 1. Introduction :

Pour des configurations de liaisons de données l'on dispose à l'alternat d'une voie de retour, Les performances en débit chutent rapidement lorsque le canal devient médiocre en termes de rapport S/B ou varie rapidement dans le temps. Une combinaison de la procédure de répétition avec des codes correcteurs pour former des systèmes hybrides les complète avantageusement dans les cas limites.

### 1.1.Stratégies FEC

La correction d'erreur directe (FEC) est le sous-système fondamental pour obtenir d'excellentes performances par satellite, avec des niveaux de bruit et de brouillage particulièrement élevés. Deux différents Algorithmes de Forward-Error-Correction (FEC) assure la protection contre des erreurs de bruit et par trajets multiples erreurs. Le premier algorithme de FEC s'appelle Viterbi. Le deuxième algorithme de FEC s'appelle Reed-Solomon.

- L'algorithme de FEC Viterbi peut être configuré pour différents niveaux de correction d'erreurs, avec un taux de codage qui peut être 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 et 7/8.

Le premier nombre ("1" dans le cas de configuration 1/2) est le nombre de bites d'entrée. Le deuxième nombre ("2" dans le cas de configuration 1/2) est le nombre de bites de sortie de l'algorithme FEC viterbi. C'est... pour chaque bite entrant dans le moteur de FEC, deux bits sortent. Par exemple, un algorithme de FEC veterbi 3/4, gonflerait le flux de données par 33%.

- L'algorithme de FEC Reed-Solomon a une configuration fixe. Son flux de données " taux d'inflation " est 188/204. Ainsi pour chaque 188 bits entrant dans l'algorithme de FEC Reed-Solomon, 204 bits sortent d'une inflation additionnelle de FEC de 8,5%.

### FEC, modulation et la gamme de débit.

Type de FEC	Modulation	Taux de codage	Gamme de débit
Viterbi	BPSK	1/2	32kbps - 5Mbs
Viterbi	QPSK	1/2	32kbps - 10Mbs
Viterbi	QPSK	3/4	32kbps - 15Mbs
Viterbi	QPSK	7/8	32kbps - 17,5Mbs
Viterbi+ RS (201/219)	BPSK	1/2	32kbps - 4,5Mbs
Viterbi+ RS (201/219)	QPSK	1/2	32kbps - 9,1Mbs
Viterbi+ RS (201/219)	QPSK	3/4	32kbps - 13,7Mbs
Viterbi+ RS (201/219)	QPSK	7/8	32kbps - 16Mbs
Viterbi+ RS (201/219)	16-QAM	3/4	352,4kbps - 20Mbs
Viterbi+ RS (201/219)	16-QAM	7/8	411,1kbps - 20Mbs

**Tableau 4.1 :** rapport entre le type de codage avec la modulation et le taux de codage.

### 1.1.1. Symboles de modulation numérique et le nombre de bits par Symboles

La technologie de modulation de Numérique BPSK, QPSK et 8PSK...ont la capacité de mettre plus d'information dans un spectre étroit de fréquence que la modulation analogue. La complexité de l'arrangement numérique de modulation, nous permet d'emballer plus de bits d'informations dans chaque SYMBOLE.

Le **tableau 4.2** énumère combien de bits d'informations peuvent être emballés dans un symbole pour plusieurs technologies numériques bien connues de modulation.

Types de modulations	Nombres de bites par symboles
<b>BPSK</b>	<b>1</b>
<b>QPSK</b>	<b>2</b>
<b>8PSK</b>	<b>3</b>
<b>16PSK</b>	<b>4</b>
<b>32PSK</b>	<b>8</b>

**Tableau 4.2** : nombre de bites pour différentes technologies de modulation numérique.

### 1.1.2. Comparaison entre BPSK, QPSK, 8PSK

Les différentes possibilités de modulation et de taux de codage sont données dans le **tableau 4.3** :

Modulation	Taux de codage
QPSK	1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10
8PSK	3/5, 2/3, 3/4, 5/6, 8/9 et 9/10
16APSK	2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 et 9/10
32APSK	3/4, 4/5, 5/6, 8/9 et 9/10

**Tableaux 4.3** : types de modulation et taux de codage.

En conséquence QPSK occupe 1/2 de la largeur de bande de BPSK, pour un débit binaire donné. BPSK est plus tolérant au bruit de phase et à l'interférence adjacente de canal que QPSK et typiquement utilisés quand la largeur de bande n'est pas une considération et dans un système de mode continu. Un porteur de référence de BPSK peut être récupéré jusqu'à cinq fois plus rapidement qu'un porteur de QPSK et exige moins d'énergie par bite pour une exécution équivalente de BER.

