

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D' INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D' ELECTRONIQUE

**Mémoire de Fin d'Etudes
de MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : **Sciences et Technologies**

Filière : **Génie électrique**

Spécialité : **Télécommunication et réseaux**

Présenté par
Rabah Abdelhamid
Sid Ali Adghar

Thème

**Étude et réalisation d'une chaine de
diffusion par satellite en utilisant la
norme DVB-S et DVB-S2 : cas du
bouquet MCPC de TDA vers le satellite
Eutelsat 7 W A**

Mémoire soutenu publiquement le 06/07/2017 devant le jury composé de :

M Mohand TAHANOUT

Maitre de conférences, UMMTO, Encadreur

M Maamar BOUDENE

Doctorant en Télécom, Télédiffusion d'Algérie, Co-Encadreur

Remerciements

Nous remercions le «bon Dieu» pour sa clémence et sa miséricorde de nous avoir donné la force et le courage pour réaliser ce mémoire.

Nous tenons à remercier vivement :

- Le promoteur M.Tahanout pour son entière disponibilité, sa patience, son orientation et ces conseils qu'il n'a cessé de nous apporter soit de près ou de loin.
- Le co-promoteur et encadreur durant notre stage M.Boudene pour son aide précieuse et tous son temps qu'il nous a consacré.
- Les membres de jury pour avoir accepté d'examiner et juger ce travail.
- Les enseignants du département de génie électrique et informatique qui ont contribué à notre formation.
- Le personnel de : l'entreprise de télédiffusion d'Algérie pour leurs précieuse aide.

Dedicaces

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail

A la lumière de ma vie, mes chers parents :

Ma très chère mère à qui je souhaite une longue vie pleine de bonheur et de santé,

Mon très chère père; sans lui je ne serais pas ce que je suis au jour d'aujourd'hui.

Mes très chères grand mères aux quelles je souhaite une longue vie.

Mes très chères frères : Ahmed, Makhlof :

Mes très chères sœurs : Fatima, Kahina et son mari Badredine et leurs fille Imane.

Qui me ont toujours soutenues.

A mes oncles et leurs familles.

A mes tantes et leurs familles.

A la mémoire de mon oncle Salah et ma tante Houria.

A mes copains de chambre : Adel et Aziz.

A mes amis d'enfance : Kamel, Mustafa, Morane et Hocine.

Une attention spéciale pour mon amie et mon frère : Mehdi pour son soutien continu et ces précieux conseils qui m'illuminent à chaque fois.

A mon collègue et mon amie avec le quelle j'ai partagé ce travail : Rabah et toute sa famille.

A toute la promotion Réseaux et Télécommunications 2016/2017.

Sid Ali

Dédicaces

Je dédie ce modeste et humble travail à:

Mes chers parents, qui n'ont jamais cessé de m'encourager et me soutenir,

Mon très cher frère Djamel,

Mes très chères sœurs : Karima, Lynda et son mari Brahim et leurs fille et fils,

Ma chère grande mère,

La mémoire de mes grands parents,

Mes oncles et mes tantes et leurs familles,

Mes chères cousines Hanane et Sabrina,

Mes amis : Yacine, Hakim, Sofiane, Adel, Aziz...

Mon binôme et mon ami Sid Ali et sa famille,

Toute la promotion Réseaux et Télécommunications 2016/2017.

Rabah.

Sommaire

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Glossaire

Introduction générale.....	1
Présentation de l'organisme d'accueil	3
Chapitre 1: Généralités sur les systèmes de diffusion numérique	
1.1. Introduction.....	7
1.2. Présentation générale de la télécommunication par satellite.....	7
1.2.1. Le satellite.....	7
1.2.2. Composition d'un satellite.....	7
1.2.3. Principe d'une liaison satellite	9
1.2.4. Caractéristiques d'un lien satellite	9
• Les orbites	10
• Les bandes de fréquences	12
1.2.5. Les facteurs intervenant dans une liaison satellitaire	13
• La puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE)	13
• L'Affaiblissement pendant le trajet	14
• Le Gain à l'entrée du récepteur.....	14
• Rapport C/N (carrier/noise ou porteuse/ bruit).....	14
• Facteur de qualité G/T de la station	15
1.2.6. Les services de télécommunication par satellite	15
a) La téléphonie	16
b) La télédiffusion.....	16
c) La transmission de données	17
• Les réseaux d'entreprise VSAT	17
• La radiomessagerie	17

Sommaire

• L'internet par satellite	18
d) Accès large bande et services multimédias	18
1.2.7. Les méthodes d'accès	18
a) L'accès multiple par répartition de fréquence(FDMA)	19
b) Accès multiple par répartition temporelle(TDMA)	19
c) Accès multiple par répartition de fréquence(CDMA)	19
d) Accès multiple par répartition spatiale (MF-TDMA)	20
e) L'OFDM	20
• Le COFDM	21
1.2.8. Les différentes zones relatives à la transmission par satellite	21
a) Zone de visibilité	22
b) Zone de couverture	22
c) Zone à servir	22
1.2.9. Les types de satellites et leurs orbites	22
a) LEO (L'orbite de l'observation de la Terre)	22
b) GEO (Le domaine des télécommunications)	23
b) MEO (GPS, Galileo..., le réseau de la navigation)	23
1.3 Les standards DVB	23
1.3.1. Définition	23
1.3.2. Présentation du standard DVB	24
1.3.2.1. Les données	25
a) Le signal audio	25
b) Le signal video	25
• La vision	25
• La couleur	25
• L'image	25
• La video	26
1.3.2.2. La numérisation	27
• Échantillonnage	27

Sommaire

• Résolution et quantification	27
• Cas d'un signal video	27
1.3.2.3. Codage source	28
1.3.2.4. Codage canal et modulation	29
a) Le codage canal	29
b) La modulation	29
1.3.2.5. L'émission	30
1.3.3. Les sous standards de la diffusion numérique DVB	30
a) DVB-T	30
b) DVB-T2	31
c) DVB-C.....	32
d) DVB-H.....	32
e) DVB-S.....	33
1.4. Conclusion	34

Chapitre 2: Le système DVB-S2

2.1. Introduction.....	35
2.2. La chaine de transmission DVB-S.....	35
2.2.1. Les principaux paramètres d'une chaine DVB-S.....	36
2.2.1.1. Le codeur Reed Solomon.....	37
2.2.1.2. L'entrelaceur.....	38
2.2.1.3. Le codeur convolutif et poinçonnage.....	40
2.2.1.4. Le modulateur QPSK.....	40
2.3. Le standard DVB-S2	41
2.3.1. Caractéristiques du DVB-S2	41
2.3.1.1. Chaine de transmission DVB-S2.....	41
• Codage avancé	42

Sommaire

• Ordre de modulation supérieur	42
• Plusieurs formats de données	43
• Modulation et codage variable	43
• Modulation et codage adaptif	44
2.4.2. Codeur FEC	44
2.4.3. Organisation suivant le schéma de constellation.....	44
2.4.5. La modulation	45
2.4.6. Applications du DVB-S2	45
2.5. La chaine de transmission DVB-S2	45
2.5.1. Liaison montante "Uplink".....	45
2.5.2. Liaison descendante "Downlink"	46
2.6. Applications du DVB-S2.....	46
2.7. Étude comparative entre DVB-S et DVB-S2	47
2.8. Conclusion.....	48

Chapitre 3 : Diffusion du bouquet de TDA (MCPC) sur satellite

3.1. Introduction.....	49
3.2. Présentation du bouquet de TDA et les satellites qu'elle exploite.....	49
3.2.1. Le bouquet TDA de type MCPC vers le satellite SES 4 "22°W"	50
A. Le bouquet.....	50
B. La couverture du satellite SES 4.....	51
C. L'antenne parabolique de réception du satellite SES 4 au niveau de TDA.....	52
3.2.1. Le bouquet TDA de type MCPC vers le satellite Eutelsat 7 W A.....	53
A. Le bouquet.....	53
B. La couverture du satellite Eutelsat 7 W A.....	54
C. L'antenne parabolique de réception du satellite Eutelsat 7 W A au niveau de TDA.....	55
3.3. Présentation et élaboration d'une chaine DVB-S2 utilisée pour la diffusion	55

Sommaire

du bouquet de TDA vers satellite.....	
3.3.1. Codage du bouquet numérique de TDA.....	56
3.3.2. Le Multiplexage.....	58
3.3.3. La Radio Fréquence	60
3.3.3.1 La Modulation.....	60
3.3.3.2. La transposition de Fréquence	64
3.3.3.3. L'Amplification de puissance (HPA: High Power Amplifier).....	65
3.4. Le Guide d'onde.....	65
3.5. Conclusion.....	66

Chapitre 4 : Paramètres d'un bilan de liaison satellite

4.1. Introduction.....	67
4.2. Matérielle utilisé pour la réception satellite.....	67
4.2. La réception professionnelle	68
4.2.1 La station DEAMS	70
4.2.2. L'analyseur de spectre.....	70
4.2.3. La station du satellite Eutelsat 7 W A.....	71
• Contrôle de la station.....	72
4.2.4. L'IRD (Integrated receiver/decoder).....	74
4.2.5. L'interface ASI/USB.....	75
4.3. La réception grand public.....	76
4.3. Calcul du bilan de liaison satellite.....	77
4.3.1. Calcul du débit symbole résultant de la modulation	77
4.3.2. Calcul de la bande passante.....	78
4.3.3. Calcul de la PIRE.....	78
• L'Antenne.....	79
4.3.4. Calcul de la dimension minimale de l'antenne de réception.....	79

Sommaire

Conclusion générale	84
----------------------------------	-----------

Bibliographie

Annexes

Liste des figures

Figure1.1. Principaux éléments d'architecture d'un satellite.....	8
Figure 1.2. Les différentes orbites satellitaires.....	12
Figure 1.3. Architecture d'un système de diffusion par satellite.....	17
Figure 1.4. Détails d'une ligne video monochrome et couleur.....	27
Figure 1.5. Le signal audio analogique.....	27
Figure 2.1. La chaine de transmission DVB-S.....	36
Figure 2.2. Mot-Code de Reed Solomon.....	37
Figure 2.3. Processus d'entrelacement/désentrelacement à l'initialisation.....	38
Figure 2.4. Entrelaceur/Désentrelaceur (12, 17) constituant une chaîne DVB-S.....	40
Figure 2.5. La modulation QPSK.....	41
Figure 2.6. La chaine de transmission DVB-S2.....	42
Figure 2.7. Constellations DVB-S2 avant brouillage des couches physiques.....	43
Figure 2.8. Schéma de constellation 16A PSK.....	45
Figure 3.1. Les 3 satellites exploités par TDA selon le site Lyngsat.com.....	49
Figure 3.2. Le bouquet TDA de type MCPC Diffusé vers le satellite SES4.....	50
Figure3.3. La couverture offerte par le satellite SES 4.....	51
Figure 3.4. L'antenne de réception du satellite SES 4.....	52
Figure 3.5. Le bouquet de la TDA diffusé par le satellite Eutelsat 7 W A.....	53
Figure 3.6. La couverture offerte par le satellite Eutelsat 7 W A.....	54
Figure 3.7. L'antenne de réception du satellite Eutelsat 7 W A.....	55
Figure 3.8. Codeur Tandberg E 5710 (face avant).....	56
Figure 3.9. Codeur Tandberg E 5710 (face arrière).....	58
Figure 3.10. Interface ASI/USB.....	58
Figure 3.11. Multiplexeur MX 5640.....	58
Figure 3.12. Exemple de PID de notre chaine donnée par le logiciel Stream Xpert..	59
Figure 3.13. Modulateurs FI (un Modulateur principale et un autre de secours).....	60

