

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU

Faculté de Génie Électrique et D'informatique

Département d 'électronique



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en Electronique

Option : Réseaux et Télécommunication

Thème

**L'impact des phénomènes météorologiques sur une liaison
satellite : cas d'une liaison DVB-s**

Proposé et dirigé par :

Mr: TAHANOUT Mohammed

Réalisé par :

Mr: KASSOURI Malek

Mr: ACHROUF Sid Ali

Promotion 2012-2013

Remerciements

Nous remercions Dieu tout puissant, pour nous avoir donné le courage et la force pour terminer ce travail.

Nous tenons à remercier toute personne ayant participé de loin ou de près, pour réaliser le présent travail. En particulier notre encadreur Monsieur Mohammed Tahanout qui nous a bien orienté par ses conseils objectifs.

Nous tenons aussi à présenter nos remerciements et notre gratitude à tous nos enseignants de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, qui nous ont toujours enrichis de leurs savoirs.

Sommaire

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : GENERALITES SUR LES SYSTEMES DE TELECOMMUNICATION PAR SATELLITE

Introduction :	3
I.1. Présentation générale d'un système de télécommunication par satellite :	3
I.1.1.Le satellite :	3
I.1.2.Principe d'une liaison satellitaire :	3
I.1.3.Caractéristiques d'un lien satellite:	4
I.1.3.1. Les orbites :	4
I.1.3.2. Les bandes de fréquences :	5
I.1.3.3. Satellites transparent et régénératif:	6
I.1.4.Les services de communication par satellite :	7
I.1.4.1. Diffusion de la radio et de la télévision :	7
I.1.4.2. La téléphonie :	7
I.1.4.3. Accès large bande et services multimédias :	8
I.1.5.Les méthodes d'accès:	8
I.1.5.1. FDMA :	9
I.1.5.2. TDMA :	9
I.1.5.3. CDMA :	10
I.1.5.4. MF-TDMA :	10
I.1.6.Différentes zones relatives à la transmission par satellite :	10
I.1.6.1. Zone de visibilité:	11
I.1.6.2. Zone de couverture :	11
I.1.6.3. Zone à servir :	11

I.2. Les réseaux DVB :	11
I.2.1. Introduction au VSAT :	11
I.2.3. Réseaux satellite :	12
I.2.3.1. Les configurations de réseaux satellitaires :	12
I.2.3.1.1. Réseau en étoile :	13
I.2.3.1.2. Réseau maillé	13
I.3. Les standards DVB	14
I.3.1. La normalisation:	14
I.3.2. Le standard MPEG 2:.....	15
I.3.3. La norme DVB-S :	16
I.3.3.1. La pile protocolaire DVB-S :	16
I.3.3.2. Chaîne de transmission DVB-S :	17
I.3.4. La norme DVB-S2:	18
I.3.5. La norme DVB-RCS : voie retour sur satellite :	20
Conclusion :	20

Chapitre II: L’AFFAIBLISSEMENT UNE LIAISON SATELLITE

Introduction :	21
II.1. Généralité sur la propagation électromagnétique :	21
II.1.1. La propagation en visibilité :	21
II.1.2. La propagation en non visibilité :	22
II.1.3. Propagation en espace libre :	22
II.1.3.1. Propriétés générales des ondes planes :	22
II.1.4. Généralités sur les antennes :	23
II.1.4.1. Gain d’une antenne:	24
I.1.4.2.Diagramme de rayonnement d’une antenne :	24
II.1.4.3. Polarisation d’une antenne:	25

II.1.4.4. Directivité d'une antenne :	26
II.1.4.5. Aire équivalente d'une antenne :	26
II.1.4.6. Température de bruit d'une antenne :	27
II.1.5. Equation de Friis :	27
II.2. Affaiblissement d'une liaison satellite :	28
II.2.1. Milieux de propagation :	29
II.2.1.1 Atmosphère inférieure:	29
II.2.1.2. Atmosphère moyenne :	30
II.2.1.3. Atmosphère supérieure :	30
II.3. Affaiblissement due a l'absorption par les constituants du milieu :	31
II.4. Affaiblissement due aux phénomènes météorologiques :	32
II.4.1. Tempêtes de sable et de poussière :	33
II.4.2. Neiges et glace :	33
II.4.3. Brouillard et nuages :	34
II.4.4. Pluie :	34
Conclusion :	37

Chapitre III : MANEPULATION, CONCEPTION ET MESURES

Introduction :	38
III.1.Elaboration d'une liaison descendante de la norme DVB-s :	38
III.1.1. Présentation d'une liaison descendante de la norme DVB-s :	38
III.1.2. Présentation de quelques éléments du système de réception :	38
III.1.2.1. L'antenne parabolique :	38
III.1.2.2.La tête de réception (LNB):	39
III.1.2.3.Démodulateur :	40
III.1.3.Description du système de réception DVB-s expérimenté:	40
III.1.4.Installation et Configuration de système de réception :	41

III.1.4.1. Positionnement de l'antenne :	41
III.1.4.2. Calcul de l'orientation :	42
III.1.4.3. Calcul de l'orientation dans notre liaison :	43
III.2. Conception du coupleur directionnel -10dB :	43
III.2.1. Principe d'un coupleur directionnel en micro ruban :	43
III.2.2. Dimensionnement du coupleur :	44
III.2.3. Réponse fréquentielle du coupleur :	46
III.3 Mesure de l'affaiblissement dû aux phénomènes météorologiques :	47
III.3.1. Principe de mesure :	47
III.3.2. La méthode de mesure des atténuations:	47
III.3.3. Discussion des résultats obtenus :	48
Conclusion :	51
Conclusion Générale:	52
Glossaire	
Bibliographie	

Dans les années soixante, la majorité des communications entre des points très éloignés (par exemple entre l'Europe et l'Amérique) utilisait les câbles sous-marins (Transatlantiques) de nature coaxiale. Les satellites, provisoirement, sont venus enterrer l'usage de ces câbles, pour un moment, jusqu'à l'apparition, à la fin des années quatre-vingts, des premières fibres optiques de fortes capacités qui vont redonner aux câbles sous-marins un second souffle et, provisoirement, réduire le rôle des satellites. L'avènement, plus tard, des constellations satellitaires de larges bandes passantes, pour la téléphonie et le multimédia, a réduit considérablement les boucles locales téléphoniques en fils de cuivre et a augmenté le nombre d'abonnés.

Le satellite présente aujourd'hui seulement 10% des trafics de télécoms contre 90% pour le câble. Ce déséquilibre peu encourageant ne doit pas faire perdre de vue que les applications des deux techniques (radios et filaire) ne fournissent ni les mêmes avantages ni les mêmes services : ils seront appelés à coexister aujourd'hui et dans le futur.

Outre les télécommunications, l'usage de satellite peut être très varié citons entre autre : l'observation de la Terre, La météorologie, La mesure (pollution, température, ozone...), la photographie (optique ou radar), l'observation astronomique, l'expérimentation en physique et en biologie, l'armement, le positionnement (GPS, GLONASS, Galileo...), l'espionnage, etc. Parmi toutes ces applications, signalons néanmoins que sur le plan économique les applications en matière de télécommunications sont celles dont les enjeux financiers sont les plus importants. L'évolution des systèmes de télécommunication, pousse à utiliser des fréquences de plus en plus élevées. La bande Ka (20-30 GHz) suscite un grand intérêt auprès des différents opérateurs de télécommunication par satellite. A plus long terme, l'utilisation de la bande Q/V (40-50 GHz) est également envisagée. A ces fréquences, l'atmosphère est à l'origine de la dégradation des bilans de liaisons des systèmes de télécommunication par satellites.

Ainsi notre projet s'inscrit dans le domaine de télécommunication, qui aborde le problème de la diffusion des ondes électromagnétiques dans l'atmosphère pour une liaison satellite, en prenant en considération que le signal envoyé par l'émetteur est atténué par les phénomènes se produisant dans l'atmosphère, surtout dans la basse atmosphère. La fraction arrivant au récepteur est réduite, malgré les gains des antennes et des amplificateurs. Le signal est donc dégradé. Pour mettre en évidence ces atténuations nous proposons cette étude avec une partie expérimentale utilisant une liaison satellitaire travaillant dans la bande Ku.

Notre travail est reparti essentiellement en trois chapitres. Nous avons consacré le premier chapitre aux généralités sur les systèmes de télécommunication par satellite en s'intéressant aux réseaux DVB (Digital Video Broadcasting). Le deuxième chapitre est consacré pour une étude théorique sur l'affaiblissement du signal par les phénomènes météorologiques dans une liaison satellite. Quant au dernier chapitre, il est réservé à la pratique dans lequel nous avons développé une méthode de mesure des atténuations dues aux perturbations météorologiques sur une liaison DVB-s et nous avons procédé à une acquisition de données de mesure de l'atténuation.

Introduction :

Un réseau de télécommunication par satellite se compose d'un satellite et d'un ensemble de stations terriennes. De nos jours, il se présente des configurations avec plusieurs satellites reliés entre eux par des liaisons inter-satellites.

I.1. Présentation générale d'un système de télécommunication par satellite :

I.1.1.Le satellite :

Le satellite est la partie centrale du réseau. Au début, des années 60, les satellites n'étaient qu'un objet purement passif. Il avait pour rôle de réfléchir l'énergie reçue.

Le satellite est maintenant toujours de types actifs : il se comporte comme un véritable relais dans le ciel. Il est constitué d'un véhicule sur lequel sont installés les équipements de télécommunications et les antennes tels que : l'alimentation en énergie, le contrôle d'altitude, le contrôle d'orbite, le contrôle thermique des équipements, la télécommande et la télémétrie.

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

I.1.2.Principe d'une liaison satellitaire :

Le principe de base d'une transmission satellite est d'utiliser le satellite en orbite comme un relais entre deux antennes terrestres qui ne sont pas en vue directe, par exemple entre deux continents, ou pour diffuser un signal sur une large zone géographique.

Ainsi, de par leur souplesse et leur couverture, ces systèmes sont par leur topologie bien adaptés à ces deux services : la diffusion d'information (*broadcasting*) pour la TV par exemple et les transmissions en point à point sur de longues distances ou des lieux inaccessibles pour la *téléphonie* ou *l'accès Internet*.

I.1.3.Caractéristiques d'un lien satellite:

Les satellites de télécommunication transmettent donc des informations d'un point à l'autre de la Terre, notamment des programmes télévisés en diffusion mais aussi des communications téléphoniques ou de données. Un satellite est constitué d'une plateforme assurant le maintien à poste dans l'espace et d'une charge utile permettant de remplir la mission du satellite. Pour un satellite de télécommunication, elle est constituée de différents transpondeurs qui reçoivent, amplifient et retransmettent des signaux sur des fréquences différentes.

Le médium satellite a donc des caractéristiques particulières :

- une grande couverture pouvant aller du tiers de la planète à 100 km pour les plus petits faisceaux ;
- une diffusion naturelle, qui a naturellement aidé à développer la télévision par satellite ou toute application de diffusion ;
- une accessibilité totale dans la zone de couverture, ce qui a permis de conserver cette technologie, non dépendante de facteurs terrestres (montagnes ou autres) ;
- un délai qui peut être important avec un temps de propagation plus grand que le temps d'émission (autour de 250 ms pour une orbite géostationnaire) ;
- peu d'infrastructures terrestres nécessaires ;
- un coût important du fait du satellite lui-même mais aussi des équipements de transmission et de gestion du satellite et du réseau ;
- une robustesse des composants et des systèmes ; il est trop dangereux d'envoyer des technologies non matures sur des satellites car elles doivent avoir une longue durée de vie en raison des coûts.

I.1.3.1. Les orbites :

Les premiers satellites n'avaient pas une longue durée de vie, ni un temps d'utilisation très important ; il fallait, en effet, attendre qu'ils passent dans le champ de visée. Le lancement de satellites géostationnaires a permis de résoudre ce problème. Du fait de leurs caractéristiques assez différentes, les satellites ont été ainsi classés suivant la hauteur de leurs orbites :

- Les satellites GEO (Geostationary Earth Orbit) ayant donc une trajectoire calée sur celle de la terre dans un plan voisin de celui de l'équateur. Ils évoluent à une altitude de 35 786 km liée à leur vitesse qui doit suivre celle de la terre.
- Les satellites MEO (Medium Earth orbit) évoluent sur une orbite médiane autour de 10000 km.
- Les satellites LEO (Low Earth orbit) représentent des satellites en orbite basse de plusieurs centaines de kilomètres autour de 1000 km.
- Les satellites GEO sont les plus communs grâce à leur position relative fixe dans l'espace et ce malgré leur coût important, un délai important et une diffusion importante non adaptée à certaines applications. L'utilisation de plusieurs faisceaux (on parle de multifaisceaux) réduisant la taille des zones de couverture et d'intelligence à bord sont des pistes permettant de compenser certains problèmes des satellites GEOs.

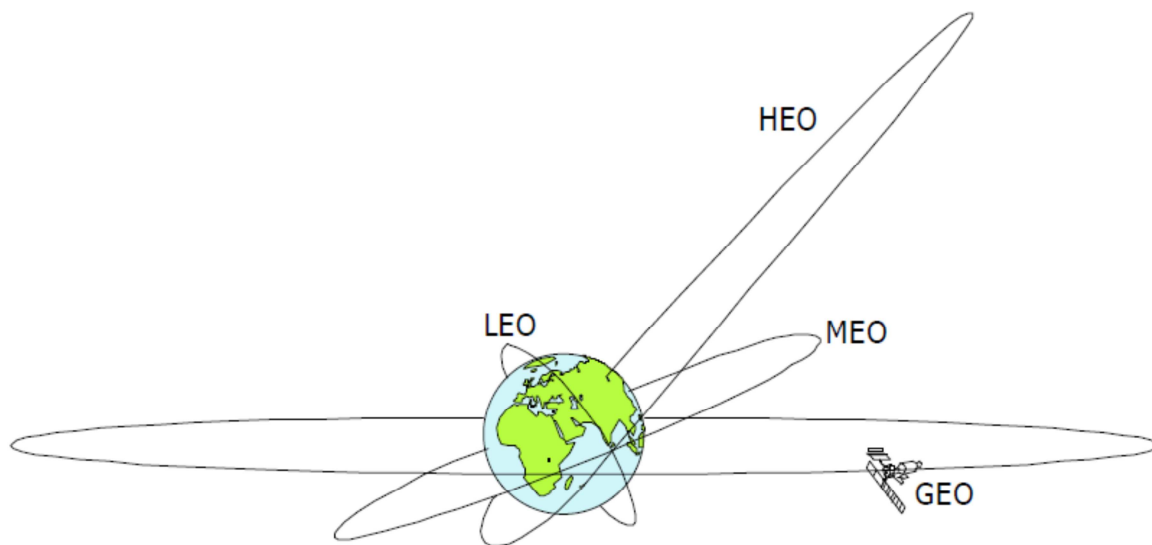


Figure I.1 : les différentes orbites satellitaires.

I.1.3.2. Les bandes de fréquences :

Les satellites utilisent des bandes de fréquence particulières ; les plus communes sont représentées dans le tableau suivant :

Nom	Bande de fréquence (GHz)	Services satellitaires
UHF	0.3 - 1.12	Services mobiles militaires
Bande L	1.57 - 1.67	Services mobiles civils
Bande S	2.0-3.95	Diffusion de TV, radio, données
Bande C	3.95 - 8.2	Diffusion de radio, données, TV mobiles
Bande Ku	10.7 – 18	Diffusion de TV, radio, données
Bande Ka	20 – 30	Diffusion de la radio, TV et données

Tab I.1 : Bandes de fréquences.

I.1.3.3. Satellites transparent et régénératif:

Au delà de la classification en fonction de l'altitude, on peut aussi s'intéresser à leur fonctionnement interne. Les satellites les plus simples sont qualifiés de transparents, c'est-à-dire que leur charge utile ne fait aucun travail sur le signal, excepté sa réception, son amplification et sa réémission. Le médium satellite est donc vu seulement comme un câble virtuel tiré entre deux zones au sol. Il n'y a pas de commutation, de routage ou de choix de faisceaux à bord. Un satellite avec intelligence embarquée est qualifié de régénératif car il doit décoder le signal reçu pour pouvoir effectuer un traitement et le réémettre vers la terre. On donne aussi le nom d'OBP (On-Board Processing) à la partie de traitement intelligent embarqué. Un satellite peut aussi avoir un fonctionnement hybride, ne régénérant qu'une partie du trafic comme la signalisation par exemple.

Ces différents satellites engendrent classiquement des topologies de réseaux différentes. En effet, avec un satellite transparent, une topologie en étoile est assez directe car les communications peuvent toujours repasser par le même centre de contrôle du réseau. Cela engendre un double bond pour faire communiquer deux clients par le satellite et un délai induit important mais un mode maillé reste possible. En revanche, un satellite régénératif permet de mettre en place plus facilement une topologie maillée grâce à l'OBP pouvant orienter les communications directement en un seul bond et réduisant d'autant le délai entre deux clients.