La plupart des opérateurs satellites permettent maintenant l'utilisation de 8PSK qui est rapide remplaçant QPSK comme index de modulation de choix. 8PSK emploie 1/3 de la largeur de bande que BPSK exigé cependant elle n'est pas aussi la phase-tolérante que QPSK et a un temps d'acquisition légèrement plus long. 8PSK une fois utilisé en association avec les codes modernes de FEC peut offrir l'exécution semblable aux techniques plus robustes de QPSK.

## 1.2. Stratégies ARQ :

Les stratégies de détection d'erreurs avec retransmission (ARQ) utilisent des codes permettant uniquement la détection d'erreurs. La retransmission en cas de détection d'erreurs nécessite l'utilisation de canaux bidirectionnels et implique un dialogue entre l'émetteur et le récepteur. Ce type de système est simple à mettre en œuvre. Par contre, le dialogue instauré entre les deux équipements de transmission ne permet pas de transmission à hauts débits surtout lorsque le nombre d'erreurs augmente. Les deux principales variantes des stratégies ARQ sont connues sous le nom d'ARQ avec arrêt et attente (Stop-and-wait ARQ) et ARQ continue (Continuous ARQ).

### 1.2.1. Systèmes ARQ avec arrêt et attente.

L'émetteur attend un accusé de réception après chaque bloc transmis. Si l'accusé est positif (ACK), il transmet le bloc suivant. Dans le cas contraire, lorsqu'il reçoit un accusé négatif (NACK), il retransmet le bloc courant. La retransmission se répète autant de fois que l'émetteur reçoit l'accusé de réception « NACK ». Ce type de système est adapté aux transmissions semi-duplex.

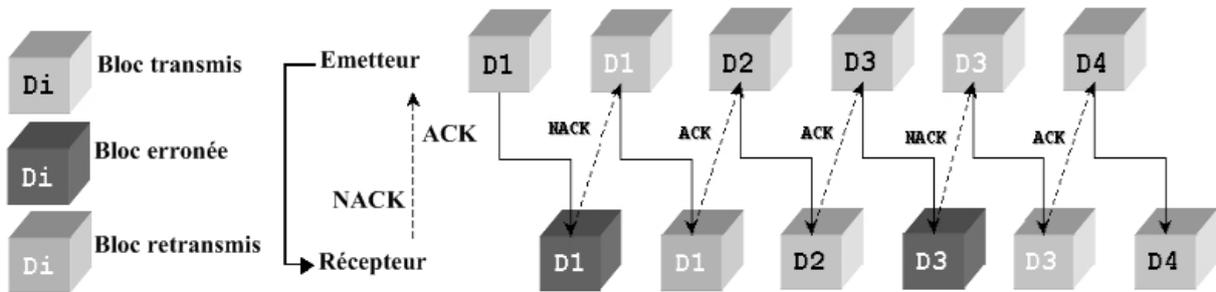


Figure 4.1: Stop-and-wait ARQ.

### 1.2.2. Systèmes « ARQ continue »

Cette approche est adaptée aux transmissions de type full-duplex. Dans un système ARQ continu, l'émetteur envoie les blocs d'information de façon continue et reçoit les accusés de réception au fur et à mesure. Dans le cas de la réception d'un « NACK » la retransmission s'effectue de deux façons :

- le bloc détecté comme erroné ainsi que tous les blocs qui le suivent sont retransmis ; dans ce cas, la technique est appelée « Go-back-N ARQ »,
- seul le bloc erroné est retransmis ; dans ce cas la technique est appelée « Selective-repeat ARQ ».