Liste des figures

Figure 3.14. Organigramme explicatif de la modulation.....	61
Figure 3.15. Simulation avec matlab d'une modulation QPSK.....	62
Figure 3.16. Simulation avec matlab d'une modulation 8PSK	63
Figure 3.17. Up-Converter.....	64
Figure 3.18. Amplificateur de puissance HPA	65
Figure 3.19. Guide d'onde.....	66
Figure 4.1. Matérielle utilisé pour l'affichage et le monitoring au centre nodal.....	68
Figure 4.2. La station DREAMS.....	69
Figure 4.3 L'analyseur de spectre.....	70
Figure 4.4 L'application pour utiliser l'analyser de spectre a distance.....	70
Figure 4.5. Station du satellite Eutelsat 7 W A.....	71
Figure 4.6. Paramétrage simple de l'antenne.....	72
Figure 4.7. Paramétrage avancé de l'antenne.....	73
Figure 4.8. IRD de marque Ericsson.....	74
Figure 4.9. Interface de configuration de l'IRD.....	74
Figure 4.10. Interface de visualisation et de configuration du Dektec.....	75
Figure 4.11. Exemple de réception grand public.....	76

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Bandes de fréquences et leurs services.....	12
Tableau 2.1. Évolution du standard de diffusion par satellite.....	35
Tableau 2.2. Les paramètres d'une chaîne de transmission DVB-S.....	37
Tableau 2.3. Modulation et taux de codage utilisés.....	44
Tableau 2.4. Les paramètres de la comparaison entre le DVB-S et le DVB-S2.....	48
Tableau 2.5. Comparaison entre DVB-S/S2 pour deux valeurs de PIRE de Satellite.....	48

Glossaire

ACM: Adaptive Coding and Modulation.

APSK: Amplitude AND Phase-Shift Keying.

ASI: Asynchronous Serial Interface.

BBFRAME: Base Band FRAME.

BCH: Bose Chaudhuri Hochquenghens.

BISS: Basic Interoperable Scrambling System.

BPSK: Binary Phase-Shift Keying.

C/N: Carrier to Noise.

CA: control Access.

CDMA: Code Division Multiple Access.

CVBS: Chroma Video Blanking Synchro.

DVB: Digital Video Broadcasting.

DVB-C: Digital Video Broadcasting-Cable.

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

DVB-S: Digital Video Broadcasting-Satellite.

DVB-T: Digital Video Broadcasting-Terrestrial.

EIRP (PIRE): Effective Isotropic Radiated Power.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute.

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

FEC: Forward Error Correction.

FI : Fréquence Intermédiaire.

GEO: Geostationary Earth Orbit.

HEVC: High Efficiency Video Coding.

Glossaire

HF: High Frequency.

HPA: High Power Amplifier.

LCD: Liquid Crystal Display.

LDPC: Low-Density Parity-Check.

LEO: Low Earth Orbit.

LNA: Low Noise Amplifier.

LNB: Low Noise Block.

LNC : Low Noise Converter.

MCPC : Multiple Programme Per Channel (multiple canaux sur une même porteuse).

MEO: Medium Earth Orbit.

MER: Modulation Error Rate.

MPE: Multi-protocol Encapsulation.

MPEG: Moving Picture Experts Group.

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

NTSC: National Television System Committee.

PABX: Private Automatic Branch Exchange.

PAL: Phase Alternating Line.

PAMA: Pre-Assigned Multiple Access.

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying.

RF: Radio Frequency.

SDI: Serial Digital Interface.

SECAM: Sequential Colour With Memory.

SI: Service Information.

Glossaire

SNR: Signal to Noise Ratio.

SR: symbol rate.

SSPA: Solide State Power Amplifier.

TDA: Télédiffusion D'Algérie.

TDMA: Time Division Multiple Access.

TEB: Taux d'erreur Binaire.

UHF: Ultra High Frequency.

VHF: Ultra High Frequency.

VOIP: Voice over IP.

VSAT: Verry Small Aperture Terminal.

Introduction générale

Avec le développement de l'électronique numérique et les techniques de traitement du signal, les Télécommunications suscitent un intérêt primordial pour le développement de l'économie, des relations humaines et sociales. En effet, ces nouvelles technologies offrent des possibilités de services illimités. En plus de la téléphonie classique, aujourd'hui les télécommunications permettent l'échange de l'information de tous types, particulièrement, les données numériques telles que la vidéo ou l'image et d'autres données informatiques telles que les transactions bancaires. Ce flux de données se fait de plus en plus avec le plus large public et à des cadences et volumes de données qui ne cessent d'augmenter.

Les télécommunications modernes utilisent plusieurs types de supports avec des normes de transport de la donnée particulière. Nous citons à titre d'exemple la téléphonie fixe, on filaire, de la fibre optique et des faisceaux Hertziens avec différents standards de multiplexage SDH, PDH etc. Des systèmes similaires sont employés dans le domaine de la téléphonie mobile dont les liaisons principales vers l'utilisateur sont hertziennes. Ces systèmes sont développés de jour en jour et la tendance générale vire vers le tout IP. Toutefois, certains services restent sur les normes classiques avec un développement spécifique. C'est le cas de la Radiodiffusion et Télédiffusion par satellite qui utilisent le système tel que le DVB-S ou le DVB-S2.

Une grande variété des systèmes de diffusion existe en Algérie, des radiodiffuseurs nationaux de radio et de télévision l'assurent dans tous le pays. Pour cela, des tours de transmission sont utilisées, des systèmes satellites et la distribution par câble.

A travers le globe, plus d'un milliard de foyers ont la télévision et ces derniers reçoivent collectivement plus de 2000 canaux de télévision par satellite. L'avantage de la diffusion de la télévision et de la radio via le satellite réside dans le fait de garantir une transmission fiable et de haute qualité, et de fournir la possibilité de couvrir des domaines plus larges et des surfaces plus grandes. En effet, un simple satellite en orbite géostationnaire peut couvrir un continent entier.

Notre sujet s'inscrit dans le domaine de Télédiffusion. Il s'agit d'élaborer et de réaliser un dimensionnement d'une chaîne de diffusion par satellite du bouquet de TDA (MCPC) en utilisant le système DVB-S2 pour une meilleure qualité de diffusion. Ceci consiste en la détermination du bilan de liaison en exploitant diverses applications se trouvant au niveaux de

Introduction générale

l'entreprise TDA (TéléDiffusion Algérie) qui nous ont permis d'étudier les performances de la norme DVB-S2 ainsi que la norme DVB-S.

Le travail que nous avons réalisé est présenté dans ce mémoire en quatre chapitres. Dans le **premier chapitre** nous donnons des généralités sur les télécommunications, en s'intéressant aux techniques utilisées dans la transmission par satellite, sur les différents accès multiples et les bandes de fréquences utilisées. En outre, les différents éléments intervenant dans une liaison satellitaire sont présentés pour la liaison montante et celle descendante.

Dans le **deuxième chapitre**, nous présentons les différentes normes utilisées pour la télévision satellitaire, principalement la norme DVB-S et DVB-S2 avec les différentes chaînes de transmissions pour chaque standard et aussi le type du flux, techniques de codage et de compression utilisées principalement pour ces deux normes.

Dans le **troisième chapitre**, nous présentons le bouquet de TDA de type MCPC et les différentes chaînes de télévision et radio qui le composent, ainsi que les satellites exploités et leurs couvertures au niveau de l'entreprise. Ensuite nous avons élaboré une chaîne de transmission réelle avec les différents étapes et modules par lesquels le signal est transmis de la source jusqu'à l'antenne d'émission avec un bouquet de TDA de 6 chaînes TV et 20 radios.

Dans le **dernier et quatrième chapitre**, nous présentons un bilan réel d'une liaison satellitaire résultant de la diffusion du bouquet MCPC vers le satellite Eutelsat 7°W A et les différentes applications utilisées au niveau du centre nodal de Bouzareah utilisées pour le contrôle et le monitoring. Les résultats de bilan sont validés par une simulation effectuée sur la couche physique.

Présentation de l'organisme d'accueil

- **Télédiffusion d'Algérie**



Figure1. Télédiffusion d'Algérie de Bouzareah

TDA est une entreprise publique créée en juillet 1986. C'est elle qui est chargée de diffuser les programmes TV et radio algériens à travers tout le territoire national (diffusion terrestre) et à l'étranger (diffusion par satellite). TDA compte 14 grands centres de télédiffusion, et elle diffuse les programmes sur 7 satellites différents.

Compte tenu de l'étendue et de la configuration géographique de territoire national, l'établissement TDA est organisé de telle manière à lui permettre de maintenir un certain équilibre entre les différentes régions du pays, en ce qui concerne la couverture médiatique d'une part. L'établissement est membre actif dans plusieurs organismes spécialisés notamment :

- De l'Union Internationale de Télécommunications (UIT).
- De l'Union Européenne de Radiodiffusion (UER).

Organisme d'accueil

- De l'Union des Radios Télévision Arabes(ASBU).
- De l'union des Radios Télévisions Nationales Africains (URTNA) devenu dernièrement(UAR).

De part cette présence au sein d'organismes ayant une vacation mondiale ou régionale, parties prenantes dans les grands choix et les décisions qui engagent l'avenir de la profession, l'établissement dispose de forums de débats et de concertations sur les sujets touchant au large domaine de la communication audiovisuelle.