I.1.4. Les services de communication par satellite :

Le satellite a connu une longue évolution depuis les premières applications, comme dans la transmission de la voix et la diffusion de la télévision. Contraint à la convergence, ses champs d'applications se sont diversifiés en prenant en compte la mobilité, l'inclusion des services de type données comme l'accès Internet et dernièrement les services multimédias. D'autres exemples d'applications offertes par le satellite sont : la météorologie, la localisation ou GPS (Global Positioning System), l'imagerie satellitaire, la collecte des données environnementales, etc. Dans la suite du travail nous nous focalisons essentiellement sur les satellites de télécommunication.

I.1.4.1. Diffusion de la radio et de la télévision :

L'application satellitaire la plus répandue reste la diffusion de la télévision, avec des offres des opérateurs satellite partout dans le monde comme Intelsat, Eutelsat, ASTRA, PanAmSat, etc.

Les opérateurs de satellites essaient toujours de faire évoluer leurs services, en essayant de répondre à l'évolution des services dans les réseaux terrestres. Ainsi, on retrouve parmi les dernières nouveautés dans les domaines des applications TV, la vidéo à la demande qui permet à un utilisateur de choisir à un moment donné le programme qu'il désire. Un autre service proposé est le PVR (Personal Video Recorder), permettant de stocker un contenu sur son disque dur.

I.1.4.2. La téléphonie :

Un délai d'environ 250ms dans un réseau géostationnaire représente un retard important qui rend une conversation téléphonique non naturelle, d'où l'échec de cette application face aux supports comme le câble et les réseaux téléphoniques terrestres. Néanmoins, le satellite est encore utilisé dans des endroits où les réseaux terrestres n'existent pas pour offrir un service de téléphonie. Toutefois, dans leurs offres en particulier à destination des entreprises, les opérateurs satellites se doivent de proposer le service VoIP (la voix sur IP). Nous y reviendrons dans le paragraphe consacré aux services multimédias.

Par ailleurs les systèmes satellitaires offrent un service de téléphonie mobile dans les endroits où les réseaux sans fil terrestres ne sont pas déployés. Un exemple d'un tel réseau est

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

I.1.4.3. Accès large bande et services multimédias :

Aujourd'hui toute donnée peut être transmise en utilisant des paquets qui sont ensuite transmis sur tout type de support (hertzien, câble, etc.). Les services de types donnés historiques sont moins sensibles au délai aux réseaux satellitaires, important surtout dans les réseaux géostationnaires.

De plus, les satellites ont été utilisés depuis longtemps en complément des réseaux terrestres. Ils peuvent donc prendre en charge toutes les applications de ces derniers comme le transfert des images, des vidéos, etc.

Les réseaux VSAT (Very Small Aperture Terminal) permettent de mettre en place un réseau dédié entre différentes filiales d'entreprises ou institutions. La technologie VSAT permet à une entreprise de communiquer avec des bureaux situés à différents endroits dans le monde à travers un hub central.

Facile à installer, et extensible à un coût moindre, les réseaux VSAT sont adaptés à la transmission de données, de la vidéo, etc.

L'accès Internet large bande n'a pas été considéré comme une solution viable tant que l'interactivité n'était pas garantie. Avec une voie de retour terrestre, ordinairement à travers le réseau téléphonique standard ou avec un retour par satellite désormais disponible, l'interactivité dans un réseau satellitaire est devenue une réalité. Ainsi les caractéristiques intrinsèques des réseaux géostationnaires sont utiles pour des applications de type multicast, et, en coordination avec des techniques de cache, permettent de réaliser un équilibre entre la latence engendrée et l'étendue de ce réseau.

I.1.5. Les méthodes d'accès:

Les méthodes d'accès regroupent toutes les méthodes permettant aux stations terrestres d'accéder au lien satellitaire et d'envoyer des données en même temps. Les méthodes d'accès utilisées dans les réseaux locaux et métropolitains sont fondées sur des temps de transmission négligeables ce qui n'est pas le cas des réseaux satellitaires. Le délai dans ce genre de réseaux est de l'ordre de 250-280 ms pour les satellites GEO, de 110-130 ms pour les satellites MEO et de 20-25 ms pour les satellites LEO.

Il existe plusieurs méthodes d'accès multiple au support dans la littérature, tels que l'accès multiple temporel ou TDMA, l'accès multiple fréquentiel ou FDMA et l'accès multiple par codes ou CDMA.

Chaque technique à ses propres avantages et une technique peut s'avérer plus appropriée que les autres dans certains cas.

I.1.5.1. FDMA :

La méthode d'accès FDMA, consiste à réserver une fréquence porteuse par terminal, ainsi à moment donné les terminaux peuvent transmettre simultanément sur différentes fréquences sans interférences. Parmi les applications utilisant la FDMA se trouve la téléphonie, les systèmes VSAT, et les terminaux mobiles. Une fréquence porteuse peut encore être divisée en canaux de transmission, toujours en utilisant la technique de multiplexage FDMA. La technique est simple mais elle n'est pas adaptée aux applications avec des demandes variables de ressources, car on bénéficie d'une largeur de canal fixe. De plus des intervalles de garde sont nécessaires pour séparer les bandes de fréquences. L'avantage est que des antennes de petite taille peuvent être utilisées. La technique FDMA a été utilisée surtout dans les premiers protocoles d'accès multiple par satellite, mais dernièrement la technique TDMA est préférée.

I.1.5.2. TDMA :

La technique TDMA partage la même fréquence entre plusieurs utilisateurs en utilisant des slots temporels, alloués aux utilisateurs pour pouvoir transmettre leurs informations. La synchronisation est réalisée à l'aide du burst de référence temporelle. Une manière d'y accéder est le tour de rôle, les terminaux transmettent dans les slots correspondants. Cette technique est flexible et convient à la transmission des paquets. TDMA convient pour les charges fortes car elle permet de partager efficacement le canal entre les stations. L'inconvénient est que les stations ont un nombre fixe de slots alloués, qu'elles aient des données à transmettre ou pas. Un réseau utilisant cette méthode est constitué par les systèmes VSAT.

I.1.5.3. CDMA :

CDMA est une technique d'accès par étalement de spectre utilisée dans les réseaux sans fil terrestres. Des études montrent que l'on peut utiliser cette technique pour un accès multiple sur un lien satellitaire. Cette technique est fondée sur l'utilisation des codes d'accès orthogonaux étant surtout utilisée dans les communications militaires. L'intérêt de cette technique est qu'elle permet la transmission simultanée de plusieurs stations tant dans le domaine fréquentiel que dans le domaine temporel. L'inconvénient est qu'elle offre un débit faible et n'est pas adaptée à une transmission large bande sur satellite. Parmi les architectures employant cette technique se trouvent les réseaux GlobalStar, Tachyon, etc. Des combinaisons CDMA/TDMA et CDMA/FDMA sont aussi employées.

I.1.5.4. MF-TDMA :

La technique TDMA utilise une seule fréquence, partagée entre les stations terrestres pour la réception et transmission des données indifféremment de la localisation des stations. Un tel mécanisme entraîne une utilisation non efficace de la puissance. Avec la technique MF-TDMA, la dimension des antennes est réduite et permet une augmentation de la capacité du système. La technique MF-TDMA représente une combinaison entre les deux techniques présentées auparavant, plusieurs fréquences porteuses sont définies et sont partageables entre les stations ; à son tour chaque fréquence porteuse est partagée par plusieurs stations en mode TDMA. Les ressources sont découpées en temps et en fréquence, les unités portant le nom de slots, une station pouvant transmettre en slots appartenant à différentes fréquences porteuses. C'est la technique MF-TDMA qui est utilisée aujourd'hui comme technique d'accès multiple dans les réseaux satellitaires géostationnaires notamment dans le cadre de la norme DVB-RCS.

I.1.6. Différentes zones relatives à la transmission par satellite :

Ces zones sont classées en trois :

- ❖ Zone de visibilité
- ❖ Zone de couverture
- ❖ Zone à servir

I.1.6.1. Zone de visibilité:

La zone de visibilité est une partie du territoire de la Terre où le satellite peut être observé par les appareils de radiotechnique pour l'angle d'élévation supérieure à l'angle d'élévation minimum toléré (5 à 10° pour les satellites géostationnaires en orbite maintenue). Les frontières de la zone de visibilité par les différents angles d'élévation sont des cercles concentriques.

I.1.6.2. Zone de couverture :

La zone de couverture c'est la limite d'une partie de la zone de visibilité sur laquelle l'émetteur du satellite assure un niveau déterminé de la densité de puissance (surfactive) nécessaire pour la réception normale du signal avec un facteur de qualité donné.

I.1.6.3. Zone à servir :

C'est le territoire où toutes les stations terriennes fonctionnent en régime normale et assurant les solutions des problèmes de comptabilité électromagnétique par rapport aux perturbations des autres stations terriennes et même des radio-systèmes.

I.2. Les réseaux DVB :

I.2.1. Introduction au VSAT :

Le réseau VSAT (Very Small Aperture Terminal) est le système qui repose sur le principe de réaliser, au moins, une liaison de deux points de la terre par l'intermédiaire d'un satellite.

On peut trouver plusieurs topologies de VSAT.

Dans le cas où nous intéressons à une liaison point à point comme le montre la Figure I.3, il convient en effet d'équilibrer les tailles d'antennes. On partage ainsi la puissance de manière identique entre les deux stations, qui auront à délivrer un débit équivalent.

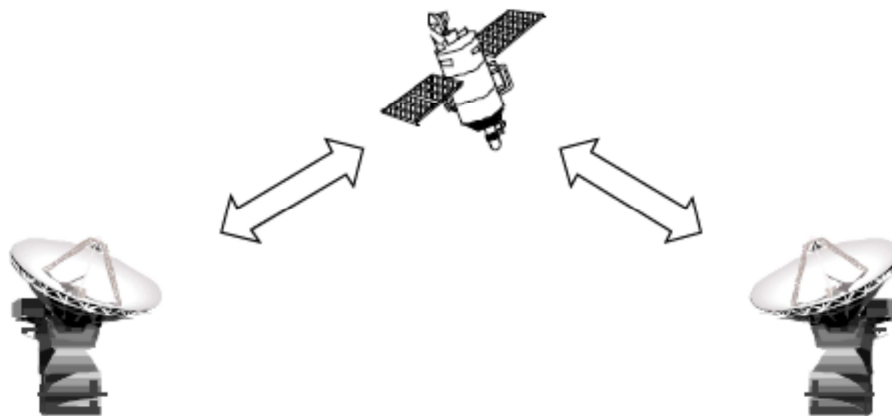


Figure I.2 : liaison pont a point.

Et dans le cas où il y a un nœud central et plusieurs stations clientes comme l'illustre la Figure I.3, la station centrale sera traversée par un débit très supérieure. D'autre part Pour des raisons essentiellement de cout on va déséquilibrer la liaison et réduire la taille des antennes clientes (qui seront moins chères à l'achat et à l'installation).

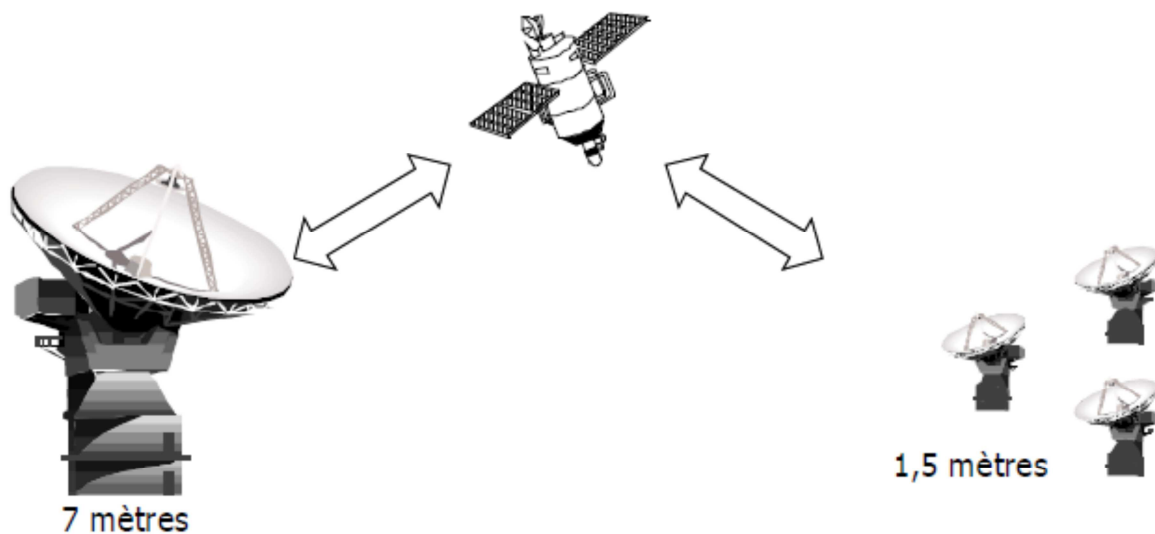


Figure I.3 : liaison de plusieurs stations au même nœud central.

I.2.3. Réseaux satellite :

I.2.3.1. Les configurations de réseaux satellitaires :

Les configurations des réseaux satellitaires sont déterminées par le type de service offert et le type de satellite, qui peut être soit régénératif soit transparent. Suivant le satellite employé, on identifie deux configurations de réseau : réseau maillé et réseau en étoile.

I.2.3.1.1. Réseau en étoile :

Les réseaux satellitaires les plus rencontrés ont comme satellite de communication un satellite transparent. Par rapport à un satellite régénératif, il se limite à réaliser des opérations de niveau physique telles que l'amplification, le changement de fréquence, etc. Les opérations de routage ou de commutation ne font pas partie des caractéristiques d'un satellite transparent et toutes les communications sont relayées par une station terrestre, appelée passerelle ou concentrateur de trafic gérant l'ensemble de communications. De ce fait, la structure d'une architecture satellitaire de ce genre est une architecture en étoile, ayant comme centre de communications la passerelle (Gateway), comme détaillé dans la Figure I.4.

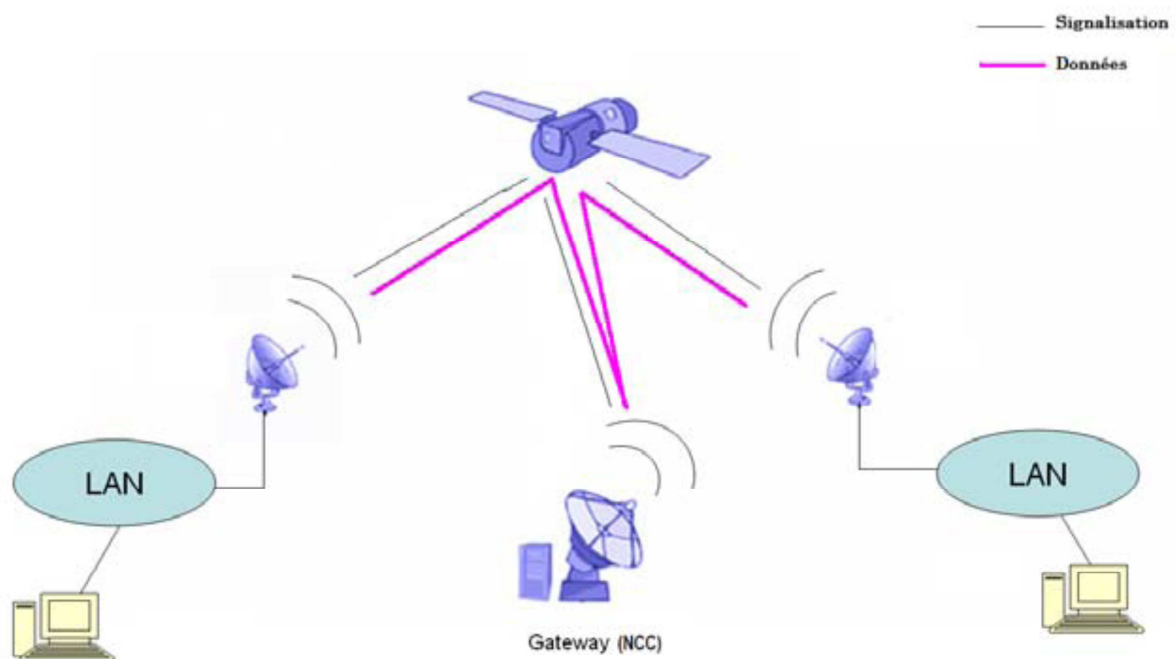


Figure I.4 : Réseau satellitaire géostationnaire en étoile

I.2.3.1.2. Réseau maillé

Un réseau maillé permet une connectivité directe à travers le satellite entre utilisateurs comme indiqué dans la Figure I.5.

Cette connectivité est possible grâce aux caractéristiques du satellite régénératif qui comporte un traitement à bord proposant les opérations suivantes : la démodulation des

signaux, la modulation des signaux, la régénération du signal, le changement de fréquence, le routage et la commutation. Une amplification du signal est possible ce qui a comme effet un besoin en puissance plus faible au niveau des stations terrestres.

L'avantage consiste à avoir un délai de communication diminué dans un tel réseau. Le point faible est que le satellite doit être fiable et sûr. La fiabilité est assurée en utilisant la redondance ce qui a comme conséquence une augmentation de la charge utile du satellite.