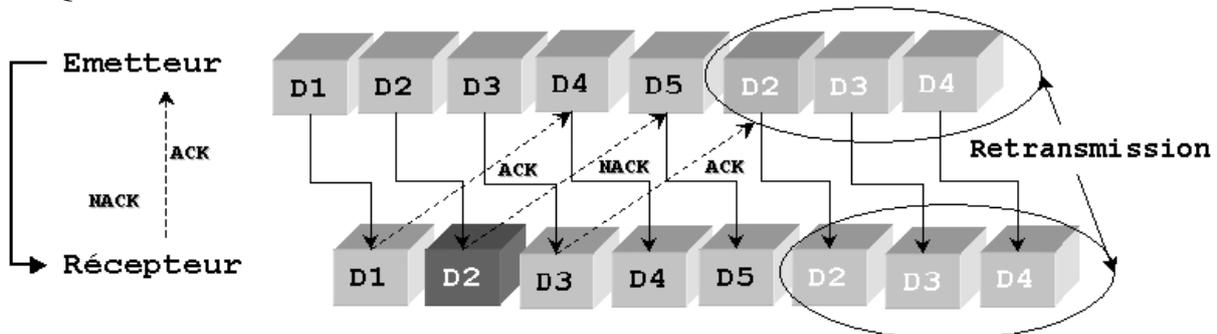


Figure 4.2: Go-back-N ARQ.

**Remarque :**

L'approche « Selective-repeat ARQ » est plus efficace que la technique « Go-back-N ARQ » mais elle est plus complexe à mettre en œuvre car le récepteur doit être capable de réordonner les blocs de manière cohérente.

**1.3. Stratégies hybride ARQ/FEC**

Les stratégies hybrides ARQ/FEC sont des systèmes intermédiaires. En effet, leur capacité de correction est supérieure aux stratégies FEC pures et leur débit de traitement supérieur aux stratégies ARQ. Dans le cas de systèmes ARQ en présence d'un canal très bruité, la retransmission des blocs erronés dégrade considérablement le débit. Une solution consiste à intégrer un code correcteur d'erreur dans le système permettant d'améliorer le débit tout en gardant la même capacité de correction. D'un autre point de vue, si le débit n'est pas un paramètre critique l'association de la retransmission à un système FEC permet d'améliorer les performances de décodage et même de réduire la complexité du décodeur.

**1.4. Comparaison des stratégies**

Le **tableau 4.4** présente un bref comparatif des systèmes dédiés au codage canal. A noter que le choix d'une technique dépend des caractéristiques du canal de transmission (capacité, largeur de bande, type de transmission, type d'erreur, etc.) et du cahier des charges imposé par l'application (débit, coût, complexité, tau de correction, latence, etc.).

Système	ARQ	FEC	Hybride
Avantages	réalisation simple système hautement fiable	débit constant haut débit	débit > ARQ complexité < FEC
Inconvénients	débit variable	décodage complexe	débit variable
Transmission	bidirectionnelle	unidirectionnelle	bidirectionnelle

**Tableau 4.4 :** Stratégies de codage.

**2. Description de la fonction « Double Talk Carrier in Carrier » :**

Afin d'optimiser la largeur de la bande passante d'un lien full-duplex satellitaire occupée au niveau du répéteur du satellite, une technologie innovatrice intitulée «Double Talk Carrier in Carrier » est née.