- **Téléport de Bouchaoui**



Figure2. Téléport de Bouchaoui

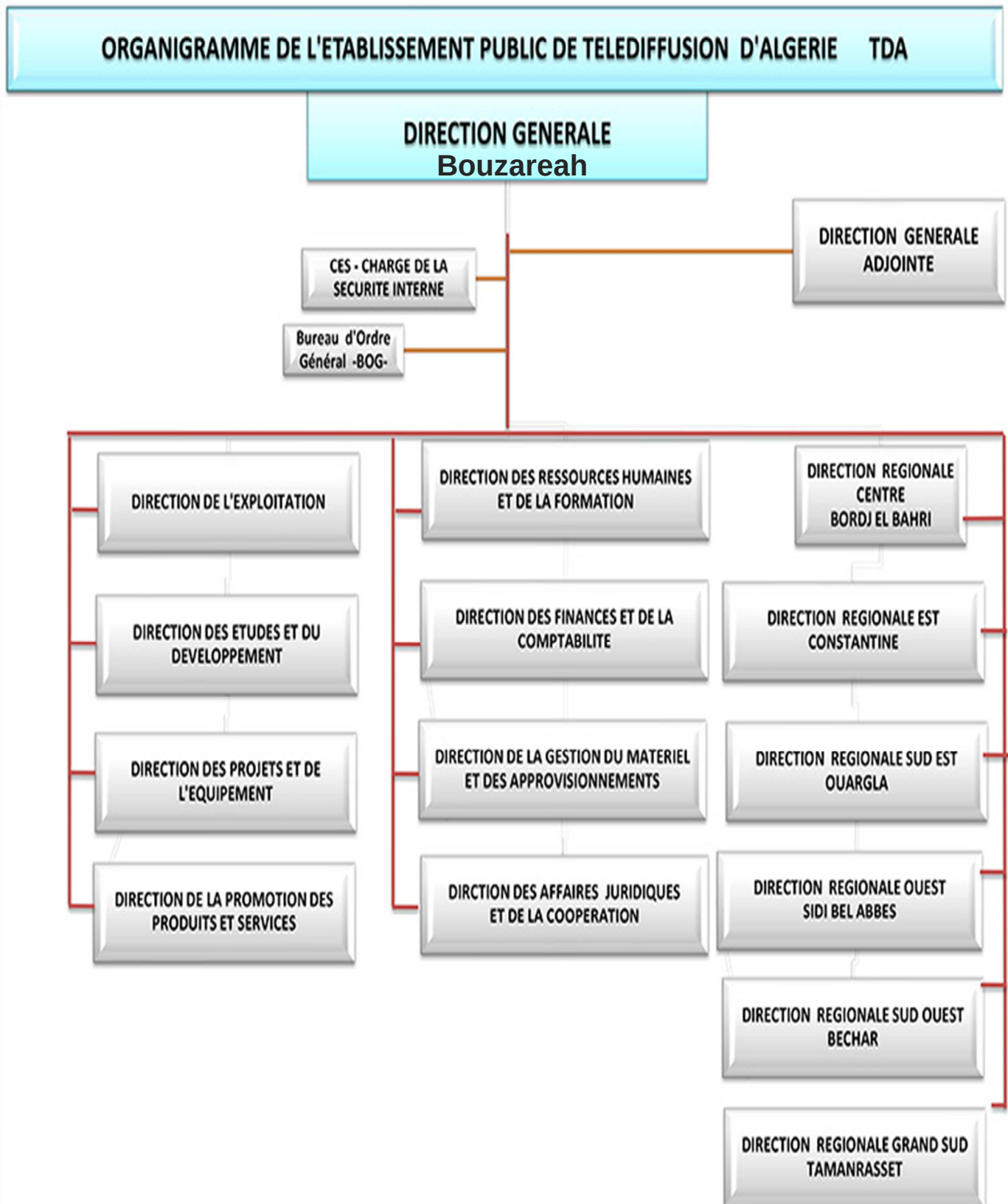
Le téléport est situé à 20km à l'ouest d'Alger, il est chargé de diffuser le bouquet de programmes sur les satellites Eutelsat5°W et SES4. Aussi, il assure une part des échanges et contributions entre les différents organismes internationaux. Par exemple, les différentes chaînes de télévision peuvent s'échanger des programmes via le téléport.

Le téléport de Bouchaoui assure les missions suivantes :

Organisme d'accueil

- Secours de la diffusion pour la couverture des téléspectateurs en diffusion directe (Direct-To-Home(DTH)) sur le satellite E5WA (EX AB3).
- Contrôle et suivi de diffusion satellitaire de nos programmes TV et radios sur les différents supports (Nilesat, Hotbird, E5WA en bande C pour la couverture de l'Afrique, Galaxy19).

- Organigramme



Chapitre 1

Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

1.1. Introduction

Les systèmes de transmission numérique ont pour principe de véhiculer l'information entre une source et un destinataire en utilisant un support physique comme le câble, la fibre optique ou encore la propagation sur un canal radio électrique.

Le système de transmission a pour tâche d'acheminer l'information de la source vers le destinataire avec un maximum de fiabilité. Le réseau de télécommunication par satellite se compose d'un satellite et d'un ensemble de stations terriennes bien réparties.

De nos jours des configurations se présentent avec plusieurs satellites reliés entre eux par des liaisons inter-satellite.

1.2. Présentation générale de la télécommunication par satellite

Le fonctionnement et l'architecture des réseaux satellites (Fig.1.1) peut être simple mais également très complexe. Tout dépend globalement du nombre de satellite impliqué dans la topologie. Au premier maillon de la chaîne, nous avons le client. Celui-ci dispose d'une antenne pouvant communiquer avec les satellites. Son antenne est reliée à un modem permettant de convertir les données numériques en signal analogique et vis-vers ça. Dans le cas d'un satellite géostationnaire, il s'agit en général d'un VSAT (Verry Small Aperture Terminal), une parabole de petite taille pouvant faire de 75 à 120 centimètres. Cette parabole doit être dirigée exactement en direction du satellite pour émettre et recevoir le faisceau de communication [5].

1.2.1. Le satellite

Le satellite est considéré comme étant la partie centrale du réseau, c'est un objet gravitant autour de la terre, il doit remplir des fonctions bien définies dans un environnement spatiale.les objectifs de sa mission et ses contraintes particulières liées a son environnement dans l'espace définissent son architecture .Les satellites ne gravitent pas tous de la même façon car il existe plusieurs types d'orbites et plusieurs expressions pour les définir.

1.2.2. Composition d'un satellite (Fig.1.1)

Tout satellite comporte essentiellement une **charge utile**, constituée par les instruments liés aux objectifs de la mission et une **plateforme** de service comportant tout ce

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

qui est nécessaire pour assurer le bon fonctionnement des instruments pendant la durée de vie prévue.

Parmi les contraintes particulières au milieu spatial [16], il faut souligner :

- Les contraintes d'**autonomie énergétique** ;
- Les contraintes **thermiques** (-160°C à l'ombre de la Terre ; $+150^{\circ}\text{C}$ en plein soleil) ;
- Les contraintes **mécaniques** (accélérations et vibrations lors du lancement) ;
- Les contraintes de **masse** : le satellite doit être "léger" pour le lanceur.

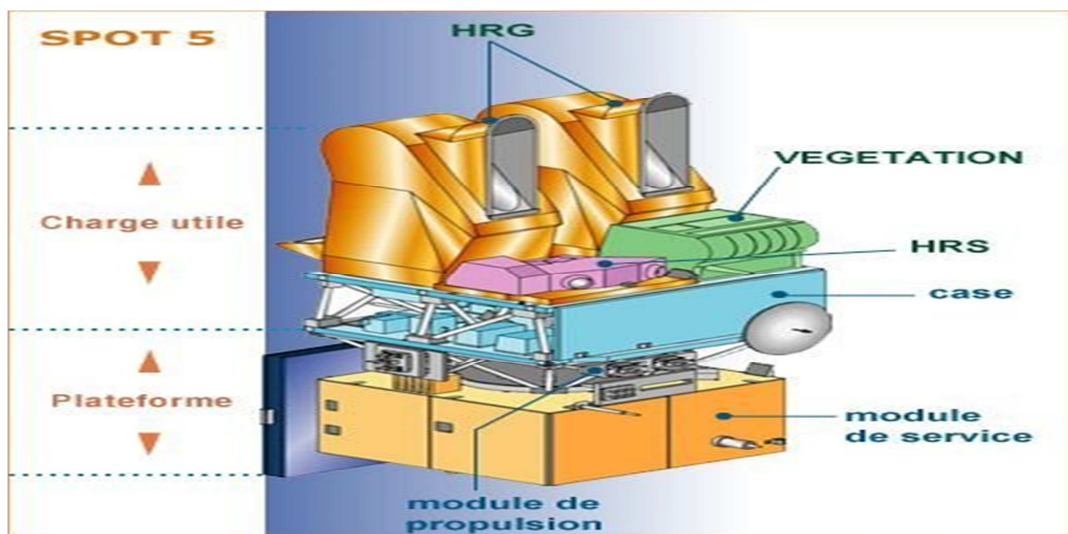


Figure 1.1. Principaux éléments d'architecture d'un satellite [16]

La plateforme comporte un module de service et un module de propulsion. Ces deux modules regroupent tout ce qui est nécessaire à l'autonomie énergétique du satellite, à sa bonne orientation dans l'espace, aux corrections éventuelles de trajectoire, à sa communication avec les stations au sol. Cette plateforme peut être un modèle unique pour les satellites dédiés à des missions différentes.

La charge utile comprend d'une part les instruments spécifiques et d'autre part une case à équipements qui contient les enregistreurs de données et l'informatique de bord [16].

Nous distinguons aussi :

- Les panneaux solaires et les batteries chargées de fournir l'énergie électrique aux équipements électroniques
- Les antennes d'émission et de réception.

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

- Les transpondeurs chargés de la régénération des signaux reçus et du changement de fréquences.

Les fréquences porteuses sont modulées soit en fréquence, soit en phase [2].

1.2.3. Principe d'une liaison satellite

Dans une large zone géographique où deux antennes ne sont pas en vue directe (par exemple dans deux continents) nous utilisons un satellite en orbite comme un relais entre les deux antennes.

Les liaisons satellites utilisent les mêmes bandes de fréquences que la liaison hertzienne (essentiellement dans les bandes de 3 à 14 Gigahertz). Généralement une liaison satellite permet de transmettre de l'ordre de 500 mégabits par seconde. Les satellites de télécommunication sont majoritairement en position géostationnaires à 36 000 km de la terre et au dessus de l'équateur. Le temps mis par une onde pour atteindre le satellite est de 0.12 secondes, durée qui n'est pas négligeable et qui peut perturber une communication téléphonique. On voit apparaître des nouveaux réseaux de satellites en orbites basses qui sont utilisés pour permettre des communications avec les mobiles dans les zones peu peuplées ou n'ayant pas d'infrastructure suffisantes [17].

Ainsi, de par leurs souplesse et leur couverture, ces systèmes sont par leurs topologies bien adaptées à ces deux services : la diffusion (Broadcasting) pour la télévision par exemple et les transmissions en point à point sur de longues distances ou des lieux inaccessibles pour la téléphonie ou l'accès internet.

1.2.4. Caractéristiques d'un lien satellite

Les satellites de télécommunications assurent la transmission à grande distance d'informations de toute nature, notamment les données de téléphonie mobile, la télévision par satellite et les connexions internet (relais hertzien en orbite). Cette technologie a permis de compléter et d'améliorer les moyens de télécommunications terrestres par fil ou par ondes. Le fait d'être en orbite par rapport à un relais terrestre conduit aux conséquences suivantes [17] :

- Une grande couverture dans le cas des plus petits faisceaux, qui peut aller jusqu'à 100km.