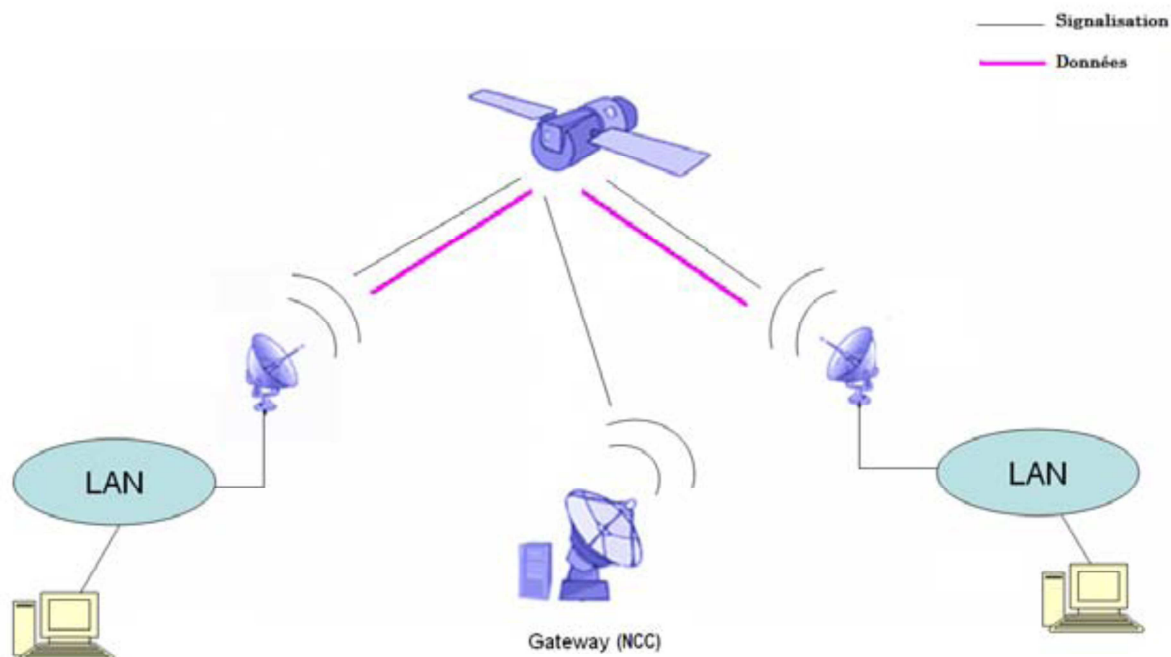


Figure I.5: Réseau satellitaire géostationnaire maillé

I.3. Les standards DVB

I.3.1. La normalisation:

Nous nous concentrons maintenant sur le fonctionnement des réseaux satellite les plus communs reposant sur les standards DVB (Digital Video Broadcasting). L'application la plus importante est donc un service de télévision utilisant un lien satellite GEO transparent unidirectionnel en diffusion depuis un émetteur vers de nombreux terminaux

Les spécifications de DVB sont développées par DVB Project, initié à l'origine par l'European Broadcasting Union (EBU), l'European Telecommunications Standards Institute (ETSI) et l'European Committee for Electrotechnical Standardisation (CENELEC).

La technologie DVB précise les systèmes de transport de données telles que des images, de la voix, des données informatiques. Elle se décline ainsi en fonction du support utilisé : la

norme DVB-T spécifie la transmission dans les réseaux terrestres, DVB-C pour le câble, la norme DVB-S décrit les principes de la transmission dans les réseaux satellitaires.

I.3.2. Le standard MPEG 2:

MPEG 2 est l'ensemble de normes de deuxième génération du Moving Picture Experts Group, a été universellement adopté par DVB dans toutes ses variétés pour le codage de source vidéo, acoustique et de données, offrant un débit pouvant varier de 3 à 50 Mbits/s en TV standard pour atteindre 300 Mbits/s pour la HDTV. Aujourd'hui, la dernière norme MPEG est la norme MPEG-4, utilisée pour la diffusion des applications multimédias. La figure I.6 décrit la chaîne de codage et de multiplexage.

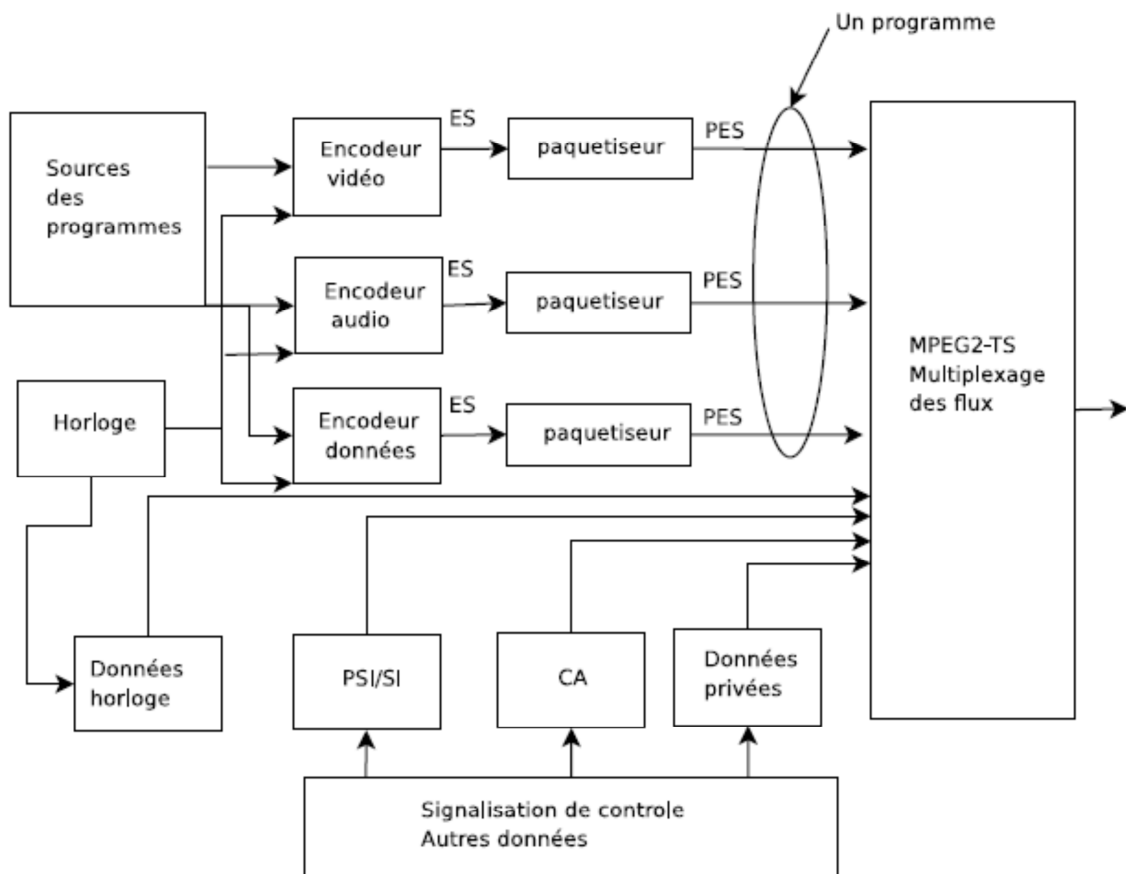


Figure I.6 : la chaîne de codage et de multiplexage MPEG2.

La norme MPEG-2 spécifie la partie système de transport de données, à l'aide du concept de Transport Stream (TS). Ce dernier est au cœur de la diffusion, la norme MPEG-2 est complété par d'autres normes en fonction du support utilisé.

MPEG2-TS définit un container encapsulant des PESs (Packetised Elementary Stream), représentant les flux élémentaires encodés et dotés des mécanismes de synchronisation. Un flux élémentaire contient un ensemble contenant des données, de la vidéo ou de la voix. Le but est de multiplexer la voix et la vidéo de façon à les décoder et à les synchroniser à la réception. Plusieurs PES provenant de différentes sources forment ainsi un transport stream (TS). D'autres données sont ajoutées au flux TS, ce sont des données spécifiées par les normes du support comme l'accès conditionnel, les tables de signalisation DVB dans le cas de la diffusion sur satellite par exemple.

I.3.3. La norme DVB-S :

I.3.3.1. La pile protocolaire DVB-S :

La norme DVB-S est la première à mettre en place un cadre pour la diffusion de la télévision dans un réseau satellitaire géostationnaire. Le standard regroupe les protocoles et les méthodes d'encapsulation en se fondant sur le protocole MPEG-2 aussi que des méthodes d'accès et des informations concernant le codage canal et la modulation employés. La pile protocolaire de la norme DVB-S pour la transmission des données et de la signalisation est illustrée dans la Figure I.7.

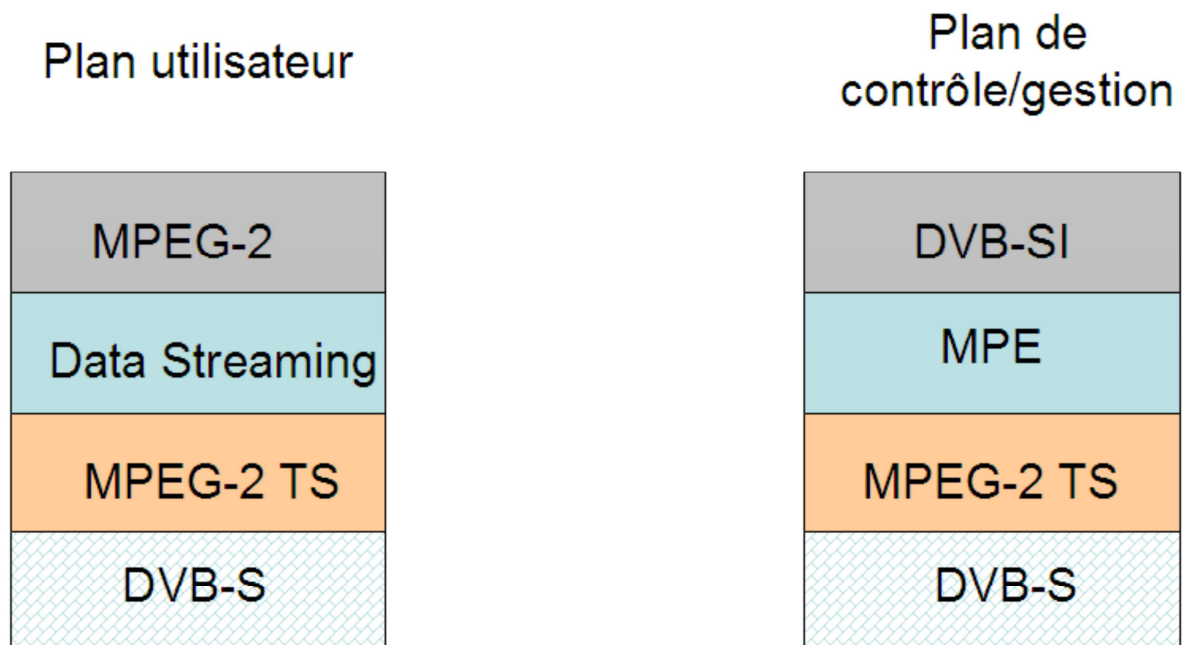


Figure I.7 : Pile de protocoles DVB-S pour les flux MPEG-2.

La norme DVB-S propose différentes méthodes d'encapsulation pour les données utilisateur et les données de signalisation. Les données sont encapsulées à l'aide de la méthode data streaming dans des paquets MPEG-2 TS d'une charge utile de 184 octets auxquels on ajoute un en-tête de 4 octets. On utilise le bourrage pour compléter le paquet MPEG-2 TS. Ainsi, un paquet MPEG-2 TS correspond à un seul flux PES. Les paquets appartenant au même flux PES ont le même identificateur de paquet PID (Packet IDentifier). La signalisation est encapsulée dans des sections MPE qui sont ensuite encapsulées dans des paquets MPEG-2 TS, un paquet MPEG-2 TS pouvant contenir plusieurs sections MPE (Multi-Protocol Encapsulation).

I.3.3.2. Chaîne de transmission DVB-S :

Une fois le flux MPEG-2 TS formé, il subit des transformations en vue d'être transmis sur le support satellitaire. Cette chaîne de transmission est sujette à des changements, de nouvelles normes proposent des optimisations, par exemple la norme DVB-S2 que nous décrirons par la suite.

La chaîne de codage englobe les étapes suivantes, nécessaire à la préparation des flux de données à une transmission sur un support satellitaire :

- Le brouillage : permet de réduire l'énergie d'une suite de bits qui engendrerait une grande énergie, source potentielle d'interférences.
- Le codage Reed-Solomon : permet de corriger les erreurs éventuelles suite à la transmission sur le support physique. Il ajoute 16 octets au paquet MPEG-2 TS de 188 octets.
- L'entrelacement : cette technique sert à éviter les rafales d'erreur en les dispersant. Ainsi on arrive à les corriger plus facilement.
- Le code convolutif : il ajoute de la redondance aux données initiales. Le taux de codage représente le taux entre les données utiles et le nombre de données transmises que l'on peut faire varier en fonction de la protection désirée pour la transmission. C'est ce que l'on appelle le taux FEC.
- La modulation QPSK permet de moduler le signal sur une fréquence porteuse.

L'enchaînement des étapes présentes dans une chaîne de transmission DVB-S est donné dans la Figure I.8. Ainsi, la norme DBV-S définit la transmission des données depuis

l'encodage et le brouillage à l'émission jusqu'au décodage Reed-Solomon au niveau du récepteur.

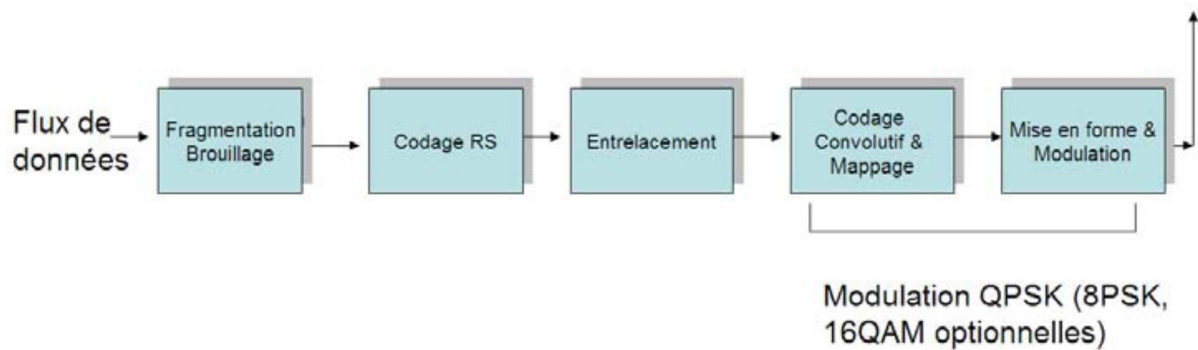


Figure I.8 : Chaîne de transmission DVB-S

I.3.4. La norme DVB-S2:

La norme DVB-S2 succède à la norme DVB-S et vise à l'amélioration des performances d'une transmission pour des applications comme la diffusion TV numérique et la HDTV, les applications interactives, l'accès Internet, la distribution de contenu.

La norme DVB-S2 apporte comme nouveauté par rapport à la norme DVB-S, un codage et une modulation adaptative ACM (Adaptive Coding and Modulation), que l'on peut faire varier d'une trame à une autre permettant d'obtenir ainsi une efficacité spectrale plus grande et une utilisation du support plus efficace. Elle apporte aussi un codage plus efficace, les codes LDPC (Low-Density Parity-Check) et BCH sont employés pour une meilleure efficacité spectrale. Par rapport à la norme DVB-S, quatre types de modulations sont proposés : QPSK, 8PSK, 16APSK et 32APSK.

Par rapport à la norme DVB-S, la norme DVB-S2 propose, en plus de l'encapsulation MPE, un mécanisme générique permettant l'insertion directe des paquets IP dans des paquets MPEG. Ainsi, les principes d'encapsulation MPEG-2 TS ne s'appliquent plus pour des communications unicast, d'autres techniques d'encapsulation plus efficaces peuvent être utilisées. L'architecture pour un système DVB-S2 ACM est illustrée dans la Figure I.9.