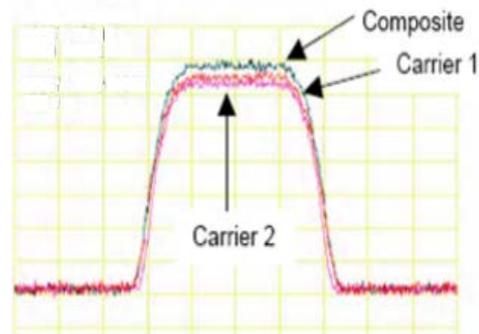
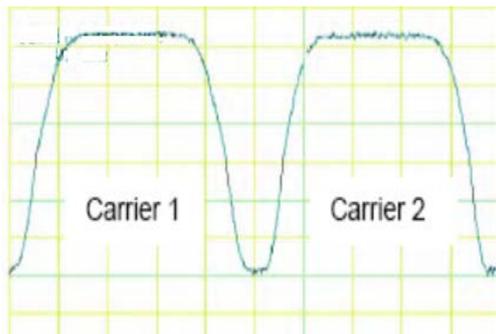
Cette technologie de compression de bande passante permet de fournir une amélioration significative de l'utilisation de la bande passante au-delà de ce qui est permis avec uniquement l'emploi des modulations et Codes Correcteurs d'Erreurs (FEC) utilisés à ce jour.

Ce nouveau procédé apporte une augmentation très insignifiante de la puissance totale utilisée au niveau du répéteur dans le cadre d'une transmission full-duplex satellitaire. Dans certains cas, en fonction du type de modulation et du type de FEC choisis, la puissance totale utile pour un lien full-duplex utilisant la fonction « Double Talk Carrier in Carrier » est inférieure à la puissance utilisée par un lien conventionnel paramétré avec le même type de modulation et le même FEC.

### 2.1. Fonctionnement du « Double Talk Carrier in Carrier » :

La technologie « Double Talk Carrier in Carrier » est conçue sur un algorithme de traitement du signal breveté mis au point par Applied Signal Technology qui autorise, en utilisant le procédé de suppression adaptative, le partage du même segment de bande passante du répéteur, à deux porteuses ayant les mêmes fréquences dans le cadre d'une transmission full-duplex.

La figure 4.3 montre le lien satellite duplex typique, où les deux porteuses sont à côté de l'un de l'autre.



**Figure 4.3 :** sans double Talk carrier in carrier. **Figure 4.4 :** avec double Talk carrier in carrier.

La figure 4.4 montre l'opération typique de Double Talk Carrier-in-Carrier, où les deux porteuses recouvrent, de ce fait partageant le même spectre.

Une fois observé au-dessus d'un analyseur de spectre, seulement le composé est évident. Le porteur 1 et le porteur 2 sont montrés sur la figure 4.4 pour la référence seulement.

Le répéteur réémet alors le signal composite (voir tracé de la courbe bleue sur la figure 4.4). La fonction « Double Talk Carrier in Carrier » sépare le signal initial (courbe rouge) du signal composite (courbe bleue) et le transmet au traitement suivant.

Pour procéder à l'extraction du signal désiré du signal composite, le procédé « Double Talk Carrier in Carrier » utilise les deux techniques suivantes :

- Evaluation du temps de retard des signaux entre l'aller et le retour.
- Annulation du signal non désiré.

### 2.2. Occupation spectrale et la réduction de puissance d'un lien full-duplex avec la fonction « Double Talk Carrier in Carrier » :

Avec la fonction « Double Talk Carrier in Carrier », la valeur de la largeur de la bande passante occupée au niveau du répéteur par le signal composite peut-être réduite de 50% et la puissance totale de transpondeur par environ 38% par rapport à un lien conventionnel.

L'exemple suivant illustre le procédé typique pour mettre en application Double Talk Carrier-in-Carrier dans un scénario puissance-limité, Le lien conventionnel emploie 8PSK avec un taux de codage 3/4 :

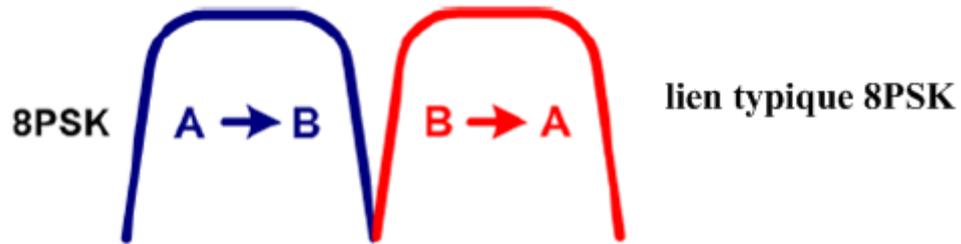


Figure 4.5 : signal conventionnel en modulation 8PSK.