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

- La diffusion naturelle, qui aide à développer la télévision par satellite ou toute application de diffusion.
- L'accessibilité totale à la zone de couverture, ce qui permet de conserver cette technologie, non indépendante des facteurs terrestres.
- Les délais qui peuvent être importants avec un temps de propagation plus grand que le temps d'émission.
- Peu d'infrastructures terrestres nécessaires.
- Le coût important du satellite et des équipements de transmission et de la gestion du satellite et de son réseau.
- Les composants et les systèmes sont robustes.

a) Les orbites [17]

Les satellites peuvent être situés sur plusieurs types d'orbites en fonction de leur utilisation. Chaque orbite dispose d'avantages et d'inconvénients (Fig.1.2). En général, plus l'orbite se trouve éloignée de la terre et plus le temps aller-retour du signal électromagnétique est grand. En général le satellite a une vitesse faible dans l'espace terrestre, ce qui augmente son temps de couverture. Au contraire, un satellite proche de la terre communique avec une faible latence, mais peut se déplacer si vite dans le ciel terrestre qu'il ne couvre un utilisateur que pendant quelques minutes.

Le satellite en orbite est soumis à des lois de dynamiques célestes. La force principale appliquée au satellite est l'attraction terrestre et les lois de Kepler les plus utilisées sont les suivantes :

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

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

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

- Le vecteur du centre de la Terre au satellite balaye des aires égales en des temps égaux. Le point de l'orbite où le satellite est le plus éloigné de la Terre (apogée) est le point où la vitesse du satellite est la plus faible. Inversement la vitesse est maximale au

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

périgée (point où le satellite est le plus près de la Terre). Pour une orbite circulaire la vitesse est constante.

Le rapport du carré de la période de révolution **T** au cube du demi grand axe **a** de l'ellipse est le même pour tous les satellites :

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{cste} \quad (1.2)$$

Nous déduisons des lois de Kepler la position de l'orbite géostationnaire qui correspond à l'orbite où doit se trouver un satellite pour apparaître fixe de n'importe quel point de la surface de la Terre. On en déduit alors que l'orbite géostationnaire se trouve dans le plan équatorial à 35786 km de la surface de la Terre (42164 km du centre de la Terre).

Il existe différents types d'orbites [13] :

- **GEOS** (Geostationary Earth Orbital Satellite)

L'orbite géostationnaire **GEOS** se situe dans le plan de l'équateur, à près de 36000km d'altitude. Le temps aller-retour de l'onde radio est estimé à environ 250 ms. Ce type d'orbites est le plus utilisé dans le domaine de la diffusion vidéo et de l'accès à l'internet. Son principal avantage repose sur la position fixe qu'il maintient dans le ciel terrestre. Une station au sol reste donc en permanence dans la zone de couverture du satellite. En retour, son altitude élevée entraîne un temps de latence du signal aller-retour considérable : environ 250 millisecondes.

- **MEOS** (Medium Earth Orbital Satellite)

Les MEOS sont placés entre les satellites à orbite haute et ceux à orbite basse (de 2000 à 35000 km). Le temps aller-retour de l'onde radio est estimé à environ 100 ms. Ils permettent donc d'ajuster les différentes caractéristiques des orbites en fonction de l'utilisation du satellite. Les satellites GPS par exemple sont situés sur des orbites moyennes, de l'ordre de 20000 km d'altitude.

- **LEOS** (Low Earth Orbital Satellite)

L'orbite LEO est située entre 500 à 2000 km d'altitude. Le temps aller-retour de l'onde radio est inférieur à 10ms. Cette proximité offre deux avantages : un temps de latence (temps que met à parcourir un signal) très court et une puissance réduite pour entrer en contact avec les satellites. La période d'un satellite est de l'ordre de quelques centaines de minutes. Un satellite fait le tour de la terre environs 14 fois par jour et sa couverture varie entre 3000 à

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

4000 km : un observateur terrestre n'aura la possibilité d'apercevoir le satellite que pendant environ 20 minutes. Ce type de satellite est appelé aussi satellite défilant.

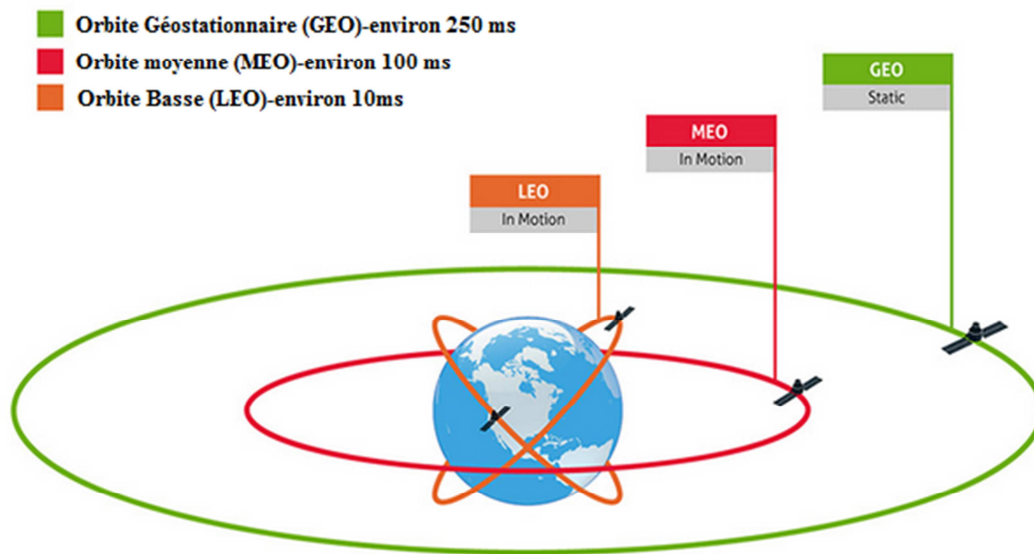


Figure 1.2. Les différentes orbites satellitaires

b) Les bandes de fréquences

Les bandes de fréquences mises en œuvre pour les communications par satellites sont le plus souvent comprises entre 1 et 30 GHz. En dessous de 1 GHz les ondes sont principalement réfléchies et diffusées par l'atmosphère. Au dessus de 30 GHz les liaisons satellitaires sont possibles mais l'absorption atmosphérique est importante et la technologie d'amplification plus complexe. La bande de fréquence 1-60 GHz est divisé en sous bandes désignées par des lettre **L, S, C**,....etc. (Cf. Tab. 1.1 et [3]) :

Bande	Fréquences	Services
L	1 – 2 GHz	Communication avec les mobiles
S	2 – 3 GHz	Communications avec les mobiles
C	4 – 6 GHz	Communications civiles nationales et internationales, TV.
X	7 – 8 GHz	Communications militaires
KU	11 – 14 GHz	Communication civiles nationales et internationales, télévision.
KA	20 – 30 GHz	Nouveaux systèmes d'accès aux réseaux large bande
EHF	21 – 45 GHz	Communications militaires
V	60 GHz	Liaisons inter stellites

Tableau 1.1. Bandes de fréquences et leurs services

1.2.5. Les facteurs intervenant dans une liaison satellitaire (montante et descendante) [1]

Il s'agit de définir les facteurs intervenant dans la liaison entre le sol et le satellite (montante) et celle entre le satellite et l'utilisateur au sol (descendante).

➤ La puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE)

Une antenne isotrope émet dans toutes les directions de la sphère, comme une lampe pendue à un fil. La densité de la puissance à la surface interne de la sphère est :

$$\text{PIRE} = \frac{P_t}{4\pi R^2} (\text{W/m}^2) \quad (1.3)$$

W: watts.
m²: mètre carrée.

Une antenne placée au foyer d'une parabole émet un fin pinceau qui contient toute la puissance en watts par mètres carré est beaucoup plus importante ; c'est le gain de l'antenne (G) :

$$G = \frac{\text{puissance rayonnée par le pinceau}}{\text{puissance rayonnée par l'antenne isotrope}} \quad (1.4)$$

Plus l'antenne est grande, plus le faisceau est étroit.

La dimension de l'antenne au sol n'est pas limitée, tandis que celle du satellite doit être contenue dans la coiffe du lanceur (ne doit pas dépasser la dimension de la coiffe du lanceur).

Une parabole de 2.80 m de diamètre correspond à un faisceau de 0.6° d'ouverture et définit la plus petite zone terrestre couverte, pour la plage de 12 GHz (ex. Luxembourg, [1]).

Ainsi, la densité de puissance p'_t , à la distance D est :

$$p'_t = \frac{P_t}{(4\pi D^2)G} \quad (1.5)$$

La puissance isotrope rayonnée équivalente (PIRE) est calculée en connaissant la puissance de l'émetteur et le gain de l'antenne. Elle s'exprime en décibels-watts (dbw).

$$\text{PIRE} = 10 \log (p_t * G) \quad (1.6)$$

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

Les pertes dans le câblage sont de l'ordre de 1db. Pour les satellites actuels dans la puissance est de l'ordre de 50 w à 130 w par canal, on obtient une PIRE comprise entre 48 et 52 dbw, selon la largeur de la surface couverte par le faisceau ; valeur qui est inscrite sur la première courbe de niveau dans l'axe de l'antenne, au centre de la zone couverte. Plus on s'éloigne de ce centre, plus les niveaux PIRE diminuent et plus les récepteurs nécessitent des antennes paraboliques de diamètre plus important (pour 40 dbw, diamètre d'antenne de 1.80m).

➤ **L'Affaiblissement pendant le trajet**

Il comprend :

- L'affaiblissement en espace libre est fonction de la fréquence et de la distance. La distance depuis la station de réception jusqu'au satellite sur sa position orbitale décalée en longitude peut atteindre 39000 Km. Pour la plage de 12 GHz et pour cette distance de 39000 Km, nous calculons une atténuation de 206 db.
- L'affaiblissement dû à l'absorption atmosphérique qui varie entre 1.5 db pour 99 % du moins le cas le plus favorable et 4.5db pendant 0.1% du mois pour le cas le plus défavorable. L'affaiblissement total est compris entre 207.5 db et 210.5 db. Le niveau isotrope au sol est de l'ordre de : $+52-207.5 = -155.5\text{dbw}$.

➤ **Le Gain à l'entrée du récepteur**

Si nous prenons une antenne parabolique de 60 cm de diamètre, avec un rendement de 70% à 12 GHz, nous obtenons un gain de 36 db. Les pertes dues au couplage entre l'antenne et le LNB (Low noise bloc converter ou convertisseur à faible bruit) est de 0.5db. La perte due à un pointage imprécis de l'antenne est de l'ordre de 1db.

Le Gain net calculé est : $36-0.5-1 = 34.5\text{db}$.

Le niveau du signal à l'entrée du récepteur est : $-155.5+34.5 = -121\text{dbw}$.