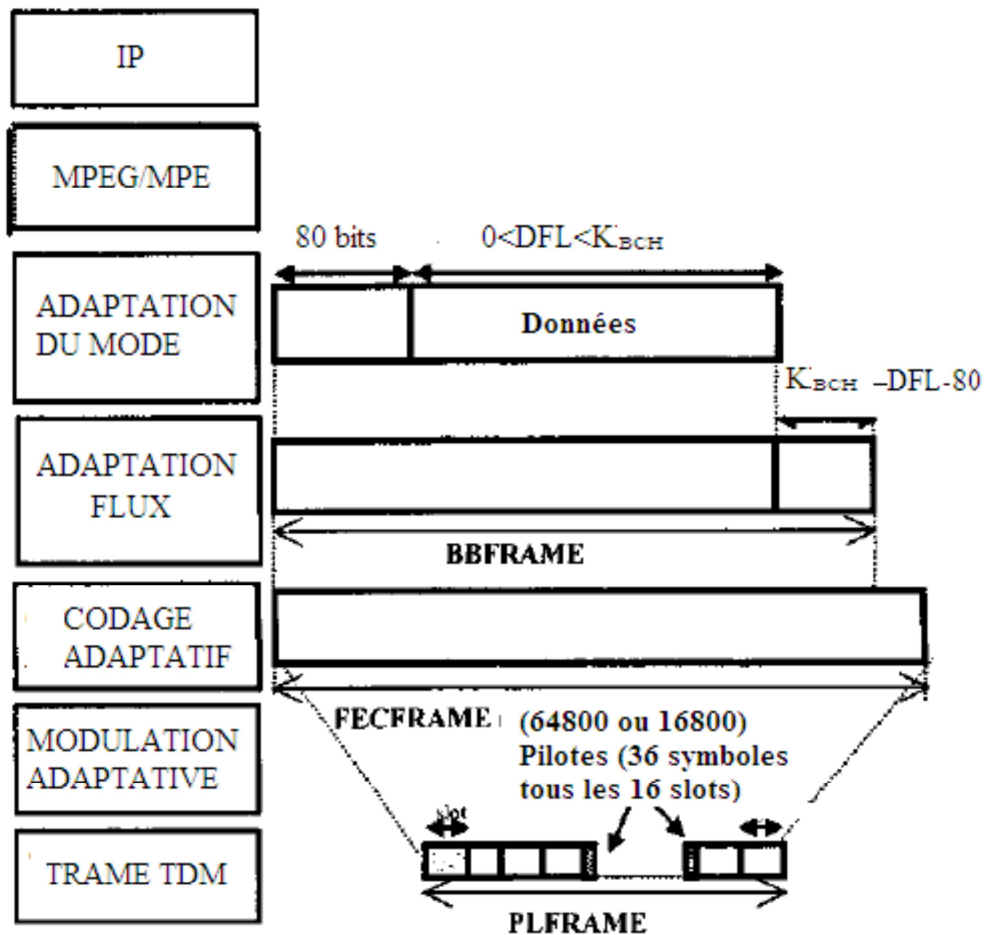


Figure I.9 : Architecture DVB-S2 avec ACM

La trame DVB-S2 non codée porte le nom de BBFRAME (Base Band FRAME), la FECFRAME étant le résultat de l'encodage de la BBFRAME. Pour la trame FECFRAME deux longueurs sont définies : petite (16200 bits) et normale (64800 bits). Un système utilisera l'une ou l'autre des longueurs de façon exclusive. Une BBFRAME est formée d'un champ de données et d'un en-tête de 80 bits. Le bourrage peut être utilisé pour remplir la trame si les données existantes ne sont pas suffisantes.

Une fois la BBFRAME formée, les mêmes opérations de brouillage, entrelacement, et codage se déroulent. Une fois la modulation effectuée, les symboles sont répartis en trames de niveau physique (PLFRAMES) où chaque slot peut contenir 90 symboles. A cette trame est ajouté un en-tête permettant de récupérer les conditions de transmission et le type de trame. Les pilotes sont optionnels et sont insérés, dans le cas où la technique ACM est utilisé, pour réaliser la synchronisation et l'estimation des conditions du support.

I.3.5. La norme DVB-RCS : voie retour sur satellite :

Le système DVB-S classique est donc complètement adapté à de 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 passerelle. 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).

La norme DVB-RCS repose sur un système aller 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 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 passerelle est en charge de toute la signalisation opérateur.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné une vue globale sur les systèmes de télécommunications par satellite en citant les différentes caractéristiques d'un lien satellite, ainsi que les méthodes d'accès. Dans le cadre des services offerts par ces systèmes, il paraît que l'application satellitaire la plus répandue reste la diffusion de la télévision. Les satellites ont joué un rôle important dans les réseaux de communication, mais doivent aujourd'hui trouver des moyens efficaces pour augmenter la qualité de services.

Parmi les satellites de communication, la majorité se trouve sur une orbite géostationnaire ce qui a motivé notre choix pour ce type de réseau (réseau DVB-S) comme sujet afin qu'on puisse étudier les atténuations du signal dans sa partie radio, due aux perturbations météorologiques.

Introduction

L'encombrement du spectre Hertzien et le développement de nouveaux services de télécommunications par satellite conduit les opérateurs soit :

- ✓ à utiliser des fréquences de plus en plus élevées,
- ✓ à utiliser dans une même bande de fréquence deux polarisations orthogonales.

Il est alors très important de prendre en compte les imperfections du canal de propagation. Au dessus de 1 GHz ce canal a plusieurs effets. Par exemple sur une liaison sol-satellite ou satellite-sol, les ondes électromagnétiques ne se propagent pas dans le vide.

Le milieu atmosphérique est constitué de gaz qui ont des propriétés d'absorption particulières en fonction de la fréquence. Le milieu est aussi constitué de particules en suspension, ces dernières pouvant être des gouttes d'eau, des poussières, des grains de sable, ...etc. Toutes ces particules ont pour effet d'atténuer l'onde électromagnétique mais aussi de la déphaser et de modifier sa pureté de polarisation.

II.1. Généralité sur la propagation électromagnétique :

La propagation est un transfert d'énergie sans transfert de matières, résultat de l'évolution dans le temps de la distribution spatiale d'un champ dans le milieu où se produit le transfert. La propagation par onde est un type de propagation possédant une vitesse définie.

II.1.1. La propagation en visibilité :

Elle concerne des liaisons qui utilisent des fréquences élevées dans le domaine des ondes centimétriques ou millimétriques. Bien que l'émetteur et le récepteur soient en visibilité l'un par rapport à l'autre, des perturbations, induites par la présence du sol ou de l'atmosphère peuvent intervenir. Deux grandes familles de liaisons appartiennent à cette classe :

- Les liaisons sol-sol, de type faisceaux Hertiens.
- Les liaisons sol-espace ou espace-sol, utilisées par les systèmes de transmissions par satellites.

II.1.2. La propagation en non visibilité :

Elle concerne des liaisons pour lesquelles un obstacle est interposé entre l'émetteur et le récepteur. Le signal émis va alors se propager grâce à différents phénomènes :

- La diffraction se produit lorsque la ligne de visée entre l'émetteur et le récepteur est obstruée par un obstacle opaque dont les dimensions sont plus grandes que la longueur d'onde du signal émis.
- La diffusion se produit dans le même cas que la diffraction mais lorsque les dimensions des obstacles sont comparables à la longueur d'onde.
- La réflexion se produit lorsque l'onde émise rencontre un obstacle dont les dimensions sont très largement supérieures à la longueur d'onde. La réflexion peut avoir pour effet une augmentation ou une diminution du niveau du signal reçu. Lorsqu'il y a un grand nombre de réflexions le niveau du signal reçu peut devenir instable.
- La réfraction provient du fait que la variation de l'indice atmosphérique entraîne une propagation courbée de l'onde émise.

II.1.3. Propagation en espace libre :

On appelle « un espace libre », un canal de transmission forme d'un milieu homogène uniforme sans frontières. Ce milieu est caractérisé par les trois paramètres électriques : permittivité ϵ (ou constante diélectrique ϵ_r), perméabilité μ et conductivité σ .

La propagation d'une onde dans l'espace libre fait intervenir plusieurs facteurs dont ceux reliés aux antennes, les paramètres électriques du milieu, la distance et la fréquence de l'onde.

II.1.3.1. Propriétés générales des ondes planes :

Une onde électromagnétique est plane si les champs électrique \vec{E} et magnétique \vec{B} ne sont fonctions que d'une coordonnée d'espace (l'abscisse x d'un point M par exemple) et du temps t . Les champs $\vec{E}(x, t)$ et $\vec{B}(x, t)$ de l'onde plane qui se propage dans le vide suivant Ox sont liés, d'après les équations de Maxwell, par les relations :

$$\vec{E}(x, t) = c\vec{B}(x, t) \quad [1]$$

et

$$\vec{B}(x, t) = \frac{1}{c}\vec{u}_x \wedge \vec{E}(x, t) \quad [2]$$

Ou \vec{u}_x est le vecteur unitaire de l'axe Ox.

Ces équations traduisent les propriétés suivantes de l'onde plane électromagnétique :

- Les champs $\vec{E}(x, t)$ et $\vec{B}(x, t)$ sont transversaux $\vec{E}(x, t) \perp \vec{u}_x$ et $\vec{B}(x, t) \perp \vec{u}_x$.
- Les champs $\vec{E}(x, t)$ et $\vec{B}(x, t)$ sont transversaux $\vec{E}(x, t) \perp \vec{B}(x, t)$.
- Les champs $\vec{E}(x, t)$ et $\vec{B}(x, t)$ sont tels que $\vec{E}(x, t), \vec{B}(x, t), \vec{u}_x$ forme un trièdre direct.
- Le rapport des modules des champs est constant et égal à c : $\frac{\|\vec{E}(x, t)\|}{\|\vec{B}(x, t)\|} = c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$
- L'impédance du milieu est : $Z = \frac{\|\vec{E}(x, t)\|}{\|\vec{H}(x, t)\|} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$
- Le vecteur de Poynting est : $\vec{R} = \frac{\|\vec{E}(x, t)\|^2}{c \mu_0} \vec{u}_x$
- La densité volumique d'énergie électromagnétique est :

$$S = \frac{\epsilon_0 \|\vec{E}(x, t)\|^2}{2} + \frac{\|\vec{B}(x, t)\|^2}{2\mu_0} = \epsilon_0 \|\vec{E}(x, t)\|^2 = \frac{\|\vec{B}(x, t)\|^2}{\mu_0} \quad [3]$$

Expression du champ électromagnétique d'une onde plane :

Le champ $\vec{E}(x, t)$ d'une onde plane sinusoïdale monochromatique, de fréquence $f = \frac{\omega}{2\pi}$, qui se propage suivant la direction Ox dans le vide est donné par l'expression suivante:

$$\vec{E}(x, t) = \vec{E}_0 \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \quad [5]$$

Si on introduit le vecteur d'onde $\vec{k} = k\vec{u}_x$, avec, dans le vide, $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$, il vient :

$$\vec{E}(x, t) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx) \quad [6]$$

Le champ magnétique $\vec{B}(x, t)$ s'obtient alors à travers la relation :

$$\vec{B}(x, t) = \frac{\vec{k}}{\omega} \wedge \vec{E}(x, t) \quad [7]$$

II.1.4. Généralités sur les antennes :

Une antenne est un dispositif qui assure le couplage entre une ligne de transmission radioélectrique et l'espace libre. Ce couplage est réciproque, c'est à dire que le même dispositif permet, soit de créer un rayonnement à partir d'une puissance qu'on lui fournit

(antenne d'émission), soit de recueillir de l'énergie quand il est plongé dans un rayonnement électromagnétique (antenne de réception), les bandes de fréquences de fonctionnement étant les mêmes dans les deux cas. L'antenne est un élément très important pour une transmission par satellite.

II.1.4.1. Gain d'une antenne:

Le gain d'une antenne se définit comme le rapport entre la puissance qu'il faudrait fournir à une antenne de référence convenablement orientée et celle qu'il faut fournir à l'antenne considérée pour produire la même intensité de rayonnement dans une direction donnée : $G=P_A/P_0$, comme illustre la Figure II.1 .

Quand la direction n'est pas spécifiée, cela signifie qu'on considère le gain maximal d'une antenne, c'est-à-dire celui dans la direction du maximum de rayonnement.

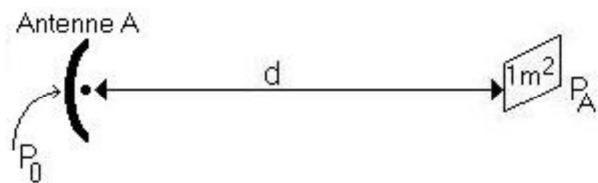


Figure II.1: Illustration du gain d'une antenne

Le gain est exprimé en dB : $G(\text{dB})=10\log(P_A/P_0)$.

En transmission par satellite, les antennes utilisées sont dites 'antennes de surface'. Le gain d'une antenne de surface est donné par la relation :

$$G = \frac{4\pi.k.S}{\lambda^2} \quad [8]$$

avec : $\lambda = c / f$: la longueur d'onde ($c = 3.108m/s$: célérité de la lumière, f : fréquence)

S : la surface d'ouverture de l'antenne ($S = \pi.D^2 / 4$ dans le cas d'une ouverture circulaire)

k : le rendement de l'antenne (variant de 0,55 à 0,8).

D : diamètre de l'ouverture exprimé en mètre.

I.1.4.2. Diagramme de rayonnement d'une antenne :

Le gain d'une antenne peut être défini dans toutes les directions de l'espace. Il est possible de tracer une courbe représentant la variation du gain en fonction de la direction.

Ce diagramme est un diagramme de révolution, il est appelé diagramme de rayonnement.

Le diagramme de rayonnement est un diagramme en trois dimensions, dans la pratique, on effectue des coupes planes passant à l'origine du rayonnement.

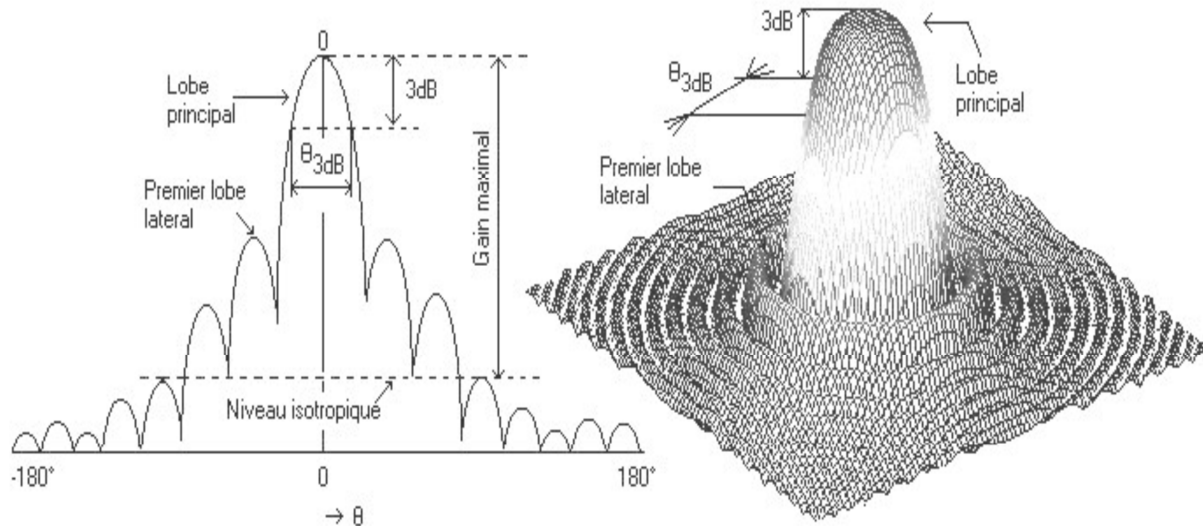


Figure II.2 : Exemple de diagramme de rayonnement.

Tous les diagrammes comportent des lobes plus ou moins larges. Le plus grand s'appelle le lobe principal ou le faisceau de l'antenne lorsqu'il est nettement prépondérant, c'est-à-dire si l'antenne est fortement directive. Les autres sont les lobes secondaires ou lobes latéraux. On définit aussi la largeur angulaire du faisceau de l'antenne comme étant l'angle limité par les directions où le niveau rayonné est une fonction donnée du niveau maximal.

II.1.4.3. Polarisation d'une antenne:

A grande distance des sources de rayonnement (antennes), le champ électromagnétique est constitué par des vibrations transversales, c'est-à-dire que les vibrations ont lieu dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation. Ces vibrations sont définies par l'ensemble de deux vecteurs perpendiculaire entre eux, l'un représente un champ électrique, et l'autre un champ magnétique, les deux vibrant à la même fréquence et avec des amplitudes proportionnelles. Par convention, on dit que la direction de propagation de l'onde est la direction de propagation du champ électrique E . si ce dernier prend une position vertical tous le long de la propagation, on dit que la propagation est vertical ainsi que l'antenne émettrice a une polarisation verticale. De même pour une polarisation horizontale. Dans le cas où le vecteur du champ électrique tourne d'un tour complet pendant une alternance. On montre alors que son extrémité décrit une ellipse, et on dit que la polarisation est elliptique.

II.1.4.4. Directivité d'une antenne :

La directivité d'une antenne caractérise la façon dont cette antenne concentre le rayonnement dans certaines directions de l'espace.

La directivité d'une antenne peut être définie comme le quotient de l'intensité de rayonnement dans une direction par la valeur moyenne de cette intensité de rayonnement pour toutes les directions de l'espace, c'est à dire :

$$D = \frac{\psi}{\frac{1}{4\pi} \iint \psi \cdot d\Omega}$$

Où ψ est l'intensité de rayonnement, et $d\Omega$ est un angle solide.

II.1.4.5. Aire équivalente d'une antenne :

La notion de gain s'introduit de façon naturelle lorsque l'antenne est utilisée à l'émission, puisque tout se passe comme si la puissance émise dans une direction était égale à la puissance d'alimentation multipliée par le gain dans cette direction.

A la réception, au contraire, on est plutôt amené à introduire la notion de « aire équivalente ». Considérons en effet un émetteur de puissance P_0 alimentant une antenne isotrope.

On a obtenu une onde sphérique et la densité de puissance à la distance d de l'antenne est égale à :

$$P_i = P_0 / 4\pi d^2 \quad [9]$$

Une antenne de réception placée en ce point et reliée à une charge adaptée, capte une certaine puissance p proportionnelle à P_i :

$$P = A_e \cdot P_i = A_e \cdot (P_0 / 4\pi d^2) \quad [10]$$

A_e : s'appelle l'aire équivalente de l'antenne.