Écartez le signal par le changement à une modulation d'ordre inférieure et/ou le code de FEC indiquent QPSK, avec un taux 7/8. Ceci augmente toute la largeur de bande de transpondeur, tout en réduisant toute la puissance de transpondeur:

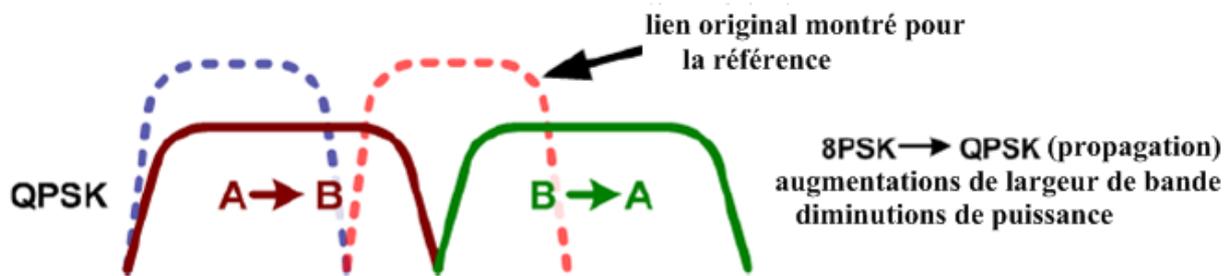


Figure 4.6 : signal modulé en QPSK avec un taux de codage 7/8.

Maintenant en utilisant Double Talk Carrier-in-Carrier, le deuxième QPSK, avec un taux de 7/8 peut être excédent déplacé le premier porteur – réduisant de ce fait toute la largeur de bande de transpondeur et toute la puissance de transpondeur une fois comparé à l'original côte à côte 8PSK.



Figure 4.7 : signal composé avec une réduction de spectre et de puissance.

La technologie du Double Talk Carrier-in-Carrier n'est pas limitée simplement à fournir l'épargne de segment de l'espace, elle permet l'optimisation multidimensionnelle de lien, permettant de ce fait des utilisateurs de communications par satellite:

- Réduisez les dépenses de fonctionnement d'exploitation (OPEX)
- Augmentez la sortie sans employer les ressources additionnelles de transpondeur.
- Augmentez la disponibilité sans employer les ressources additionnelles de transpondeur.
- Réduisez les dépenses capitales (CAPEX) en permettant un plus petits BUC/HPA et/ou antenne.

### 3. Discussions

Dans ce chapitre, nous avons décrit les différents sous-systèmes constituant les techniques d'optimisation comme nous l'avons constaté, les codes de Reed-Solomon, Viterbi, ARQ et aussi avec le taux de codage améliorent les performances du système d'environ 0,3dB par rapport à des codes convolutif classiques.

Cela nous a aussi conduit à la conclusion que la double talk carrier in carrier est une technologie suffisamment fiable bien qu'encore ouverte sur plus d'un aspect. C'est ce qui explique d'ailleurs son succès industriel. Néanmoins, elle n'est pas la seule sur le marché des réseaux.

## Conclusion générale

Les nouveaux usages des réseaux de télécommunications se traduisent par la volonté des utilisateurs d'être connectés partout, n'importe quand et à partir de n'importe quel terminal. Cela implique un besoin de convergence dans les réseaux de communication rendant homogène l'accès à des services et des réseaux hétérogènes, pour cela les systèmes de communications par satellites doivent relever ce défi, et ne nécessitant pas d'infrastructures terrestres lourdes et ayant une large couverture, le satellite est notamment considéré comme un élément important pour réduire la fracture numérique.

Nous avons alors représenté dans le premier chapitre les notions de base tel que l'architecture du système de télécommunication avec différents éléments de composition du satellite et notamment les techniques d'accès utilisées.