➤ **Le Rapport C/N (carrier/noise ou porteuse/ bruit)**

C'est le rapport de la puissance du signal reçu (**C**) dans la bande de fréquence **B** du récepteur, sur la puissance **N** du bruit qui est donnée par:

$$N = kTB \quad (1.7)$$

$$C/N = E + G - A - 10\log T - 10\log B - 10\log k \quad (1.8)$$

E : PIRE (dbw) ;

G : gain de l'antenne en (dB) ;

A : atténuation globale (dB) ;

T : température du bruit de l'antenne et du LNB (K) ;

B : largeur de bande FI du récepteur (Mhz), avec $10 \log k = +226.6$ dB (constante de Boltzmann).

Le rapport C/N donne la qualité de l'image issue sur l'écran du récepteur :

- **C/N=6** : très bruyant, mauvaise qualité d'image, pas de couleur ;
- **C/N=8** : seuil limite, quelques traces de bruit ;
- **C/N=10** : bonne réception, bonnes couleurs ;
- **C/N=12** : excellente réception, qualité TV par câble.

Le bruit se traduit sur l'image par des points blancs ou sombres. Il est intéressant de connaître ces valeurs, que l'on retrouve sur les catalogues, et de savoir comment elles sont calculées.

➤ Facteur de qualité G/T de la station :

Ce facteur G/T nous permet de choisir l'antenne qui convient en fonction de C/N, nous avons :

$$(G/T) \text{ dB} = C/N + E + A + 10\log B + 10\log k \quad (1.9)$$

En fonction de la **PIRE** du satellite, nous pouvons cibler la bonne et meilleure qualité d'image C/N en choisissant la valeur du facteur de bruit du LNB E auquel nous ajoutons l'atténuation globale A, la largeur de bande FI (B) et **10log(k) = +226.6dB**, ce qui donne une valeur du gain d'antenne en dB.

Pour fixer les idées, avec une efficacité de 75% :

- Une antenne de 60 cm de diamètre procure un gain de **36.3** dB ;
- Une antenne de 80 cm de diamètre procure un gain de **38.8** dB.

1.2.6. Les services de télécommunication par satellite [5]

Les satellites de télécommunications sont classés en fonction des services qu'ils rendent. Nous distinguons, ainsi, les services de la téléphonie, les services de télédiffusion et enfin les services de transmission de données.

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

Une telle classification pourrait être rendue obsolète dans quelques années par le développement attendu des systèmes satellitaires multimédia qui pourraient, en théorie, véhiculer n'importe quel service.

a) La téléphonie

On distingue, les systèmes de téléphonie fixe par satellite et les systèmes de téléphonie mobile par satellite. La téléphonie fixe par satellite concerne essentiellement les appels internationaux qui mettent en jeu un satellite. Les satellites utilisés sont de type géostationnaire. Ces systèmes sont de plus en plus remplacés, lorsque c'est rentable, par des câbles sous marins. La téléphonie mobile par satellite et dans ce domaine, deux familles de systèmes existent. Les systèmes de téléphonie mobile par satellite géostationnaire et les systèmes de téléphonie mobile par satellites MEO et LEO. Parmi les systèmes utilisant des satellites GEO on peut citer Inmarsat qui a été le premier système de communications mobiles par satellites d'abord pour la desserte en mer puis en avion et en terrestre. Des systèmes sont actuellement en développement. On peut aussi citer le cas récent de Thuraya qui offre un service de téléphonie mobile sur l'Asie centrale, le moyen orient, l'Afrique centrale et l'Europe. Ce système a la particularité d'offrir de la téléphonie mobile au moyen d'un satellite Géostationnaire. Le terminal de taille raisonnable (à peine plus volumineux qu'un terminal GSM) a une antenne omnidirectionnelle mais réussit cependant à passer le bilan de liaison d'un système GEO.

Parmi les systèmes de téléphonie mobile par satellite LEO on citera **Iridium** qui n'a pas connu le succès commercial escompté et dont le service a été arrêté peu de temps après la mise en service. On peut aussi mentionner **Globalstar** qui connaît aussi quelques difficultés commerciales. Ces deux systèmes sont à couverture mondial ou quasi mondiale.

b) La télédiffusion

La première application des satellites de télécommunications est la transmission vidéo. Elle est estimée à 60% de la capacité du secteur spatial. La transmission peut être faite en utilisant les normes vidéo analogiques (PAL, SECAM, NTSC) mais dans la plupart des systèmes actuels ce sont les normes vidéo numériques qui sont utilisées. On utilise essentiellement la norme DVB-S (Digital Video Broadcasting Satellite) qui utilise un codage MPEG-2 du flux vidéo et permet le transfert du signal entre les systèmes à satellites, les systèmes hertziens et les systèmes par câbles. Tous les bouquets satellites européens utilisent

la norme DVB-S. La norme numérique audio correspondante pour la diffusion de la radio numérique s'appelle le DAB (Digital Audio Broadcasting). La télédiffusion directe par satellite est une activité en forte croissance, elle est bien illustrée dans la figure 1.3.

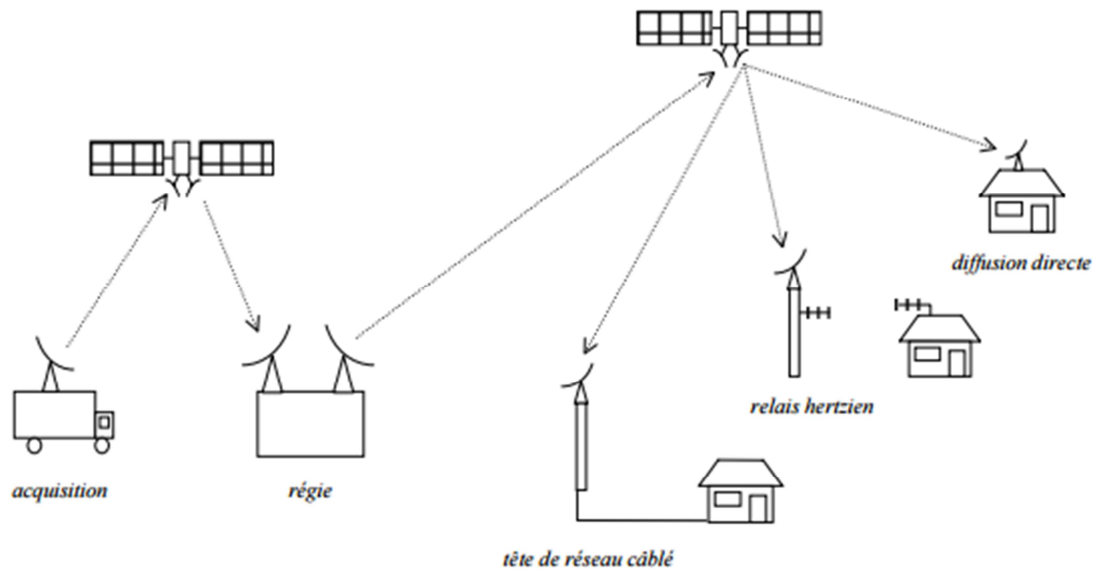


Figure 1.3. Architecture d'un système de diffusion par satellite

c) La transmission de données

La transmission de données est l'une des plus grandes applications des satellites de télécommunication. Parmi les services offerts par les satellites, nous pouvons citer :

- **Les réseaux d'entreprise VSAT**

Les réseaux d'entreprise par satellite sont apparus grâce à la diminution de la taille des stations terrestres et donc du coût de celles-ci. Cette diminution de la taille a permis aux satellites de concurrencer efficacement les infrastructures terrestres pour les réseaux d'au moins quelques dizaines de sites. On parle alors de VSAT (Verry Small Aperature Terminal) pour des stations terrestres dont le diamètre d'antenne est inférieur à 2,4 mètres.

- **La radiomessagerie**

La radiomessagerie par satellite est un service offert sur plusieurs satellites GEO comme **immarsat-C et D**, **Omnitracs** ou encore **EutelTracs**. Elle existe aussi sur des constellations en orbite basse telle **OrbComm**.

- **L'internet par satellite**

L'internet par satellite est un sujet très important actuellement et le satellite fait partie des solutions d'accès local au même titre que **LMDS**, l'**ADSL**, les solutions câblés ou d'autres technologies. Le programme **Sky Bridge d'Alcatel** actuellement arrêté, pour des problèmes de financement, fait partie de ce type de systèmes.

d) Accès large bande et services multimédias

Les données peuvent être transmises en utilisant des paquets qui vont être transmis sur des supports de transmissions. Les services de types données historiques sont moins sensibles au délai des réseaux satellitaires et très important surtout dans les réseaux géostationnaires.

Les satellites peuvent prendre en charge toutes les applications de ces derniers comme le transfert des images, vidéos...etc.

Le VSAT est un système qui repose sur le principe d'un site principal (le hub) et d'une multitude de points distants (les stations VSAT).

Le hub est le point le plus important de réseau, c'est par lui que transite toutes les données qui circulent sur le réseau, et c'est lui qui gère tous les accès à la bande passante.

Les stations VSAT permettent de connecter un ensemble de ressources au réseau. Une station VSAT n'est donc pas un investissement important et n'est que l'implantation d'un nouveau point dans le réseau existant. Ceci dit, pour implanter une nouvelle station après quelques heures ne demande pas de gros moyens.

1.2.7. Les méthodes d'accès [10]

Les méthodes d'accès au support font partie du protocole de la couche 2 dans le modèle OSI. Même si ces méthodes d'accès tirent le plus souvent leur origine dans les communications filaires, elles ont du être adaptées aux communications sans fils dont les deux différences principales sont : une bande passante limitée, et une communication non faible.

a) L'accès multiple par répartition de fréquence (FDMA)

Dans un système FDMA pur, tous les utilisateurs peuvent transmettre leurs signaux simultanément, et sont distingués par leurs fréquences d'émission. Le FDMA est basé sur la plus ancienne technique de multiplexage connue. Le multiplexage en fréquence est utilisé pour transmettre les signaux TV sur le câble, ou sur les canaux Hertziens classiques et satellite.

Le problème principal du **FDMA** est celui du canal adjacent. Donc il faut éviter de radier de la puissance hors de sa bande, sous peine de générer une interférence importante sur le canal occupant la fréquence voisine.

Ce problème est particulièrement important sur la voix montante. En effet, le signal reçu à la station de base par un mobile éloigné est nettement plus faible que le signal reçu à la station de base par un mobile proche.

b) Accès multiple par répartition temporelle (TDMA)

Dans un système **TDMA**, les utilisateurs utilisent la même fréquence et prennent possession du canal chacun à leur tour. Le TDMA est basé sur le multiplexage temporel utilisé par exemple en téléphonie, pour la concentration des connexions entre centraux téléphoniques. L'avantage principal du TDMA est qu'il est facile pour un utilisateur de prendre possession de plusieurs tranches de multiplex temporel et il est donc facile d'avoir des utilisateurs utilisant des débits de données différents. Le standard principal utilisant cette technique est le **GSM**.

c) Accès multiple par répartition en codes (CDMA)

Le **CDMA** est basé sur la technique du spectre étalé où chaque utilisateur se voit allouer un code PN (code aléatoire) différent et est identifié par ce code.