La directivité a été définie pour une antenne fonctionnant à l'émission et l'aire équivalente pour une antenne fonctionnant à la réception. Comme la même antenne peut être utilisée soit à l'émission, soit à la réception, il y a obligatoirement une relation entre la directivité et l'aire équivalente :

$$\frac{D}{A} = \frac{4\pi}{\lambda^2} \quad [11]$$

II.1.4.6. Température de bruit d'une antenne :

C'est un paramètre qui n'a d'intérêt que pour les antennes utilisées à la réception, et plus particulièrement pour les antennes installées près de la surface terrestre et destinées à recevoir des signaux provenant de l'espace extérieur. Mais dans ce cas particulier la température de bruit de l'antenne est un paramètre essentiel. La température de bruit T d'une antenne mesure la puissance de bruit que cette antenne fournit à l'entrée du récepteur :

$$T = \frac{P}{K \cdot \Delta f} \quad [12]$$

P : puissance de bruit disponible à l'entrée du récepteur,

K : $1,38 \cdot 10^{-23}$ (constante de ' Boltzmann '),

Δf : largeur de bande du récepteur.

II.1.5. Equation de Friis

L'équation de « Friis » détermine le niveau de puissance reçue en espace libre dans une zone à une distance d d'une source émettrice. C'est une équation fondamentale en communication sans fil car elle est à la base de tous les calculs de propagation en espace libre.

Considérons une antenne omnidirectionnelle, dite isotrope rayonnant P_t Watts. La densité de puissance à une distance d de l'antenne qui rayonne dans une sphère de surface $4\pi d^2$ est alors égale à : $\frac{P_t}{4\pi d^2}$ Watts/m².

Supposons maintenant que l'antenne est directive est rayonne principalement dans une direction bien définie. Par rapport à l'antenne omnidirectionnelle la densité de puissance dans cette direction sera multipliée par le gain de l'antenne dans cette direction G_t .

La densité de puissance à une distance d est alors égale à :

$$D_p = \frac{P_t \cdot G_t}{4\pi d^2} \text{ Watts/m}^2 \quad [13]$$

Le produit $G_t P_t$ est appelé la **Puissance Isotrope Rayonnée Effective** : PIRE (Effective Isotropic Radiated Power : EIRP).

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, la puissance reçue s'écrit :

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t \cdot A_r}{4\pi d^2} \quad [14]$$

Le terme A_r est l'aire effective de l'antenne de réception.

L'aire effective et le gain sont ainsi reliés par l'équation suivante :

$$A_r = \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \quad [15]$$

Alors l'équation de Friis qui donne la puissance reçue par l'antenne s'écrit :

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r}{\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2} \quad [16]$$

Le terme $L_s = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$ représente les pertes en espace libre (free space loss).

II.2. Affaiblissement d'une liaison satellite :

En pratique, dans une liaison satellite, tant du côté de l'émetteur que du récepteur ou dans le canal entre les antennes, il existe des pertes supplémentaires que les pertes en espace libre. Il vaut mieux réécrire l'équation de Friis en introduisant les différents affaiblissements et pertes suivants :

- L_{tx} : les pertes d'émission entre l'émetteur et l'antenne d'émission.
- L_{rx} : les pertes de réception entre l'antenne de réception et le récepteur.
- L_a : affaiblissement provoqué par l'atmosphère agissant le canal de transmission.

En travaillant en dB on obtient alors :

$$L_t(dB) = L_s(dB) + L_{tx}(dB) + L_{rx}(dB) + L_a(dB)$$

Avec : L_t est l'affaiblissement total et L_s est les pertes en espace libre.

Alors la propagation dans une liaison satellite s'effectue à travers l'atmosphère terrestre ou elle subit des différents affaiblissements dus aux caractéristiques des couches atmosphériques. Ces affaiblissements sont dus par deux causes majeures qui sont l'absorption dans le milieu et les phénomènes météorologiques, et plus au moins par la diffraction et la réfraction des signaux émis dans l'atmosphère.

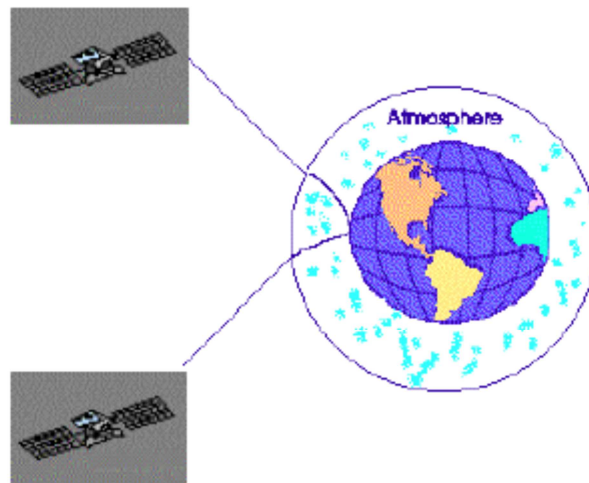


Figure II.3 : le trajet des signaux dans une liaison satellite.

II.2.1. Milieux de propagation :

L'atmosphère est un milieu complexe pour la propagation des ondes, elle est constituée d'une famille des gaz, 78% d'azote, 21% d'oxygène, et 1% pour les gaz inertes. La moitié de la masse de l'atmosphère se trouve dans les 5 premiers kilomètres d'altitude, il faut s'élever jusqu'à 20 km pour atteindre 90% de la masse totale de l'atmosphère.

L'atmosphère est constituée de trois couches superposées : atmosphère inférieure, atmosphère moyenne et atmosphère supérieure.

II.2.1.1 Atmosphère inférieure:

Elle représente les couches inférieures qui constituent l'environnement terrestre elle s'étant à une altitude de 8 km à 15 km selon l'endroit (la troposphère).

La troposphère contient 80% de la masse d'air, c'est le milieu où se passent les perturbations météorologiques comme l'humidité, température, pression, vent et pluie. Ces paramètres sont changés aléatoirement du fait que l'atmosphère n'était pas chauffée de manière égale par le soleil, et la nature du sol et la présence des océans.

Les ondes radio émises par les satellites subissent des perturbations troposphériques et des atténuations dans l'espace libre, l'une de ces perturbations est la réfraction. Comme l'indice de réfraction est défini par les conditions météorologiques (pression, température, humidité), on considère non pas l'indice réel n mais un co-indice N relié à n par la relation :

$$N = (n - 1) 10^{-6} \quad [17]$$

Ce co-indice de réfraction N , appelé aussi simplement l'indice de réfraction, il est mesuré par un nombre compris entre 0 dans le vide en environ 300 au niveau du sol, en fonction des grandeurs météorologiques, N est donné par la formule :

$$N = \frac{77.6(P + 4810 \frac{E}{T})}{T} \quad [18]$$

Où : T est la température absolue (K°), P la pression en millibars et E la pression partielle de vapeur d'eau (mbar).

Alors on peut dire que les ces différents paramètres météorologiques agissent sur les signaux radio en les réfractant, se qui engendre des pertes dans la liaison satellite.

II.2.1.2. Atmosphère moyenne :

C'est la région intermédiaire qui s'étant entre 15 km et 60 km d'altitude (la stratosphère). La caractéristique principale de cette couche est qu'on s'élève à l'intérieur, la température reste presque constante avant de se mettre à augmenter après 25 km d'altitude pour atteindre les environs du point de congélation.

Les mouvements de l'air y sont beaucoup moindres, Il s'agit d'un environnement beaucoup plus calme et dépourvue de vapeur d'eau, avec un indice de réfraction très proche de l'unité ($n=1$).

Le nombre d'électrons libres commence à croître à une altitude d'environ 30 km mais leur densité n'est pas suffisante pour affecter les ondes radio jusqu'à environ 60km.

II.2.1.3. Atmosphère supérieure :

C'est la partie supérieure qui a été découverte est étudiée grâce au développement des fusées et des satellites, elle s'étend de 60 km à 2000 km (l'ionosphère).

L'ionosphère est la partie ionisée de l'atmosphère terrestre, elle s'étend d'environ 50 – 60 km jusqu'à 1000 km d'altitude, l'énergie irradiée par le soleil (l'ultraviolet) ainsi que par les ondes cosmiques, est la principale cause d'ionisation des molécules des gaz, l'ionisation étant beaucoup plus importante le jour que la nuit.

Les ondes radio émises par les satellites sont affectées principalement par les électrons libres. L'effet de la réfraction ionosphérique sur le signal émis par les satellites dépend du contenu électronique total c'est-à-dire du nombre d'électrons libres rencontrés par le signal lors de son parcours dans l'ionosphère.

Une estimation de l'indice de réfraction dépend de la précision de l'estimation de la densité d'électron libre le long du trajet du signal, qui est contrôlé par l'activité du soleil. L'indice de réfraction ionosphérique est proportionnel à la densité d'électron libre et inversement proportionnel à la fréquence du signal comme ce qui est indiqué dans la formule suivante :

$$n = 1 \pm \frac{40.3 N_e}{f^2} \quad [19]$$

II.3. Affaiblissement due à l'absorption par les constituants du milieu :

Un milieu homogène peut être avec pertes. Les différents constituants de l'air adsorbent ou diffusent une partie de l'énergie électromagnétique incidente. En règle générale, on doit en tenir compte dès que la fréquence utilisée se situe au-delà de quelque GHz.

L'absorption due aux gaz résulte des résonances moléculaires de l'oxygène et de la vapeur d'eau (transitions, vibrations des atomes et molécules). Ils influent lourdement sur les ondes radioélectriques sous forme :

$$\gamma_{O_2} = \left[\frac{6.6}{f^2 + 0.33} + \frac{9.8}{(f - 57.5)^2 + 2.2} \right] f^2 10^{-3} \quad f < 57,5 \text{ GHz} \quad [20]$$

$$\gamma_{O_2} = 14.7 \text{ dB} \quad 57,5 < f < 62,5 \text{ GHz} \quad [21]$$

$$\gamma_{O_2} = \left[\frac{4.13}{(f - 62.5)^2 + 1.1} + \frac{0.19}{(f - 118.7)^2 + 2} \right] f^2 10^{-3} \quad 62.5 < f < 350 \text{ GHz} \quad [22]$$

$$\gamma_{H_2O} = \left[0.067 + \frac{2.4}{(f - 22.3)^2 + 6.6} + \frac{7.33}{(f - 183.5)^2 + 5} + \frac{4.4}{(f - 323.8)^2 + 10} \right] f^2 \rho 10^{-4} \quad [23]$$

Avec : f est exprimée en GHz et ρ vapeur d'eau g/m³ d'air.

La Figure II.4 illustre l'atténuation sur un trajet traversant la troposphère verticalement dans la bande [0-40] GHz, il existe deux composantes sèche et humide. Pour la composante humide (7.5 g/m³) l'absorption de vapeur d'eau est maximale à 22.2 GHz.

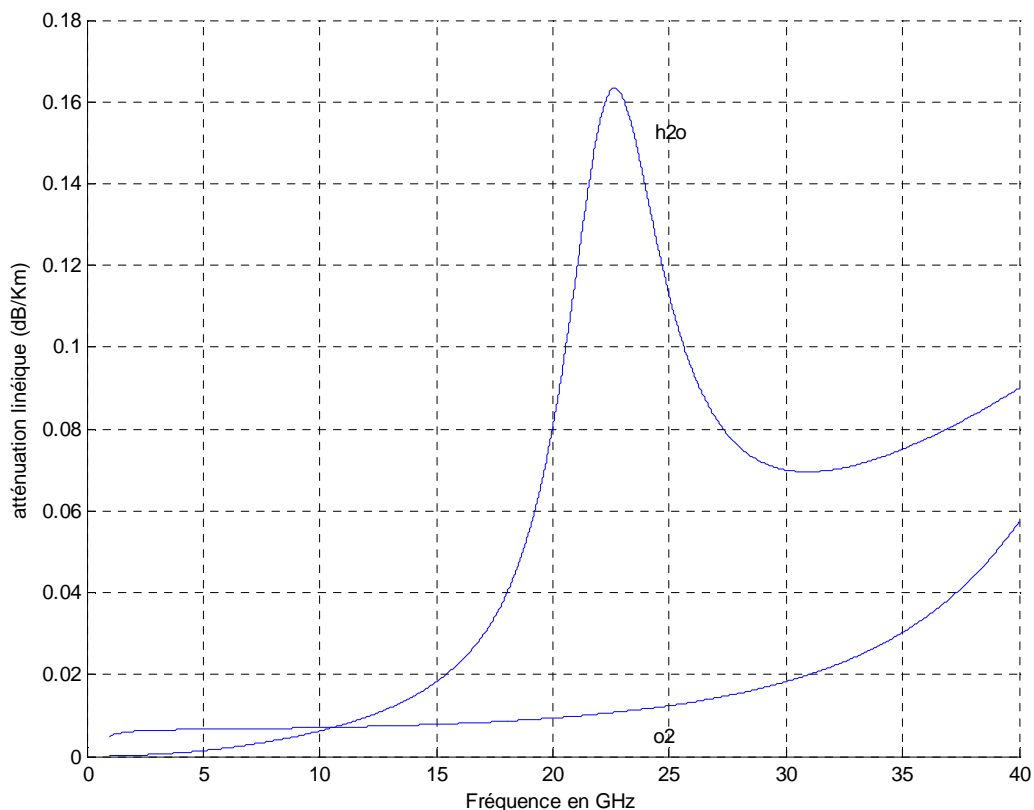


Figure II.4 : Absorption à la traversée verticale de la troposphère

On constate à partir des équations précédentes donnant les atténuations sur un trajet ainsi que la Figure II.4, que ces atténuations sont énormes pour les fréquences les plus élevés (plus de 50 GHz). Alors que les atténuations dans les bandes de fréquences utilisées dans systèmes de télécommunications par satellite qui ne dépasse pas, 40 GHz pour la bande Ka et 18 GHz pour la bande Ku utilisée dans la norme DVB-s sur laquelle est basée notre projet, sont négligeables si on les compare aux pertes due phénomènes météorologiques.

II.4. Affaiblissement due aux phénomènes météorologiques :

L'atmosphère n'est pas parfaitement transparente, même en dehors des bandes d'absorption intense. Il existe une certaine atténuation due principalement aux composants gazeux de l'atmosphère, à l'eau sous forme liquide (pluie et nuages) ou solide (glace et neiges).

II.4.1. Tempêtes de sable et de poussière :

Les tempêtes de sable et de poussière sont des nuages denses formés par des particules de sable et de poussière, dont les dimensions respectives sont généralement de 0.015cm et 0.0018cm.

Des mesures menées aux laboratoires à 10Ghz à travers une atmosphère artificielle chargée de poussière et de sable ont montré que pour des concentrations de particules inférieures à 10^{-5} (g/cm³), l'affaiblissement linéique n'atteindrait pas 0.1dB/Km pour le sable et 0.4dB/Km pour la poussière d'argile.

On peut déduire que l'affaiblissement provoqué par des tempêtes de sable et de poussière est négligé, et ne peut dépasser 1dB, même par des fortes tempêtes.

II.4.2. Neiges et glace :

Aux fréquences inférieures à 35Ghz les nuages de glaces, donnent lieu à des affaiblissements 100 fois plus petite environ que des nuages de pluie, aux fréquences supérieures à 35Ghz les nuages de glaces peuvent contribuer sensiblement à l'affaiblissement.

Pour la neige le problème se pose à 50Ghz environ, bien que des chutes de neige mouillée puissent causer par rapport à des chutes de pluie équivalentes, un affaiblissement beaucoup plus important.

L'affaiblissement produit par une chute de neige peut déterminer à l'aide de la formule :

$$\gamma = P \varphi \quad (\text{dB/Km}). \quad [24]$$

Où : P est le taux de précipitation, c'est la hauteur de l'eau liquide obtenue par la diffusion de la neige. φ est l'affaiblissement réduit donné en fonction de la longueur d'onde par le tableau suivant :

λ (cm)	1	2	3	4	5	7	10
φ (dB/Km)	$2.2 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-4}$	$5.8 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$3.3 \cdot 10^{-4}$	$2.2 \cdot 10^{-4}$

Tab II.1 : Affaiblissement réduit en fonction de λ .

Donc l'affaiblissement du à la neige est très faible et souvent négligé dans les calculs.

II.4.3. Brouillard et nuages :

Les brouillards et les nuages de pluie sont formés de particules d'eau liquide, typiquement de diamètre de celle-ci varie de 10^{-2} cm (brouillard) et de 10^{-1} cm (nuage de pluie).

Dans les nuages et les brouillards, les particules d'eau sont plus petites par rapport à la longueur d'onde jusqu'à 50Ghz, par suite l'atténuation est due principalement à l'absorption de l'énergie par les particules et on montre que l'affaiblissement linéique qui en résulte est à peu près proportionnel au carré de la fréquence, et à la quantité du nuage ou de brouillard, suivant la relation :

$$\gamma = A . M . f^2 \quad [25]$$

Avec : A le coefficient qui dépend uniquement de la température, γ l'affaiblissement en dB/Km, f la fréquence (Ghz) et M la quantité d'eau (g/cm^3).