Dans le deuxième chapitre nous avons étudié le standard de diffusion numérique DVB et ces normes MPEG2 et MPEG2-TS, nous avons ajouté un lien retour pour un scénario de télévision interactive. Les principales problématiques sont résolues, en particulier l'évolution des différents adressages, de la signalisation ou des mécanismes de synchronisation. Et nous avons montré la simplicité de mise en œuvre de cette solution.

Ensuite dans le chapitre trois nous avons représenté quelques équations calculant les différents paramètres d'un bilan de liaison, pendant ce processus de développement, cette étude nous a donné l'occasion d'utiliser C Sharp comme langage de programmation, pour réaliser l'application graphique de calcul d'un bilan de liaison tout en respectant les normes pour une transmission de données fiable.

La dernière partie de notre travail repose sur les techniques d'optimisation, nous avons fait quelques stratégies de codage et la fonction de double talk carrier in carrier qui nous donnent l'avantage de réduire la largeur et la puissance de la bande passante utilisée.

Les perspectives dans le cadre de ce mémoire s'articulent tout d'abord sur l'optimisation et l'évaluation des mécanismes réseaux tels que l'allocation des ressources, en effet, il serait aisé de passer d'un service de télévision MPEG2 à une compression MPEG4 plus performante.

Avec cette conclusion, nous arrivons au terme de notre étude, nous espérons avoir répondu aux besoins et soucis des utilisateurs et que nous avons apporté une aide appréciable.

# Bibliographie

## Ouvrages

- **[Mar 09]** G.Maral, Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology. Ed. Wiley, 2009.
- **[Kol 05]** M. Kolawole, Satellite Communication Engineering, Ed. Marcel Dekker, 2005.
- **[Ael 01]** N.Adeline, Télécommunications par satellite, Ed. Eudil, 2001.
- **[Dag 02]** V. Daglia, Transmission de données par satellite, Ed. Chevilly, 2002.
- **[Elb 08]** B. Elbert, Introduction to Satellite Communication, 3<sup>eme</sup> Ed. ARTECH HOUSE, 2008.

## Mémoires

- **[Abd 11]** S. Abdelkader, Etude d'un réseau Vsat pour la communication Satellite de Tunisie TELECOM, mémoire de fin d'étude d'Université virtuelle de Tunis, 2011.
- **[Ame, Lou 07]** M. Amel, A. Loubna, CAO d'un bilan énergétique d'une liaison par satellite, mémoire de fin d'étude Université M'HAMED BOUGUERA Boumerdes, 2007.

## Thèses

- **[Alp 05]** O. Alphand, Architecture à qualité de service pour systèmes satellites DVB-S/RCS dans un contexte NGN, Mémoire de doctorat, INP de Toulouse, 2005.
- **[Dub 08]** E. Dubois, Convergence dans les réseaux satellite, Mémoire de doctorat, INP de Toulouse, 2008.
- **[Tao 09]** N. Tao, Etude des Performances et Optimisation d'un Réseau d'Accès par Satellite pour les Communications, INP de Toulouse, 2009.
- **[Nic 09]** A.Niculae, mécanismes d'optimisation multi-niveaux pour IP sur satellites de nouvelle génération. INP de Toulouse, 2009.
- **[Niz 08]** J, Nizar, Performances des applications IP dans les systèmes de communications par satellite : cas du DVB-RCS et du DVB-S2, Mémoire de doctorat, ICMS Université paris-Est, Marne-La-Vallée, 2008.

- **[Mat 10]** C. Mathieu, Codes AL-FEC hautes performances pour les canaux à effacements : variations autour des codes LDPC, Mémoire de doctorat, MSTI Université de Grenoble, 2010.
- **[Fas 04]** J. Fasson, Etude d'une architecture IP intégrant un lien satellite géostationnaire, Thèse pour le doctorat en Réseaux et Télécommunications de INP de Toulouse, 2004.