L'une des raisons du succès du CDMA est sa capacité accrue et sa souplesse. En effet, deux arguments plaident en faveur de celui-ci :

- L'absence de planning de fréquence comme on l'a déjà vu sur le spectre étalé. Si deux signaux ont des codes différents, il est possible de les séparer l'un de l'autre. Il suffit de faire en sorte que les utilisateurs des cellules adjacentes aient des codes différents donc pas besoin de fréquences différentes pour chaque cellule pour les distinguer.

- Le mélange des canaux **voix** et **données** est facilité par le mélange des signaux de débit de données différents.

d) Accès multiple par répartition spatiale (MF-TDMA)

La technique MF-TDMA utilise des antennes à dimensions réduite et permet une augmentation de la capacité du système. Elle représente une combinaison entre les deux techniques représentées auparavant. Plusieurs fréquences porteuses sont définies et sont partageable entre les stations. A son tour chaque fréquence porteuse est partagée par plusieurs stations en mode TDMA. Les ressources sont découpées en temps et on fréquence, les unités portant le nom de slots, une station pouvant transmettre en slots appartenant à différents fréquences porteuses. La technique MF-TDMA est utilisée aujourd'hui comme technique d'accès multiple, dans les réseaux satellitaires géostationnaire, notamment dans le cadre de la norme DVB-RCS.

e) L'OFDM [13]

L'OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) est un procédé de codage de signaux numériques par répartition en fréquences orthogonales sous forme de multiples sous-porteuses. Cette technique permet de lutter contre les canaux sélectifs en fréquence et permet une égalisation de faible complexité. Ces canaux se manifestent notamment en présence de trajets multiples et sont d'autant plus pénalisants que le débit de transmission est élevé. C'est la raison pour laquelle on trouve cette technique largement adoptée dans la plupart des applications à très haut débit.

Plusieurs variantes de l'OFDM existent :

- Le **DMT** (*Discrete Multi Tone*) fait référence à un système de transmission OFDM en bande de base.
- Le **COFDM**, introduit un code correcteur d'erreurs.
- Le **WCP-OFDM** (*Weighted Cyclic Prefix - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) prévoit l'ajout d'un préfixe cyclique et la pondération du signal en sortie de l'émetteur afin de s'adapter aux canaux mobiles à trajets multiples².

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

En présence d'un canal multitrajet, la réception de plusieurs échos en opposition de phase peut donner lieu à des évanouissements (atténuation sévères sur une partie de la bande de fréquence). Dans le cadre d'un système OFDM, il est généralement impossible de reconstruire les symboles transportés par les sous-porteuses affectées par ces phénomènes d'évanouissements. Cela s'explique par le fait que l'OFDM non-précodé n'introduit pas de redondance (ou diversité fréquentielle). Pour pallier à cet inconvénient, nous pouvons utiliser le COFDM au prix d'une diminution de l'efficacité spectrale. Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés principalement au système **COFDM**.

➤ **Le COFDM:**

Le COFDM est un procédé qui associe un codage de canal OFDM et une modulation numérique des signaux individualisés (sous-porteuses multiples).

Le principe de l'OFDM consiste à diviser le canal en sous-canaux et à effectuer une transmission sur chacun d'eux par modulation numérique. Cette méthode permet de corriger des multitrajets longs mais ne suffit pas si ceux-ci sont forts. Certaines fréquences (donc certains sous-canaux) peuvent alors être très fortement atténuées. Si en plus le récepteur est fixe, comme c'est le cas par exemple pour la télévision terrestre, ces interférences vont se prolonger, rendant par conséquent, l'utilisation des sous-canaux concernés impossible.

Afin de résoudre ce problème, COFDM utilise un codage correcteur d'erreur associé à un entrelacement entre fréquences. Ceci nous permettra de mieux nous rapprocher des performances d'un canal sans écho.

Cette méthode est employée notamment par les normes DVB-T, DVB-T2, DVB-H, DVB-S utilisées en Algérie pour la télévision numérique terrestre et par satellite. Les systèmes de radiodiffusion numérique DAB et DMB utilisent également le procédé de codage de canal COFDM.

1.2.8. Les différentes zones relatives à la transmission par satellite [4]

Ces zones peuvent être classées en trois catégories:

- Zone de visibilité.
- Zone de couverture.

- Zone à servir.

a) Zone de visibilité

La zone de visibilité c'est la partie de la terre que les appareils de radiotechnique peuvent observer pour l'angle d'élévation supérieure à l'angle d'élévation minimum toléré (de 5° à 10° pour les satellites géostationnaires en orbite maintenue). Les cercles centrés définissent les frontières de la zone de visibilité par les différents angles d'élévation.

b) Zone de couverture

La zone de couverture représente la limite d'une partie de la zone de visibilité ou un niveau déterminé de la densité de puissance (surfactive) nécessaire pour une réception normale du signal avec un facteur de qualité donnée qui est assuré par l'émetteur du satellite.

c) Zone à servir

C'est le territoire où toutes les stations terrestres fonctionnent en régime normale et assurent les solutions des problèmes de compatibilité électromagnétiques par rapport aux perturbations des autres stations terrestres y compris celles des radio-systèmes.

1.2.9. Les types de satellites et leurs orbites [7]

a) Orbite de l'observation de la Terre (LEO)

Les orbites à basse altitude, ou LEO (Low Earth Orbit) sont très utilisées pour l'observation de la planète terre. La constellation des deux satellites Pléiades, par exemple, utilise ce type d'orbites. Leurs caractéristiques varient en fonction des missions. Généralement, les satellites évoluent dans des altitudes comprises entre 700 et 1 000 kilomètres. Leurs inclinaisons (angle entre le plan de l'orbite et l'équateur) sont supérieures à 60°. Leur vitesse est d'environ 7,4 km/s, soit près de 27 000 km/h. Ils font un tour de la terre en cent minutes et couvrent environ 14 orbites/jour. Leurs inclinaisons élevées permettent d'observer des points de latitude également élevés à l'exception des pôles. Le mouvement rapide de ces satellites les rend visibles en un lieu donné, pendant un temps très court, environ dix minutes. Ils doivent donc être autonomes pour remplir leur mission sans être en contact avec leur centre de contrôle.

b) Le domaine des télécommunications (GEO)

Appelée GEO (Geostationary Earth Orbit), l'orbite géostationnaire est de loin la plus utilisée, notamment avec le développement des besoins liés aux télécommunications, notamment les satellites de télécommunications et surtout ceux de la télévision directe. Cette orbite est circulaire et est située dans le plan de l'équateur et son rayon est de 42 164 km par rapport au centre de la Terre, soit une altitude de 35 786 km par rapport au sol.

Un satellite placé sur l'orbite GEO fait le tour de la terre en 86 164 s, soit la durée d'une rotation de la Terre sur elle-même ou « jour sidéral ».

Pour l'observateur, qui tourne avec la Terre, le satellite géostationnaire apparaît fixe, d'où son nom. Le signal du satellite est ainsi reçu sans avoir à repointer en permanence l'antenne. Cette immobilité n'est qu'apparente, en réalité le satellite avance à environ 3 km/s, soit 10 800 km/h.

b) MEO (GPS, Galileo..., le réseau de la navigation)

Appelées MEO (Medium Earth Orbit), ces orbites intermédiaires sont peu utilisées. Elles sont surtout peuplées par les satellites de navigation des constellations GPS, Glonass, Beidou et Galileo. Pour la navigation, l'utilisation d'orbites basses demande trop de satellites pour assurer une visibilité permanente. L'utilisation d'orbites géostationnaires (ou géosynchrones lorsque l'inclinaison est nulle) n'offre pas une couverture globale de l'ensemble de la Terre tandis que l'orbite MEO est un bon compromis pour ce type de mission. Ces constellations offrent beaucoup d'avantages notamment un nombre de plans d'orbite, un nombre de satellites par plan et un espacement entre les satellites dans les différents plans. La structure définie fonctionne un peu comme un réseau de référence. Les satellites évoluent à des altitudes de 19 000 à 23 000 km, à une vitesse orbitale un peu inférieure à 4 km/s.

1.3 Les standards DVB

1.3.1. Définition

Le Digital Video Broadcasting, est une expression qui pourrait être traduite par diffusion video numérique très utilisée en Europe dans le cadre de la diffusion numérique pour la télévision, associée au format de compression MPEG2, instaurée pour éviter un développement anarchique de la technologie numérique. Le DVB, comme le DAB pour la

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

radio, utilise une transmission par paquets de données informatiques compressées. Cette norme pour la télé se décline en fonction des supports de diffusion et il complète les points suivants :

- Le codage canal : algorithmes de correction d'erreurs, adaptés au canal de transmission satellite ou câbles qui nécessite 1.5 Mbits/s ;
- Les services d'information (SI) : ils sont diffusés dans le flux numérique pour repérer le nom d'une chaîne, d'un programme ou d'une information ;
- Le profil minimum de Bit Stream (train de données numériques) qui doit être reconnu par tous les terminaux conformes au DVB.

1.3.2. Présentation du standard DVB [20]

L'extinction de la diffusion analogique peut être considérée comme la simple conséquence de l'introduction et du développement de la diffusion numérique (meilleure technologie prend la place de l'ancienne). En effet la diffusion numérique présente de nombreux avantages par rapport à la diffusion analogique. Elle donne la possibilité de diffuser une image et un son de meilleure qualité. Elle permet de transmettre plus de chaînes ou de données dans les mêmes bandes de fréquences et diminue ainsi le coût de la transmission d'un facteur de 5 à 8. Elle permet, également, de transmettre une importante quantité de données associées aux programmes, autorisant des fonctionnalités de « télévision interactive ».

Deux principaux standards ont été développés, le premier en Amérique: le **HDTV** (High Definition TV) et le deuxième en Europe qu'est le **DVB** (Digital Video Broadcasting). Les principales différences de ces deux standards sont au niveau du modem et de l'encodeur audio. Mais même en présence de cette concurrence, le DVB a pu s'imposer comme unique standard global de radiodiffusion TV numérique. Ce standard européen, le DVB, a été fondé en 1993 pour répondre aux besoins de l'Europe et le monde des services de communication. Il est produit par le comité, JTC (Joint Technical Committee), l'union européenne de diffusion, EBU (Européens Broadcasting Union), le Comité 2 Européen de Normalisation, CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrique) et l'Institut Européen des Standards des Télécommunications, ETSI (European Télécommunications Standards Institute). Ce standard européen de diffusion numérique pour la télévision, est associé au format de compression **MPEG** (Motion Picture Expert Group).

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

Les propriétés du signal DVB sont définies suivant le support de transmission. En effet, plusieurs standards ont été définis. Dans la suite nous détaillerons quelques uns. La chaîne de transmission exige la mise en œuvre des techniques numériques de codage, de multiplexage des données et de modulation. Les différents blocs de la chaîne de transmission seront décrits et détaillés dans la suite ce manuscrit.