II.4.4. Pluie :

L'influence de la pluie est assez importante, elle est due à l'absorption et à la dispersion des ondes radio par les gouttes d'eau de différentes tailles, au-dessous de 10Ghz, l'influence de la pluie est relativement faible, par contre au-dessus de 10Ghz son importance est beaucoup plus grande et représente l'effet principal de la propagation.

L'atténuation par la pluie est donnée par :

Une méthode théorique de calcul de l'atténuation par la pluie en fonction de tau de précipitation, la hauteur des précipitations, l'angle d'élévation se traduit par la relation suivante :

$$A_p = \gamma_p . d \quad [26]$$

Et :

$$\gamma_p = k . \sigma^\alpha \quad [27]$$

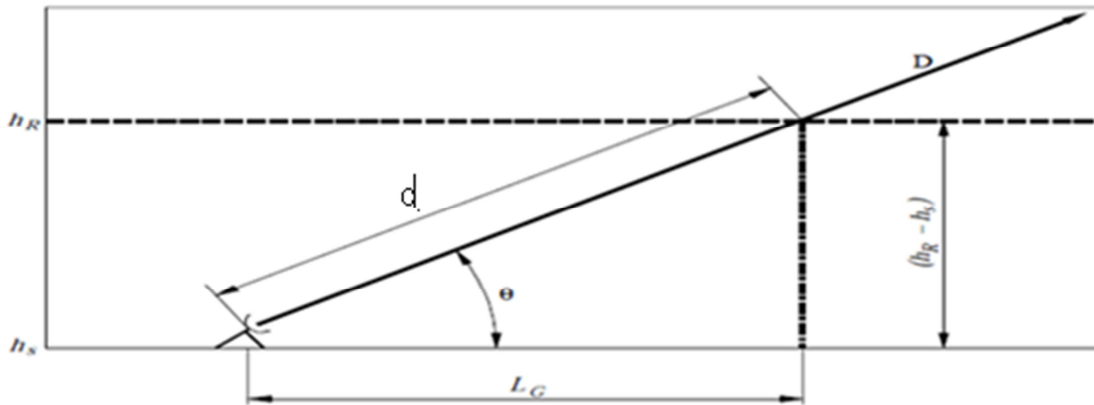


Figure II.5 : Représentation schématique d'un trajet Terre-espace donnant les paramètres nécessaires pour le calcul de l'affaiblissement

Avec : A_p : est l'atténuation de la pluie en dB

γ_p : est l'atténuation de la pluie par Km (dB/Km)

σ : est le taux de précipitation (mm/h).

d : le trajet du signal dans la pluie donne par la relation suivante :

$$d = \frac{(h_R - h_S)}{\sin \theta} \quad [28]$$

Avec :

D : trajet terre-satellite.

h_R : altitude des précipitation, se calcule comme suite :

$$h_R \text{ (Km)} = \begin{cases} 5 - 0.075(\alpha - 23) & \text{pour } \alpha > 23^\circ & \text{Hémisphère Nord} \\ 5 & \text{pour } 0^\circ \leq \alpha \leq 23^\circ & \text{Hémisphère Nord} \\ 5 & \text{pour } 0^\circ \geq \alpha \geq -21^\circ & \text{Hémisphère Sud} \\ 5 + 0.1(\alpha + 21) & \text{pour } -71^\circ \leq \alpha \leq -21^\circ & \text{Hémisphère Sud} \\ 0 & \text{pour } \alpha < -71^\circ & \text{Hémisphère Sud} \end{cases} \quad [30]$$

h_s : altitude de la station de réception.

θ : angle d'élévation de l'antenne de réception.

k et α sont deux coefficients dépendants de la fréquence, ils sont donnés dans le tableau suivant :

Fréquence (Ghz)	α	k
01	0.940	0.000369
02	0.943	0.000146
04	1.098	0.000620
06	1.286	0.001650
08	1.318	0.004240
10	1.270	0.009485
12	1.208	0.617800
15	1.141	0.036100
20	1.082	0.072100
25	1.045	0.118500
30	1.010	0.177000
35	0.971	0.248000
40	0.934	0.330000

Tab II.2: Les coefficients k et α .

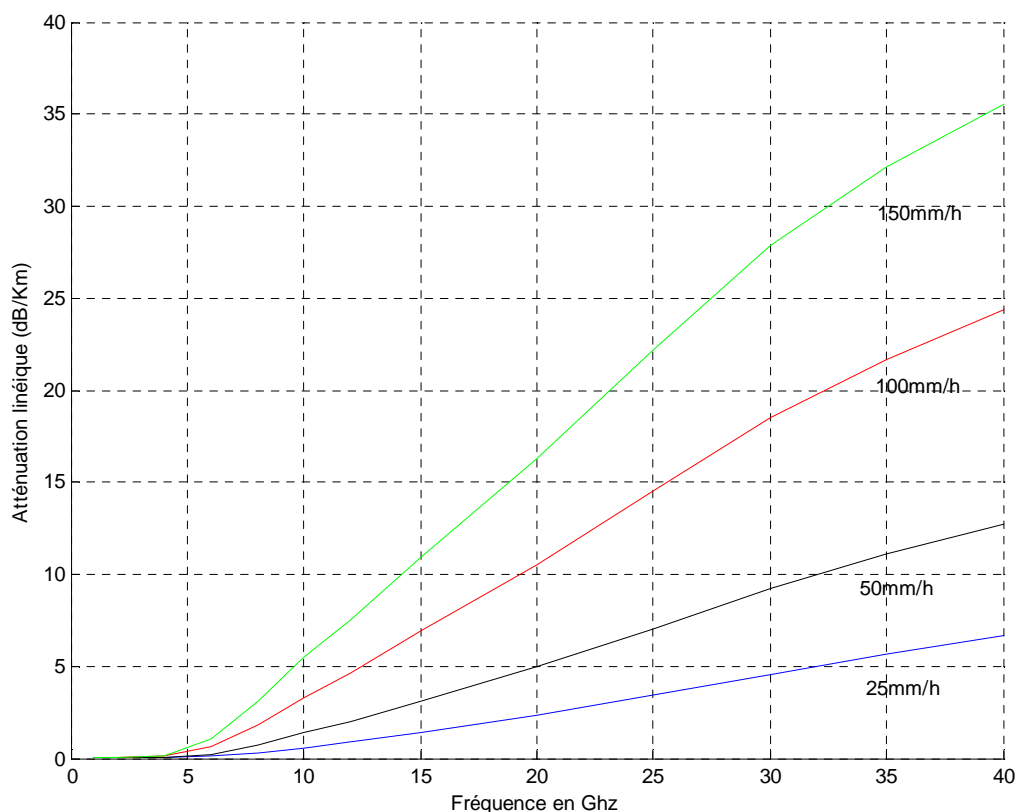


Figure II.6 : l'atténuation linéique due a la pluie en fonction de la fréquence.

La Figure II.6 montre que l'atténuation linéique en dB/Km due par la pluie est proportionnelle à la fréquence de travail et au taux de précipitations

Conclusion :

Les phénomènes météorologiques provoquent des affaiblissements qui sont parfois très importants. Dans le cas des trajets terre-satellite ou satellite-terre, ce problème a été très étudié aussi bien du point de vue expérimental que théorique. Et c'est ce qu'on va présenter dans le prochain chapitre par le moyen de quelques expérimentations pratiques sur une liaison DVB-s.

Introduction :

Afin de démontrer expérimentalement l'affaiblissement dû aux phénomènes météorologiques, nous avons réalisé une liaison descendante en se connectant à un satellite de la norme DVB-s et l'aide d'un coupleur, que nous avons réalisé. Nous avons mesuré la puissance reçue par le système de réception. Par une méthode choisie on déduit, expérimentalement en fonction de la puissance reçue, l'affaiblissement dû aux phénomènes météorologiques.

III.1.Elaboration d'une liaison descendante de la norme DVB-s :

Elaboration d'une liaison descendante DVB-s revient à l'installation et la configuration des éléments des systèmes de réception. Les systèmes de réception d'une liaison descendante dans un réseau DVB-s, ont une infrastructure allégée : une antenne parabolique équipée d'un LNB (Low Noise Block), appelé aussi tête de réception, et un démodulateur. Ce type d'équipement est peu coûteux et facile à installer.

Les ondes électromagnétiques émises par le satellite sont concentrées par le réflecteur parabolique sur la tête de réception. La tête est reliée au démodulateur par un câble coaxial d'impédance 50 ohms, dans lequel transitent différents signaux contenant les informations (vidéo et son).

III.1.1. Présentation d'une liaison descendante de la norme DVB-s :

III.1.2. Présentation de quelques éléments du système de réception :

III.1.2.1. L'antenne parabolique :

L'antenne utilisée pour la réception dans la norme DVB-s est l'antenne parabolique, c'est elle qui capte le signal venant du satellite et qui le concentre vers le LNB. Puisque dans liaison descendante des réseaux DVB-s utilisent La bande Ku, alors la catégorie des paraboles utilisées est la parabole offset (à foyer décalé). Par construction, le LNB ne se trouve pas au foyer de la parabole mais décalé vers le bas. Sa forme n'a pas une forme

parabolique mais ovale. Cette astuce permet d'éviter l'atténuation liée au convertisseur et à son support qui ne masque plus le signal reçu par la parabole comme le montre la figure III.1.

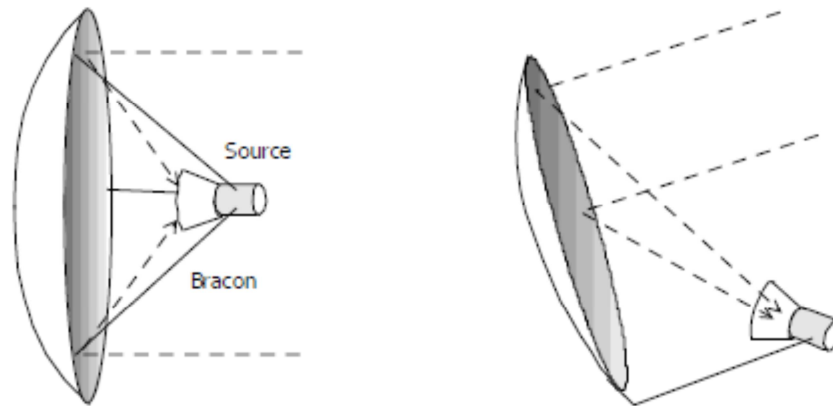


Figure III.1: la parabole offset et la parabole à foyer centré.

III.1.2.2. La tête de réception (LNB):

La tête de réception ou bien le LNB (Low Noise Block) est un objet technique complexe qui se compose des éléments suivants :

- Un cornet
- Un polariseur
- Un amplificateur faible bruit (LNA : Low Noise Amplifier)
- Un convertisseur de fréquence faible bruit (LNC : Low Noise Converter)



Figure III.2 : une tête de réception LNB.

III.1.2.3. Démodulateur :

Aussi appelé récepteur ou par extension tuner satellite. Cet appareil peut recevoir un signal modulé en hautes fréquences et le transformer en informations basses fréquences. En réception satellite, il permet l'obtention des signaux audio, vidéo et données véhiculées par une onde porteuse, afin de les restituer via les circuits du téléviseur. De plus, il alimente la tête de réception à travers le même câble coaxial que celui utilisé pour la vidéo et le son.



Figure III.3 : le démodulateur.

III.1.3. Description du système de réception DVB-s expérimenté

Le schéma synoptique de notre système de mesure de l'atténuation est donné en figure III.4. Le cornet est un guide ondes circulaire son rôle est de permettre une transition adaptée, dans le sens de réception pour les ondes électromagnétiques réfléchies par la parabole, entre la propagation guidée et la propagation libre.

Le LNB assure les fonctions suivantes :

- ❖ La réception des ondes émises horizontalement ou verticalement à l'aide d'un polarisateur interne commandé par la tension d'alimentation fournie par le démodulateur via le câble coaxial. Lorsque la tête est alimentée sous 13 volts, l'antenne verticale est sélectionnée, les ondes émises verticalement sont reçues ; tandis que lorsque la tête est alimentée sous 18 volts, l'antenne horizontale est sélectionnée, les ondes émises horizontalement sont reçues.
- ❖ Le signal recueilli par l'antenne parabolique puis transité au cornet est trop faible pour pouvoir l'exploiter directement, alors le LNA intervient pour l'amplifier.
- ❖ La transposition des fréquences des ondes reçues dans la bande intermédiaire (0,95GHz – 2,15GHz) par le convertisseur faible bruit (LNC). Ceci dans le seul but de permettre l'utilisation de câbles coaxiaux 50 Ohms standards. Les fréquences basses (10,7GHz – 11,7GHz) sont ramenées dans la plage (950MHz – 1950MHz) à l'aide

d'un oscillateur local fonctionnant à 9,75GHz ; tandis que les fréquences hautes (11,7GHz – 12,75GHz) sont ramenées dans la plage (1100MHz – 2150MHz) à l'aide d'un oscillateur local fonctionnant à 10,6GHz.

Les porteuses en fréquence intermédiaire sont filtrées puis démodulées par le démodulateur afin d'obtenir les signaux en bande de base exploitable par le système d'acquisition vidéo/audio (téléviseur).

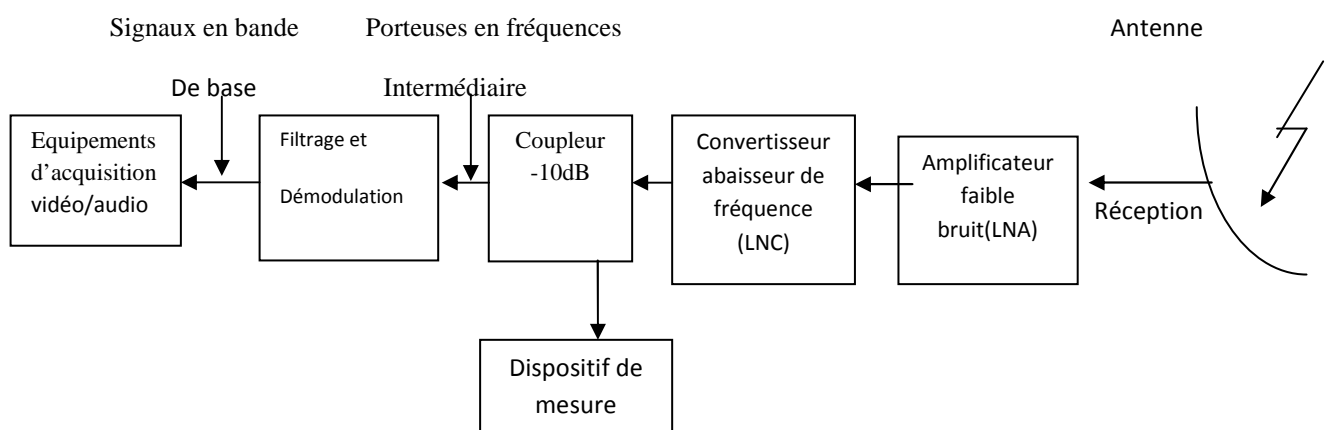


Figure III.4: Schéma fonctionnel du système de réception.

Les caractéristiques du système de réception sont résumées sur le tableau suivant :

Antenne	-Diamètre : 1 mètre - Gain =38 dB
Tête de réception	-Marque : Géant - Fréquences d'oscillations : 9,75GHz et 10,6GHz. -Gain =55 dB .
Démodulateur numérique	-Marque :Géant. - Fréquence Intermédiaire : [0.95 ; 2.14]

III.1.4.Installation et Configuration de système de réception :

III.1.4.1.Positionnement de l'antenne :

La réception de l'émission d'un satellite en DVB nécessite le positionnement précis de l'antenne de réception. La meilleure efficacité est obtenue pas des antennes paraboloides.

Les satellites de transmissions DVB sont géostationnaires et par conséquent le positionnement de l'antenne vers un satellite donné reste constant.

La détermination des angles (site et azimut), à partir de la position (latitude et longitude) de la station et de celle du satellite, peut se faire par calcul ou par abaque.

La figure III.5 ci-dessous représente la parabole de nos manipulations installée à Tizi-ouzou et pointée sur le satellite « hot Bird » positionné à 13° est sur l'orbite géostationnaire.

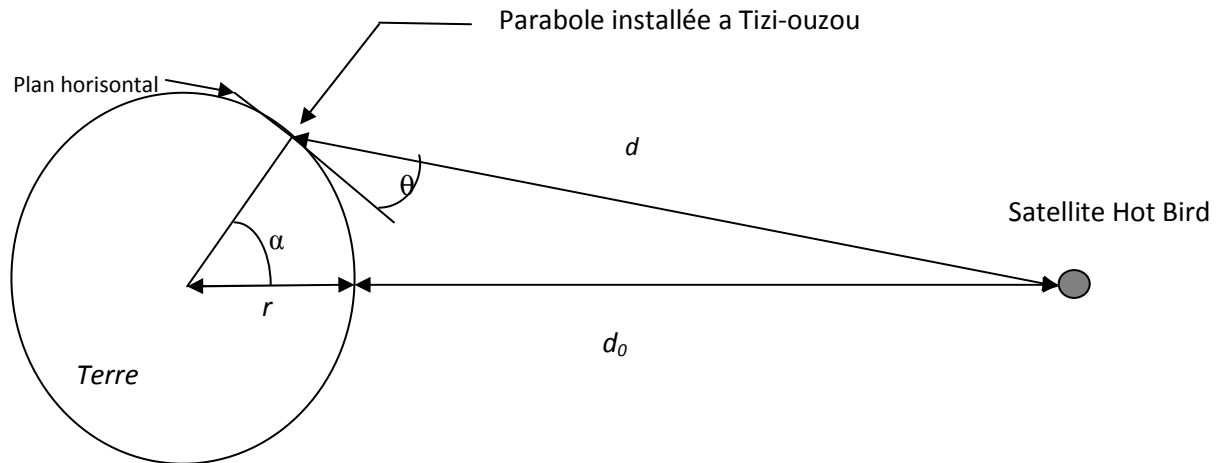


Figure III.5: illustration des paramètres de la liaison satellite.