## Sites web

- [www.W6ZE.org/DATV/TechTalk74-DATV.pdf](http://www.W6ZE.org/DATV/TechTalk74-DATV.pdf)
- [www.satellite-calculations.com/Satellite/bitrates.htm](http://www.satellite-calculations.com/Satellite/bitrates.htm)
- [http://igm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2009/Les\\_Reseaux\\_Satellites/couche\\_physique.html](http://igm.univmlv.fr/~dr/XPOSE2009/Les_Reseaux_Satellites/couche_physique.html)
- [http://www.memoireonline.com/11/10/4105/m\\_Conception-et-realisation-dun-outil-daide-au-parametrage-des-antennes4.html](http://www.memoireonline.com/11/10/4105/m_Conception-et-realisation-dun-outil-daide-au-parametrage-des-antennes4.html)
- <http://www.satcoms.org.uk/satellite/satellite-link-budget-calculator.asp?title=satellite-link-budget-calculator>
- <http://mongosukulu.com/index.php/contenu/informatiqueetreseaux/telecommunication/s/738-systeme-satellitaire>
- <http://www.ats.dz/solution-vsatsat-dvb-rs.html>
- <http://fr.wikipedia.org/wiki/DVB-S2>
- <http://www.satellite-calculations.com/>

# Glossaire

**ACK** : Lorsqu'un message est transmis avec succès, le moteur de messagerie BizTalk publie un message d'accusé de réception (ACK).

**ACQ** : Acquisition.

**AMSS** : Services Mobiles Aéronautique par Satellite.

**ARQ** : requête automatique de répétition ou "Automatic Repeat reQuest".

**ATM** : Asynchronos Transfert Mode.

**BBFRAM** : Base Band Frame.

**BCH** : Bose-chaudhuri-Hochquenghens, est un type de codage externes concaténés permettent d'éviter les effets de seuil (d'erreur) dans le cas de faible taux d'erreur binaire (TEB).

**CAC** : Connection Admisssion Control.

**CDMA** : code Division Multiple Access. Mode d'accès multiple plus efficace que le TDMA, dans lequel deux ou plusieurs terminaux peuvent éventuellement utiliser.

**CAPEX** : (Capital Expenses) les dépenses d'investissement de capital (CAPEX), se réfèrent aux coûts de développement ou de fourniture des pièces non-consommables pour le produit ou le système, Par exemple, l'achat d'un photocopieur.

**CRC** : Cyclic Redundancy Check, c'est un type de codage pour la détection d'erreur.

**CSC**: Common Signalling Channel.

**DAMA**: Demand Assignment Mutiple Access.

**DF**: Data Field.

**DULM**: Data Unit Labelling Method.

**DVB** : Digital Video Broadcasting. Norme Européenne de diffusion numérique conçue pour la télévision.

**EIRP**: Effective Isotropically Radiated Power.

**ETSI** : Européen Télécommunications Standards Institut.

**FEC** : les codes "Forward Error Correction" (FEC) ajoutent de la redondance aux données sources afin de corriger à posteriori les erreurs apparues durant la transmission.

**FDMA**: Frequency Division Multiple Access.

**G/T:** Aussi appelé facteur de mérite. Rapport électronique entre le gain et la température de bruit d'un système de réception. Plus le chiffre est élevé, meilleur est le rendement du système.

**Gain :** dans le Domaine du satellite, rapport exprimé en décibels, caractérisant l'amplification d'un signal, donnée par une antenne, en puissance, en intensité, ou en tension, par rapport à la valeur d'entrée.

**GEO :** Geostationary Earth Orbit. Orbite géostationnaire, située sur le plan équatorial à 36.000 Km de la terre.

**HF :** Haut fréquence, la bande de radiofréquence qui s'étend de 3 à 30 MHz (longueur d'onde de 100 à 10 m). Cette bande de fréquences chevauche la bande des ondes courtes, qui elle s'étend de 2,310 mhz à 25,820 MHz.

**HUB :** Station satellite centrale, située au cœur du réseau d'un opérateur VSAT. Se compose de l'étage RF (Antennes, convertisseur de fréquences, amplificateurs) et de l'étage en bande de base (modulateurs, outils informatiques de gestion du trafic, interfaces aux réseaux publics, internet et téléphoniques).