1.3.2.1 Les données [3]

a) le signal audio

Le signal audio est une représentation du son. Typiquement, c'est une tension électrique des signaux audio présentant des fréquences dans le domaine audiofréquence allant de 20 à 40kHz. Le signal audio peut être synthétisé directement ou peut être généré par un transducteur tel que le microphone, instruments de music, hauts parleurs, écouteurs...etc. qui convertissent ce signal (électrique) en un son.

b) Le signal vidéo

- **La vision**

Dans le phénomène de la vision humaine, un flux lumineux composé de photons frappe l'œil. Dans l'œil, les bâtonnets vont réagir à l'intensité de la lumière et les cônes vont réagir à la couleur. Le cerveau effectue la synthèse de ces informations pour composer une image. L'œil humaine est plus sensible à la luminance qu'à la chrominance.

- **La couleur**

La video utilise ce qui est identifié comme la synthèse additive de la couleur. Les couleurs primaires sont le Rouge, le Vert et le Blue. La combinaison de ces trois couleurs permet de produire tout le spectre visible par l'œil humaine. L'écran de visualisation video sera donc composé d'une série de triades rouge, vert et bleu, ce qui forme l'image.

- **L'image**

Une image numérique est une fonction à support discret, borné et à valeurs discrètes. Le support est multidimensionnel, en général 2D ou 3D. Les valeurs peuvent être scalaires (image en niveau de gris) ou bien vectorielles (image multi composante, image couleur).

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

L'image numérique est en réalité une matrice de pixels repérée par leurs coordonnées (i;j). S'il s'agit d'une image couleur, un pixel est codé par trois composantes (R,V,B), chacune comprise au sens large entre 0 et 255, représentant respectivement les doses du Rouge, Vert et Blue qui caractérisent la couleur de du pixel.

• La video

L'expression « signal video » est utilisée dès qu'il s'agit de transmettre une image animée entre deux points distants. On récupère le signal video (fig1.4) à l'aide d'un transducteur (camera) transformant le signal lumineux en un signal électrique. Plusieurs natures de signaux vidéo existent :

- En analogique on trouve le « noir et blanc » et « couleurs ».
- En numérique les formats sont nombreux mais la majorité code séparément la composante luminance (Y) et les composantes couleurs. Les structures des trames numériques correspondent aux trames images et comportent une entête qui définit le format de l'image.

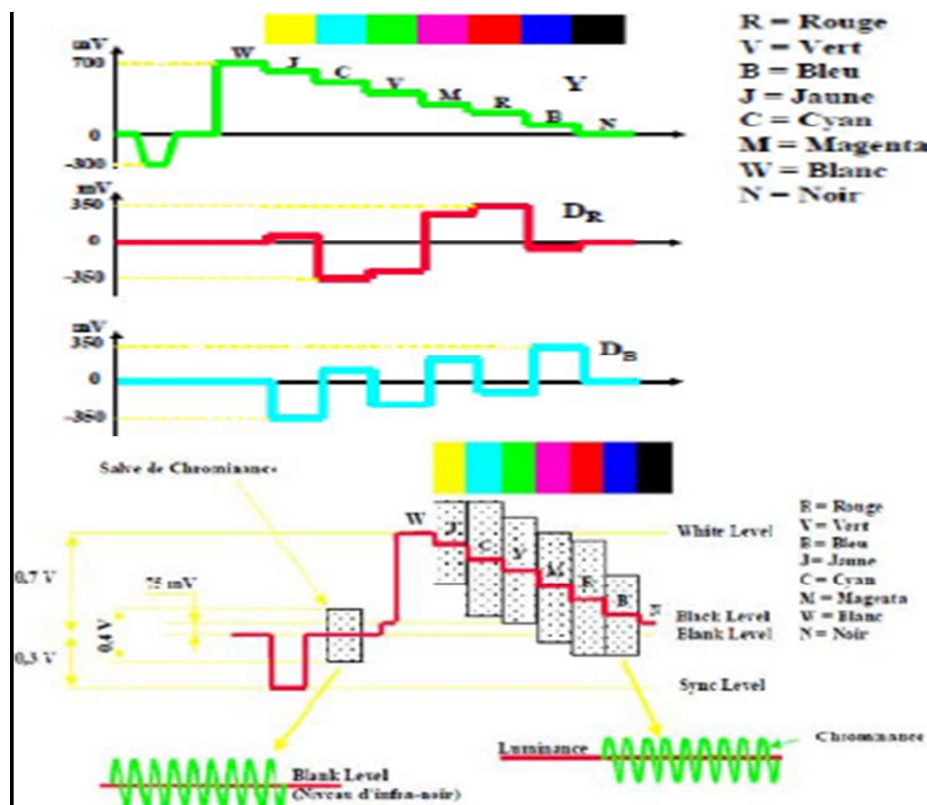


Figure 1.4. Détails d'une ligne video monochrome et couleur [3]

1.3.2.2. La numérisation

La numérisation se réalise en deux étapes qui sont l'échantillonnage et la quantification. Elle va permettre de transformer un signal continu (fig1.5) en une suite de valeurs discrètes qui seront traduites dans le langage machine en 0 et 1.

Lorsqu'on capte le signal par un microphone, ce dernier transforme l'énergie mécanique (la pression de l'air exercée sur sa membrane) en une variation de tension électrique continue.

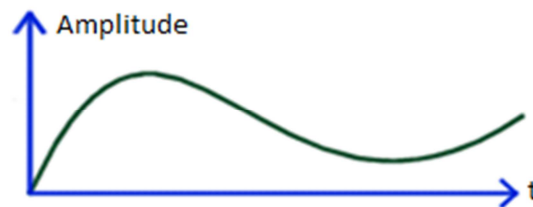


Figure 1.5. Le signal audio analogique

- **Échantillonnage**

Le signal analogique est mesuré plusieurs fois par seconde et en des temps réguliers. Le son est donc découpé en échantillons. Le nombre d'échantillons disponible dans une seconde d'audio s'appelle la fréquence d'échantillonnage exprimée en hertz.

Pour traduire le plus fidèlement possible le signal analogique, il faudra prendre le plus grand nombre de mesures possibles par seconde. Autrement dit, plus la fréquence d'échantillonnage est élevée, plus la traduction numérique du signal sera proche de son origine en analogique (il faut prendre en considération le théorème de Shannon).

- **Résolution et quantification**

La résolution est le nombre de niveaux qu'il est possible d'enregistrer pour reproduire l'amplitude de signal. Avec une résolution de 16 bits, on dispose de 2^{16} valeurs possibles pour traduire l'amplitude du son. Ainsi plus la résolution est élevée, meilleur sera la dynamique (l'écart entre le son le plus faible et le plus fort qu'il est possible de reproduire).

- **Cas d'un signal vidéo**

La Numérisation de la norme Vidéo, bien qu'elle ait été établie pour la transmission analogique des images, elle reste respectée par les outils numériques et ce dans un but de standardisation. La norme vidéo précise déjà la notion de ligne de balayage, c'est à dire la discrétisation spatiale dans le sens vertical. Le nombre de lignes définies dans le standard

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

CCIR ou NTSC correspond au nombre total de lignes. L'ensemble de la transmission étant comptée à l'aide de cette unité. Ce nombre comprend en particulier le retour de trame, c'est à dire le temps nécessaire à la remontée du faisceau électronique de balayage du coin inférieur droit au coin supérieur gauche (cas du tube cathodique) et est de 45 lignes pour les deux standards. Il est donc indispensable pour un système numérique de suivre la norme. On trouve donc des structures matérielles strictement conformes à la norme (580 lignes) ou réduites (512). On remarque que le standard US correspond au standard VGA, qui permet l'affichage d'images Vidéo sur moniteur PC, opération non-réalisable en standard Européen. De nombreux systèmes de traitement échantillonnent les lignes selon un nombre différent (512 pixels/l par exemple) ce qui a pour effet de donner naissance à un réseau non-normé, c'est à dire des pixels non-carrés. Les calculs faisant appel à la géométrie de l'image doivent prendre en compte cette déformation de l'espace (difficulté de traitement en cas de rotation des images). La période d'échantillonnage pixels s'obtient en considérant le temps utile ligne, soit de l'ordre de 50 μ s. Il en résulte une période de $50780 \approx 66$ ns soit une fréquence d'échantillonnage de 15 Mhz. En standard US, ces chiffres sont de 100 ns soit une fréquence de 10 Mhz. Ces valeurs sont assez importantes puisqu'elles définissent le cadencement des échanges ou des calculs dans un mode d'accès par balayage. De telles vitesses n'ont été accessibles qu'au matériel du type câblé, ce qui justifie la structure spécifique des machines de traitement d'image. L'augmentation sensible des performances des architectures à processeur programmé (type PC, DSP, FPGA) permet souvent de traiter en temps réel les images du format TV. Bien que la transmission analogique d'une image soit en voie d'abandon, le format associé reste présent pour la construction de nombreux capteurs. L'évolution va dans le sens des nouveaux formats rencontrés sur les outils informatiques ou télévision (1024x768, 1280x720, Full HD : 1920x1080 ...). Pour ces résolutions, l'absence de norme analogique impose le choix de la liaison numérique.

1.3.2.3. Codage source

Le codage source a pour but de réduire la quantité d'information transmise. Pour l'image, le codage source fait intervenir en matière de compression de signaux, le découpage de l'image en blocs, la prédiction temporelle et la compensation du mouvement, la quantification et le codage à longueur variable. La norme prend en compte le balayage entrelacé propre au système de TV et permet un débit compris entre 2 Mbps et 20 Mbps. Dans le domaine son, le codage source peut s'effectuer en monophonie ou en stéréophonie selon le

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

cas et ce en utilisant plusieurs fréquences d'échantillonnage. Nous pouvons également coder simultanément plusieurs voies. Le signal binaire résultant, transporte toutes les informations de synchronisation des différentes composantes des programmes. L'entrelacement est une opération dont le but est de rendre le signal le plus aléatoire possible, l'intérêt est d'éviter les longues suites des « zéros » ou des « uns » qui créent une raie à forte énergie dans le spectre. Pour le codage correcteur d'erreur, plusieurs algorithmes sont disponibles suivant l'application. Parmi les codes correcteurs d'erreur on trouve le codage RS (Reed-Solomon), le codage LDPC (Low Density Parity Check),... Pour des raisons techniques ou de rentabilité, l'acheminement d'une information numérique, ne peut pas toujours se faire en bande de base. L'utilisation d'une fréquence porteuse est alors nécessaire. La modulation est l'opération qui fait correspondre à chaque niveau du signal numérique, un état d'amplitude, de fréquence ou de phase d'une onde porteuse.

Le choix d'une modulation numérique dépend de l'occupation spectrale, la résistance aux distorsions et aux diverses perturbations et la simplicité de réalisation des systèmes de modulation et de démodulation.