III.1.4.2. Calcul de l'orientation :

L'application de quelques règles de trigonométrie sphérique permettent de calculer les angles de positionnement telle que :

α : latitude de la station.

λ : différence de longitude entre la station et le satellite.

➤ Angle de Site

L'angle de site θ , aussi appelé angle d'élevation, peut être calculé par :

$$\cos \theta = \frac{r+d_0}{d} \sqrt{1 - (\cos \alpha)^2 * (\cos \lambda)^2} \quad [32]$$

Avec :

r = rayon de la terre (**6378 km**)

d_0 = altitude du satellite (**35786 km** si géostationnaire)

$r+d_0$ = distance centre de la terre - satellite (**42164 km** si géostationnaire)

d = distance station - satellite calculé par la formule :

$$d^2 = d_0^2 + 2 r (r + d_0)(1 - \cos \alpha \cos \lambda) \quad [33]$$

➤ Azimut

L'azimut de l'antenne est l'angle qu'elle doit faire avec le sud, il peut être calculé par :

$$\sin(Az) = \frac{\sin \lambda}{\sqrt{1 - (\cos \alpha)^2 (\cos \lambda)^2}} \quad [34]$$

III.1.4.3. Calcul de l'orientation dans notre liaison :

Pointer l'antenne située a **Tizi ouzou** (longitude=4°30' Ouest et latitude=36°43' Nord) au satellite **Hot bird** (13° Est).

$$\alpha = 36.71^\circ$$

$$\lambda = 13^\circ + 4.5^\circ = 17.5^\circ$$

$r = 6378 \text{ km}$, $d_0 = 35786 \text{ km}$, on calcule que $d = 38452 \text{ km}$

$$\text{d'où } \cos \theta = 0,849 \quad \theta = 47,44^\circ$$

$$\sin Az = 0,388 \quad Az = 27,8^\circ \text{ (vers l'Est).}$$

III.2. Conception du coupleur directionnel -10dB :

La réalisation d'un coupleur directionnel en ligne micro ruban ayant un affaiblissement de couplage précis, -10dB dans notre cas, est à notre portée. Ce coupleur directionnel est le moyen qu'on a utilisé pour la mesure de puissance reçue.

Un coupleur directionnel est un dispositif qui permet de mesurer la transmission d'énergie le long d'une ligne. Il s'insère sur la ligne, par exemple entre l'émetteur et l'antenne, et mesure le courant HF qui circule dans celle-ci en prélevant une petite partie de ce courant. Pour une raison pratique, dans notre cas nous avons conçu un coupleur directif en technologie micro-ruban travaillant sur la ligne de la FI (au tour de 1.6 GHz).

III.2.1. Principe d'un coupleur directionnel en micro ruban :

Un coupleur directionnel est constitué d'un tronçon de ligne de même impédance que celle sur laquelle il sera utilisé, par exemple 50 ou 75 ohms. Parallèlement à l'âme de la ligne est placée à quelques millimètres de celle-ci une ligne de mesure comme le montre

la Figure III.6. Le courant qui circule du port P1 au port P2 dans la ligne principale induit un courant dans la ligne de mesure et provoque l'apparition d'une tension entre les deux armatures du condensateur que forment les deux lignes. Dans un coupleur parfait les signaux générés par ces deux phénomènes s'additionnent dans le sens direct et s'annulent dans le sens inverse. Lorsqu'un courant circule dans la ligne principale du coupleur, une fraction (un échantillon) de ce courant se retrouve à l'autre extrémité (port P3) de la ligne de mesure. Dans un coupleur parfait, le rapport entre le courant utile allant de l'émetteur vers l'antenne et le courant prélevé est constant. On peut donc connaître les variations d'amplitude de l'un en mesurant celle de l'autre.

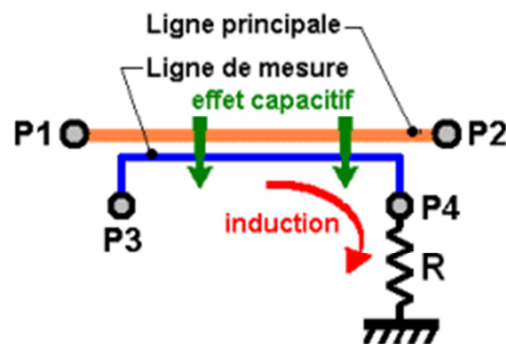


Figure III.6: principe d'un coupleur directionnel.

Le rapport entre la puissance véhiculée P_e sur la ligne principale et la puissance prélevée pour la mesure P_{mes} est le *facteur de couplage*. On l'exprime en décibels à l'aide de la formule suivante:

$$F_c = 10 \log_{10} \left(\frac{P_e}{P_{mes}} \right).$$

P_e et P_{mes} sont exprimées en Watt.

Dans notre réalisation que va faire $F_c = 10 \text{ db}$, c'est à dire que $P_e = 10 P_{mes}$.

III.2.2. Dimensionnement du coupleur :

A l'aide du logiciel « RFSim992 » très complet nous fournit un ensemble de calculs sur les filtres, atténuateurs, abaque de Smith et les coupleurs, nous avons réussie à dimensionner aisément.

Il faut tout d'abord disposer des caractéristiques RF physiques du substrat utilisé. Dans notre cas on utilise, pour une fréquence maximum 2.4 GHz, une plaque de 1,6 mm d'épaisseur, qui a une épaisseur de la surface de cuivre de 35 μ et dont la résistivité du diélectrique époxy (ϵ_r) est de 4,32.

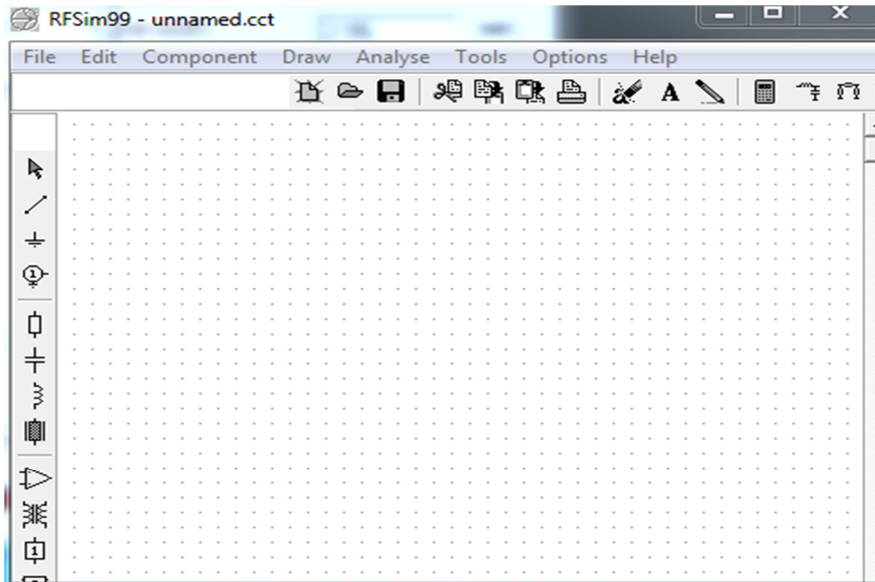


Figure III.7: le logiciel « RFSim992 ».

Dans le menu « Tools, Component, Coupler » de RFSim99 un calcul très facile de coupleurs directionnels est proposé. En cliquant sur « Coupler », on ouvre la fenêtre ci-contre (la figure III.8).

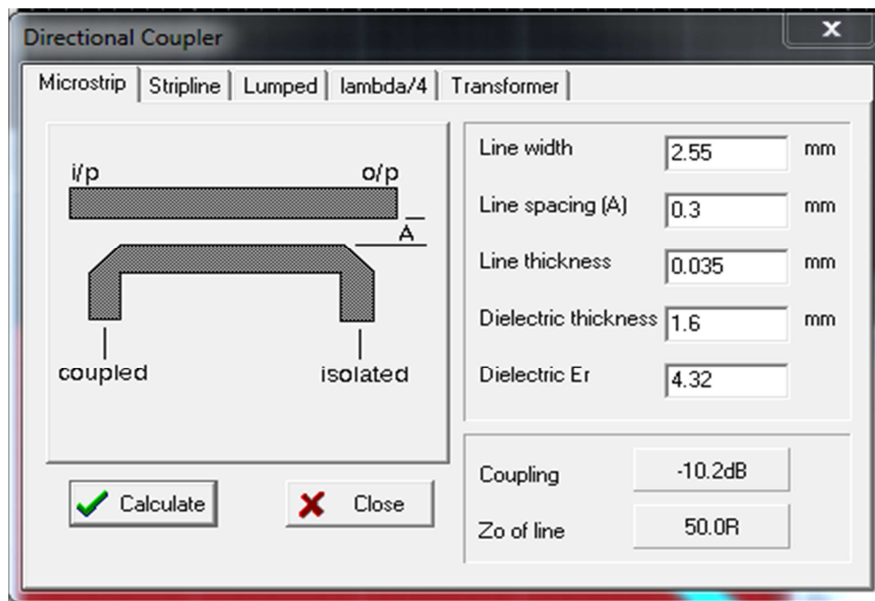


Figure III.8: calcul de la largeur des lignes et la distance entre eux.

Nous connaissons :

- Line thickness (épaisseur de la surface de cuivre) : 0,035mm
- Dielectric thickness (épaisseur du dielectr) : 1.6mm
- Dielectric Er (résistivité du diélectrique): ϵ_r 4,32

Nous calculons :

- Line width (largeur des lignes) : 2.55mm
- Line spacing(A) : distance entre deux lignes : 0.3mm

Avant de commencer la réalisation du coupleur, nous avons utilisé ces différents résultats obtenus ci-dessus sous PROTEUS afin de dessiner son typon. (La figure III.9).



Figure III.9: typon du coupleur réalisé en échelle 1/1.

III.2.3. Réponse fréquentielle du coupleur :

Le procédé de caractérisation du coupleur en fréquence consiste à mesurer la réponse fréquentielle dans la gamme [0.95-2.15] GHz en utilisant un générateur de hautes fréquences et un wattmètre. Mais faute de moyens, nous avons adopté un autre procédé, qui consiste à utiliser le démodulateur numérique avec lequel on sélectionne des canaux de télévision qui correspondent aux fréquences de travail désirées. La réponse fréquentielle est calculée grâce à l'intensité du signal affiché sur l'écran d'un téléviseur relié au démodulateur. Le coupleur -10 dB, ainsi testé, présente la réponse fréquentielle donnée en figure III.10 et donne un coefficient de couplage maximal d'environ 10 dB à la fréquence de 1.6 GHz.

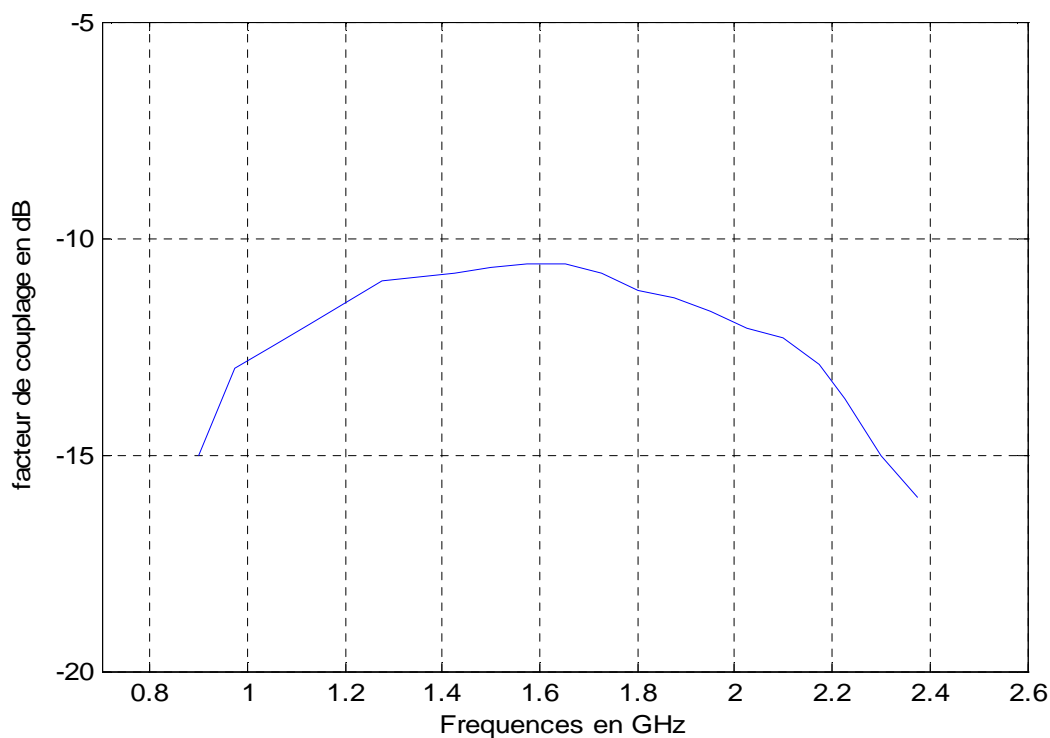


Figure III.10: la réponse fréquentielle du coupleur.

III.3 Mesure de l'affaiblissement dû aux phénomènes météorologiques :

III.3.1. Principe de mesure :

Pour déterminer l'atténuation dû aux phénomènes météorologiques, on fait plusieurs mesures de puissance reçue pour les différents états d'atmosphères (pluvieux, nuageux, ciel clair...). On considère dans ce travail la mesure pour le ciel clair comme la mesure de référence.

III.3.2. La méthode de mesure des atténuations:

La méthode consiste à placer le coupleur entre la tête de réception et le démodulateur, comme le montre la figure III.11. La sortie de mesure du coupleur doit être reliée à un oscilloscope pour visualiser la puissance mesurée. Toutes les sorties sont adaptée à 50 ohms.

La même méthode utilisée pour représenter la réponse fréquentielle du coupleur est adoptée pour mesurer les puissances reçue ainsi que les atténuations. Dans ce cas nous avons

fixé la fréquence à 1.6 GHz et nous avons procédé aux mesure de puissance reçues dans les différentes états de l'atmosphère.

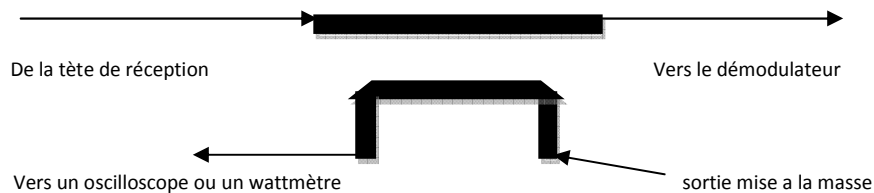


Figure III.11 : schéma synoptique du montage de mesure.

La puissance mesurée est une fraction de la puissance totale reçue par la tête de réception (puissance couplée avec un facteur de couplage de 10 dB), alors :

$$\text{La puissance totale reçue} = 100 * \text{la puissance mesurée.}$$

Les mesures prises sont faites pour trois états d'atmosphères (pluvieux : le 28/08/2013, nuageux : le 26/08/2013 et ciel clair : le 03/08/2013), avec une fréquence de travail $f = 11.35\text{GHz}$ de la bande Ku sélectionnée à partir du démodulateur. 24 mesures sont prises avec un écart de cinq minutes entre deux mesures durant deux heures du temps pour chacun des états d'atmosphères.

La mesure en ciel clair consiste à prendre la valeur maximale de la puissance reçue comme valeur de référence. Ainsi, les atténuations sont calculées comme suite :

$$\text{Atténuation (dB)} = \text{valeur de référence (dBm)} - \text{la puissance reçue (pluie ou nuages) (dBm)}$$

III.3.3. Discussion des résultats obtenus :

On remarque à partir de la figure III.12 que les puissances prises pour le ciel clair ont un petit intervalle de variation ($[-40 ; -35]$ dBm) dont on a pris la valeur maximum comme valeur de référence, ces variations sont dues à l'absorption électromagnétique des composants constituant l'atmosphère (eau, O₂,...), la réflexion par les couches de l'atmosphère et les pertes dans le système réception.