**IDU :** Indoor Unit. Equipement interne.

**LDPC:** Low-Density Parity-Check.

**LEO :** Low Earth Orbit. Se dit des satellites placés en orbite basse (500 à 1.500 Km).

**LNA :** Low Noise Amplifier. Cette expression anglaise désigne un circuit électronique, réalisant l'amplification du signal provenant du satellite, via l'antenne parabolique et la source.

**LNB :** Low Block Downconverter. Les hautes fréquences d'émission du satellite (exprimées en GHz) ne sont pas aptes à être reçues directement par le tuner d'un récepteur satellite. Elles doivent être converties en Mhz : c'est le rôle de LNB (convertisseur à faible bruit), qui doit convertir la fréquence reçue et l'amplifier.

**MEO :** Medium Earth Orbit. Se dit de satellites identiques aux LEOs, mais placés sur une orbite comprise entre **5.000** et **12.000** Km.

**MPEG2-TS:** Moving Picture Experts Group2- Transport Stream.

**NACK:** Messages d'accusé de réception négatif générés pour les transmissions échouées.

**NCC:** Network Control Center.

**NMNC:** Mission and Network Management Center.

**ODU :** OutDoor Unit : équipement externe.

**OPEX** : (Operating Expenses) Les dépenses d'exploitation (souvent abrégées en OPEX) sont les coûts courants pour exploiter un produit, Parmi les OPEX, l'entreprise distingue les OPEX dits «contrôlables » des OPEX sur lesquels le gestionnaire du réseau n'a aucun contrôle. Les OPEX contrôlables correspondent aux "running costs of business" et incluent : les charges salariales, les coûts des matériaux et des sous-traitants, les dépenses d'études, les coûts de calcul, les frais de communication, les frais d'assurance ainsi qu'une allocation des frais généraux.

**PABX** : Private Automatic Branch Exchange.

**PAMA** : Pre-Assigned Multiple Access.

**PES** : Packet Elementary Stream.

**PID** : Packet Identifier.

**PIRE** : Puissance isotrope rayonnée effective. EIRP en anglais (Effective Isotropic Radiated Power).valeur relative à la puissance de l'émission satellite reçue au sol. Elle résulte à la fois de la puissance de l'émetteur et du gain de l'antenne d'émission. La pire s'exprime en dBW (décibel/Watts). Plus la valeur en dBW est élevée, plus la réception est simplifiée.

**PSI/SI** : tables de signalisation et de contrôle pour assurer le fonctionnement du système.

**QPSK** : Abréviation de l'expression anglaise Quadrature Phase Shift Keying. Modulation de phase a quatre états utilisée pour les transmissions par satellite en numérique.

**RCST** : (Return Chanel Satellite Terminal).

**Retour (Upload, Uplink)** : c'est la voie qui achemine le trafic depuis les terminaux vers le Hub satellite. Ce flux comporte principalement les requêtes adressées aux serveurs Web ainsi que les mails et attachements envoyés vers d'autres adresses du réseau.

**RL**: Return Link.

**SAC**: Satellite Access Control.

**SNACP**: Sub Network Access Convergence.

**SNICP**: Sub Network Independant Convergence protocol.

**ST** : Station Terrienne.

**SYNC** : Synchronisation.

**TDMA**: Time Division Multiple Access.

**TEB**: Taux d'Erreur Binaires.

**TRF:** Trafic.

**TTC:** Tracking Telemetry and command.

**UDP:** User Datagram Protocol.

**UHF:** Ultra haute fréquence (Ultra high frequency en anglais) la bande de radiofréquences comprise entre 300 et 3 GHz (longueur d'onde de 1m à 10 cm).

**VHF:** très haute fréquence (ultra high frequency en anglais) la bande de radiofréquences comprise entre 30 et 300MHz (longueur d'onde de 10 à 1 m).

**VOIP :** Voice Over IP.

**VSAT :** Acronyme pour (very Small Aperture Terminal), terminal à très petite ouverture. Qualifie les technologies et équipements en particulier le terminal et son antenne, qui participent à l'établissement de liaisons satellites en réseau. La notion d'ouverture qualifie la largeur du faisceau radio mis en œuvre par l'antenne parabolique. L'antenne elle-même peut être de grande taille, jusqu'à 3m80.