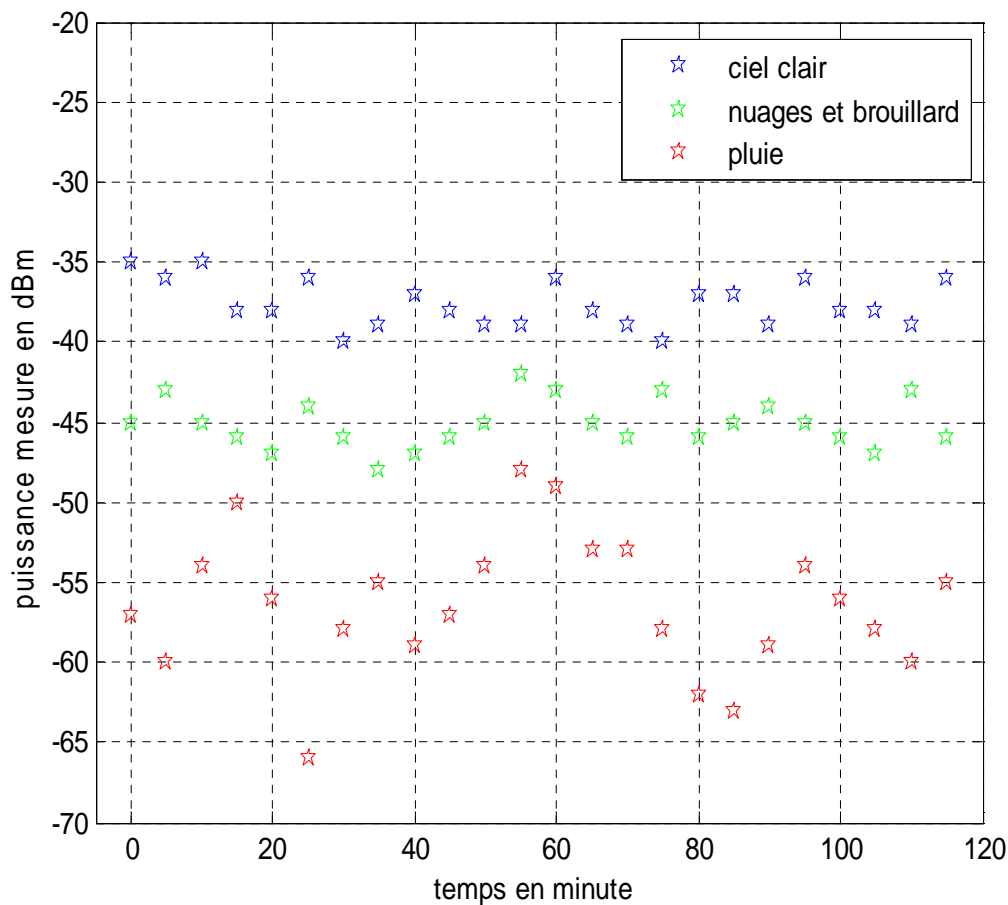


Figure III.12 : puissances mesurées durant deux heures du temps.

Le taux de précipitation, la hauteur des précipitations, l'angle d'élévation de l'antenne de réception, la quantité de vapeur d'eau et la taille des gouttes d'eau sont les paramètres qui agissent sur les variations d'atténuations observées et illustrées dans la figure III.13. Ainsi qu'il faut noter qu'une partie de l'atténuation par la pluie est causée par les nuages et le brouillard.

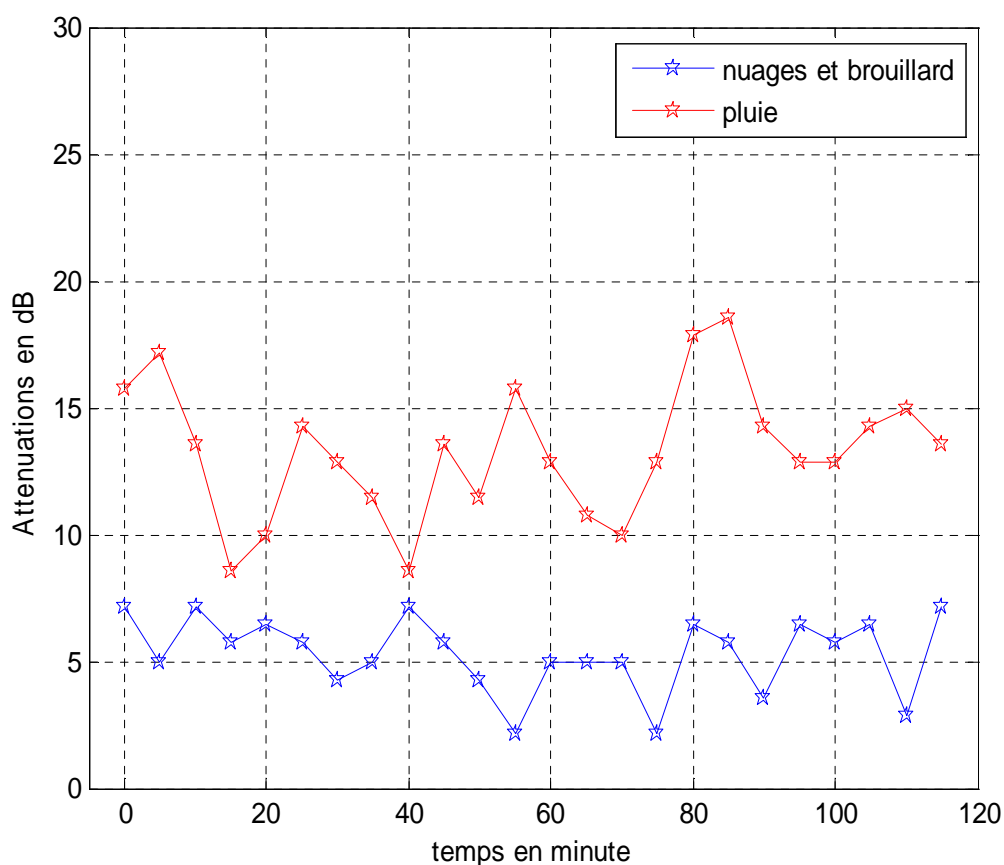


Figure III.13 : Les atténuations calculées pour une journée (2h).

On remarque aussi que la méthode suivie nous a conduit à des résultats acceptables, du fait que les mesures prises sont approximativement les mêmes dans la théorie.

Pour les atténuations dues par pluie représentées sur la figure III.13 sont des atténuations totales pour le long du trajet des signaux dans la pluie. On peut calculer l'atténuation linéique (dB/Km) en divisant l'atténuation totale par la longueur du trajet. Puis on utilise la figure II.6 du chapitre précédent, qui représente l'atténuation linéique due à la pluie en fonction de la fréquence, pour comparer nos résultats expérimentaux à celles de la théorie.

Ainsi, nous avons estimé le taux des précipitations de la pluie durant le temps de mesure pour trois valeurs des atténuations (valeur maximale = 18,57 dB, valeur au hasard = 14,28 dB et une valeur minimale = 10,00 dB), illustrées dans la figure III.14.

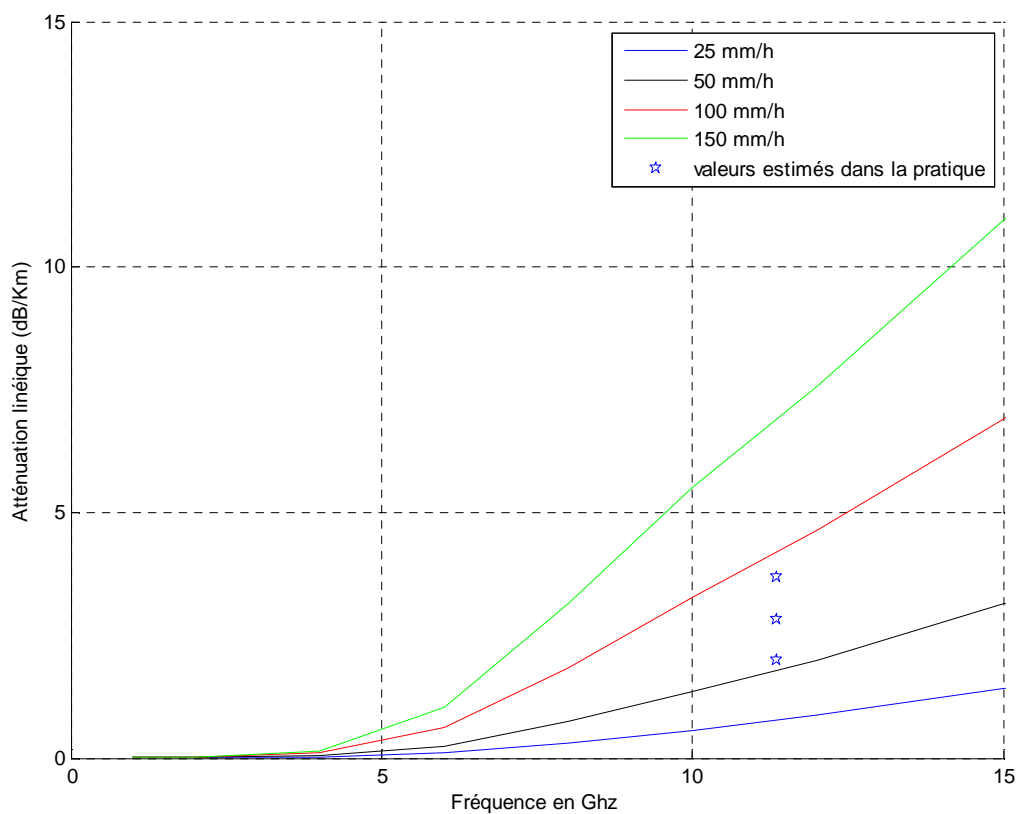


Figure III.14 : les valeurs estimées des précipitations dans la pratique.

Conclusion :

Dans notre modèle expérimental de calcul des atténuations, l'affaiblissement dû aux phénomènes météorologiques a été bien démontré, en vérifiant quelques résultats à la théorie développée dans le chapitre précédent.

CONCLUSION GENERALE:

Dans la présente étude, on a évalué, à partir des données théoriques d'affaiblissement du signal satellite dans l'atmosphère et procédé à une mesure de cet affaiblissement en installant un système de mesure travaillant avec une liaison descendante du standard DVB-s d'un satellite géostationnaire dans la bande Ku. Des données pratiques de mesures ont été collectées par ce système par le moyen d'un coupler directif -10dB, que nous avons conçu, qui s'insère sur la ligne de transmission FI, au tour de 1.6 GHz, vers le démodulateur numérique. Ainsi, nous avons collectées des données de l'affaiblissement au cours de trois états de l'atmosphère, en ciel clair, ciel couvert et en présence de la pluie. L'analyse de ces données nous ont permis de constater que le signal est très atténué à la réception par la pluie et à degré moins par les nuages ou brouillard. A mesure que l'angle d'élévation diminue ou que la fréquence augmente, ces dégradations s'aggravent de plus en plus.

Bien que le système que nous avons mis en pratique pour la mesure de l'affaiblissement du signal sur une liaison satellitaire fonctionne correctement, le système conçu reste à améliorer pour une acquisition numérique automatique sur une assez grande période pour constituer une banque de données suffisante pour modéliser l'affaiblissement dans ce genre de liaisons. Ainsi, ce système pourrait être utilisé pour caractériser l'affaiblissement de propagation et améliorer l'exploitation des liaisons satellites. Par ailleurs, en développant un modèle d'inversion on pourrait utiliser ce système comme un nœud dans un réseau de mesure volumique des précipitations.

Ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances dans le domaine des systèmes de télécommunications par satellite ainsi que la propagation électromagnétique dans l'atmosphère. Enfin, nous espérons que notre mémoire servira pour les futures études et permettra d'aller encore plus loin dans ce domaine.

Glossaires

OBP: On-Board Processing

GEO: Geostationary Earth Orbit

MEO: Medium Earth orbit

LEO: Low Earth orbit

GPS: Global Positioning System

PVR: Personal Video Recorder

VoIP: la voie sur IP

VSAT: Very Small Aperture Terminal

TDMA: Time Division Multiple Access

FDMA: Frequency Division Multiple Access

CDMA: Code Division Multiple Access

DVB: Digital Video Broadcasting.

DVB-T: Digital Video Broadcasting-Terrestrial

DVB-C: Digital Video Broadcasting-Cable

DVB-S: Digital Video Broadcasting-Satellite

MPEG: Moving Picture Experts Group

PES: Packetised Elementary Stream

MPE: Multi-Protocol Encapsulation

ACM: Adaptive Coding and Modulation

LDPC: Low-Density Parity-Check

BBFRAME: Base Band FRAME

DVB-RCS: Digital Video Broadcast – Return Channel Satellite.

NCC : Network Control Centre

PIRE: **P**uissance **I**sotrope **R**ayonnée **E**ffective

LNB: Low Noise Block

LNA : Low Noise Amplifier

LNC : Low Noise Converter

Bibliographie

➤ Livres :

- Maral Gérard, les systèmes de télécommunication par satellite, 2^{eme} Ed, révisé, 1982.
- René Besson, Réception TV par satellite, 3^{ème} Ed, 2000.
- Benoit Hervé, la télévision par satellite : Analogique et numérique, 2^{eme} Ed, 2005.
- Sauvageot Henri, radarmétéorologie télédétection de l'atmosphère, 1982.
- Michael O. Kolawole, Satellite Communication Engineering, Marcel Dekker, 2002.

➤ Mémoires :

- Ourahmonne Lounes, les systèmes de télécommunication par satellite, 2011.
- Ikani Ghenima, techniques de transmission des signaux vidéo par satellite, 2006.

➤ Documents pdf :

- F. MOUPFOUMA, Rain induced attenuation and satellite microwave links, Télécommun, 42, n^o9-10, 1987.
- R.R. ROGERS, R.L. OLSEN, J.I. STRICKLAND, G.M. COULSON, Statistics of different rain attenuation on adjacent earth-space propagation paths, Télécommun, 37, N^o11-12, 1982.
- J. TIFFON, Etude de l'affaiblissement de propagation à 13GHz dû aux précipitations tropicales, Télécommun, 38, N^o5-6, 1983.
- F. FEDI, U. MERLO, P. MIGLIORINI, Effect of rain structure on rain induced attenuation, Télécommun, 32, N^o11-12, 1977.
- D. Grenier, Antennes et Propagation radio, Université Laval Québec, Canada, 2013.

➤ Sites internet :

- <http://www.propagation.gatech.edu>
- <http://www.latmos.ipsl.fr/>
- <http://www.loyola.edu/satcom2>

L'impact des phénomènes météorologiques sur une liaison satellite : cas d'une liaison DVB-s

Résumé :

Ce mémoire aborde le problème de l'affaiblissement du signal par les phénomènes météorologiques dans une liaison satellite fonctionnant dans la bande Ku (10.7-18 GHz), en prenant en considération que le signal envoyé par l'émetteur est atténué par ces phénomènes et la fraction arrivant au récepteur est réduite, malgré les gains des antennes et des l'amplificateur. Le signal est donc dégradé.

A partir des données théoriques d'affaiblissement du signal satellite dans l'atmosphère, on a évalué un procédé de mesure de cet affaiblissement en installant un système de mesure travaillant avec une liaison descendante du standard DVB-s d'un satellite géostationnaire dans la bande Ku. Des données pratiques de mesures ont été collectées par ce système par le moyen d'un coupler directif -10dB, que nous avons conçu, qui s'insère sur la ligne de transmission FI, au tour de 1.6 GHz, vers le démodulateur numérique.

Mots clés :

*Télécommunication par satellite, Affaiblissement d'onde, Propagation d'onde
Perturbations météorologiques, liaison satellite.*

Liste des figures

Figure I.1 : les différentes orbites satellitaires.	5
Figure I.2 : liaison pont a point.	12
Figure I.3 : liaison de plusieurs stations au même nœud central.....	12
Figure I.4 : Réseau satellitaire géostationnaire en étoile.....	13
Figure I.5: Réseau satellitaire géostationnaire maillé	14
Figure I.6 : la chaîne de codage et de multiplexage.	15
Figure I.7 : Pile de protocoles DVB-S pour les flux MPEG-2.....	16
Figure I.8 : Chaîne de transmission DVB-S.....	18
Figure I.9 : Architecture DVB-S2 avec ACM.....	19
Figure II.1: Illustration du gain d'une antenne.....	24
Figure II.2 : Exemple de diagramme de rayonnement.	25
Figure II.3 : le trajet des signaux dans une liaison satellite.....	29
Figure II.4 : Absorption à la traversée verticale de la troposphère	32
Figure II.5 : Représentation schématique d'un trajet Terre-espace donnant les paramètres nécessaires pour le calcul de l'affaiblissement	35
Figure II.6 : l'atténuation linéique due a la pluie en fonction de la fréquence.....	37
Figure III.1: la parabole offset et la parabole à foyer centré.	39
Figure III.2 : une tête de réception LNB.	39
Figure III.3 : le démodulateur.	40
Figure III.4: Schéma fonctionnel d'un système de réception :	41
Figure III .5 : illustration des paramètres de la liaison satellite.	42
Figure III.6 : principe d'un coupleur directionnel.....	44
Figure III.7 : le logiciel « RFSim992 ».	45
Figure III.8: calcul de la largeur des lignes et la distance entre eux.	45
Figure III.9: typon du coupleur réalisé.....	46
Figure III.10: la réponse fréquentielle du coupleur.....	47
Figure III.11 : schéma synoptique du montage de mesure.....	48
Figure III.12 : puissances mesurées durant deux heures du temps.	49
Figure III.13 : Les atténuations calculées durant deux heurs (2h).	50
Figure III.14 : les valeurs estimées des précipitations dans la pratique.....	51