1.3.2.4. Codage canal et modulation

a) Le codage canal

Les opérations de codage du canal ont pour objectif de préparer le signal avant l'émission. Elles comprennent essentiellement la dispersion d'énergie (le brassage), le codage correcteur d'erreur et l'entrelacement. Les signaux codés, des différents composants (sons, données et images) de plusieurs programmes, sont alors multiplexés. Le signal binaire résultant, transporte toutes les informations de synchronisation des différentes composantes des programmes. L'entrelacement est une opération dans le but est de rendre le signal le plus aléatoire possible, l'intérêt est d'éviter les longues suites de « zéros » ou des « uns » qui créent une raie à forte énergie dans le spectre. Pour le codage correcteur d'erreur, plusieurs algorithmes sont disponibles suivant l'application. Parmi ces codes, il existe le codage RS (Reed Solomon).

b) La modulation

Pour des raisons techniques ou de rentabilité, l'acheminement d'une information numérique, ne peut pas toujours se faire en bande de base. L'utilisation d'une fréquence

porteuse est alors nécessaire. La modulation est l'opération qui fait correspondre à chaque niveau du signal numérique, un état d'amplitude de fréquence ou de phase d'une onde porteuse. Le choix d'une modulation numérique dépend de :

- L'occupation spectrale.
- La résistance aux distorsions et aux diverses perturbations.
- La simplicité de réalisation des systèmes de modulation et de démodulation.

1.3.2.5. L'émission

Après avoir passé par toutes ces étapes d'adaptation du signal au canal, les signaux électriques filtrés et modulés vont être superposés à l'onde porteuse à haute fréquence, et envoyés dans une antenne qui les transforme en ondes électromagnétiques.

1.3.3. Les sous standards de la diffusion numérique DVB [13]

a) DVB-T

DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) est une norme de diffusion de la télévision numérique par liaisons hertziennes terrestres. Il s'agit de l'une des normes de la famille DVB qui comprend des normes de diffusion de la télévision numérique par différents moyens. Le DVB-T définit la méthode de transmission des services télévisés (audio, vidéo et données). Il utilise une modulation OFDM avec une concaténation du codage de canal en COFDM. Parmi les caractéristiques de cette norme, nous pouvons dire ce qui suit :

- Le DVB-T est utilisé par tous les pays d'Europe, au proche et Moyen-Orient, dans la zone pacifique ainsi que dans certains pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique ;
- Le format destiné à succéder au DVB-T est le DVB-T2 ;
- Cette norme est conçue pour offrir de bonnes performances en prenant en compte les contraintes d'une transmission hertzienne ;
- Une atténuation forte au niveau du récepteur, le rapport signal / bruit (SNR) est limité à 18,6 dB environ;
- Une interférence avec les canaux adjacents;
- Une interférence Inter-Symbole (IIS) importante liée à des multitrajets longs (distance et temps de propagation importants) ;

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

- Une présence de bruit impulsif (dû aux moteurs, équipements électriques...).

Pour une modulation classique, on sera limité par le rapport signal sur bruit à une modulation QPSK au lieu de 16 QAM ou 64 QAM et l'IIS s'étendrait sur plusieurs centaines de symboles. Il est donc préférable d'utiliser une modulation de type OFDM qui utilise des centaines de sous-porteuses de largeur de bande beaucoup plus petite, chacune étant modulée en 16 QAM ou 64 QAM, selon les pays.

Cette technique de multiplexage est nécessaire en raison de la présence éventuelle d'échos forts dus aux mauvaises conditions de réception (antennes non dégagées...) et aux multitrajets.

b) DVB-T2

DVB-T2 par abréviation "*Digital Video Broadcasting - Terrestrial, (2^e génération)*", en français : radiodiffusion de télévision numérique terrestre de deuxième génération), est la norme succédant au standard DVB-T. Elle est conçue pour diffuser des signaux terrestres de radiodiffusion numérique, de télévision numérique ou des données. DVB-T2 se distingue de son prédécesseur (DVB-T) par une plus grande efficacité spectrale.

Les objectifs commerciaux du système sont définis dans un document du consortium industriel DVB, comme suit :

- Optimisé pour la réception fixe, bien que la réception mobile soit possible ;
- Amélioration de la robustesse du signal ;
- Augmentation de la taille des réseaux mono-fréquence d'au moins 30 pour cent ;
- Amélioration de la facilité d'utilisation grâce à une commutation plus rapide entre les chaînes ;
- Radiodiffusion moins coûteuse grâce à une utilisation plus efficace du spectre radio.

Avec les mêmes capacités en bande passante, plus de programmes peuvent être transmis en même temps et avec une meilleure qualité. La transmission de la TV HD en haute résolution est possible.

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de diffusion numérique

Le DVB-T2 permet d'utiliser la diversité de transmission du signal radio grâce à une meilleure prise en charge par le biais de deux antennes d'émission en mode MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). Elle permet aussi l'utilisation de plusieurs largeurs de bandes radio.

c) DVB-C

La norme **DVB-C** est l'application de la norme DVB aux transmissions par câble.

Cette norme tient compte des caractéristiques d'une transmission sur câble coaxial :

- La bande de fréquence disponible est réduite à 8 MHz par canal, il faut donc une efficacité spectrale importante ;
- Le signal est protégé et amplifié ce qui implique que le rapport signal à bruit est bon ;
- Les perturbations sont dues aux échos causés par une mauvaise adaptation de la prise utilisateur.

La norme DVB-C n'est pas compatible avec la norme DVB-T. Cependant, Philips, Technisat, Loewe, Sony, Metz... commercialisent en Europe des télévisions avec tuner mixte DVB-T/DVB-C intégré, ce qui évite les récepteurs DVB-C externes pour les chaînes de télévision en clair (ou chiffrées, avec interface commune). Au Benelux, JVC commercialise aussi une série de télévision LCD mais seulement MPEG-2.

d) DVB-H

Le DVB-H (Digital Video Broadcasting - Handheld), en français, Diffusion vidéo numérique - mobile est un système de radiodiffusion numérique destiné à une réception de la télévision sur terminal mobile. Les principales technologies concurrentes du DVB-H sont le T-DMB et l'ISDB-T et l'utilisation des réseaux mobiles 3G et 4G pour recevoir les chaînes de télévision.

DVB-H est un standard de transmission vidéo élaboré par le projet DVB et édités par l'**ETSI** et le **CENELEC** en 2004. DVB-H est une adaptation du DVB-T, le système pour la télévision terrestre numérique (TNT), aux exigences des récepteurs de poche. DVB-H offre un canal descendant à haut débit utilisable tel quel ou en complément des réseaux de télécommunication mobiles. La modulation numérique COFDM permet de résister aux échos et ainsi renforcer la réception mobile.

e) DVB-S

La norme **DVB-S** (Digital Video Broadcasting - Satellite) est l'application de la norme DVB aux transmissions par satellite. Le développement de la norme s'est fait de 1993 à 1997 avec une première version émise en 1994. Permettant ainsi la diffusion de la télévision numérique par satellite au grand public.

Cette norme tient compte des caractéristiques d'une transmission satellite :

- La bande disponible est relativement large : 36 MHz,
- Canal de type AWGN (*Additive White Gaussian Noise*),
- Signal fortement atténué et dominé par le bruit,
- Transmission en ligne directe.

Il faut donc utiliser une transmission efficace à faible rapport signal à bruit en utilisant une modulation QPSK associée à des codes évolués comme le codage convolutif (efficace pour réduire le taux d'erreur) suivi d'un entrelaceur et d'un code de Reed-Solomon.

Des fabricants commercialisent en Europe des télévisions avec *tuners* DVB intégrés mixtes (DVB-T/DVB-S). Ces appareils permettent aux téléspectateurs de recevoir directement sans récepteur externe les chaînes de télévision en clair ou cryptées avec l'interface commune DVB-CI, par satellite, en MPEG 4 AVC ou MPEG 2, en HD ou SD.

Remarque

Une nouvelle version DVB-S2 (Digital Video Broadcasting - Satellite 2) existe depuis maintenant quelques années, elle est beaucoup utilisée pour les transmissions HD. Les récepteurs DVB-S2 sont compatibles avec les émissions DVB-S, mais pas l'inverse.

1.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié les notions de base de la télécommunication par satellite en citant les différentes caractéristiques d'un satellite et des liens satellitaires ainsi que leurs méthodes d'accès.

Les satellites de télécommunications sont à l'heure actuelle très nombreux, car leurs venues a permit de compléter parfaitement et d'améliorer les possibilités des moyens de télécommunication terrestre par voie filaire ou par ondes.

Dans le cadre des services que proposent ces systèmes la plus commune reste la télédiffusion.

Les satellites ont joué un rôle important dans diverse domaines surtout dans les réseaux de télécommunications comme on l'a déjà cité, mais aujourd'hui des moyens et des méthodes plus efficaces doivent être trouvés pour améliorer la qualité des services.

Chapitre 2

Le système DVB-S2

2.1. Introduction

Le standard **DVB-S2** représente une évolution de la diffusion numérique pour la télévision par satellite. Avec les nouveautés apportées, nous avons gagné en efficacité spectrale d'une valeur de l'ordre de 25% à 30% par rapport aux standards existants équivalents (**DVB-S** et **DVB-DSNG**) en plus des nouvelles applications introduites.

Cet apport par le standard DVB-S2 s'explique par les modifications introduites au niveau codage et modulation. Le tableau 2.1 représente les principales différences entre le DVB-S2, DVB-S et le DVB-DSNG.

Année	1994	1997	2003
Standard	DVB-S	DVB-DSNG	DVB-S2
Mode de codage et de modulation	CCM	VCM	ACM
Codage	Viterbi, Reed-Solomon	Viterbi, Reed-Solomon	LDPC, BCH
Modulation	QPSK, FEC, Débit symbole	QPSK, 8PSK, FEC, Débit symbole	QPSK, 8 PSK, 16 APSK, 32APSK, FEC, Débit symbole
Format des données	MPEG-2	MPEG-2, données	MPEG-2, MPEG-4(H264), HEVC(H265), données

Tableau 2.1. Évolution du standard de diffusion par satellite [20]

Ces modifications introduites par le standard DVB-S2, ont permis d'atteindre une performance remarquable que nous allons détailler dans la suite.

2.2. La chaîne de transmission DVB-S

L'évolution croissante des télécommunications par satellite a conduit à une normalisation des systèmes de communications. La norme DVB-S fait partie des normes pour la transmission de télévision et data vidéo. Cette norme est basée sur l'échange de données au format MPEG-2 (flux transport Stream) en utilisant une liaison satellitaire. Elle a beaucoup apporté au domaine de la télédiffusion car aujourd'hui grâce à cette technique on peut émettre et recevoir des données dans différents coins du globe.

D'autres normes, comme la norme DVB-C pour le câble et la norme DVB-T pour les émetteurs terrestres, traitent de l'échange de fichiers du même type mais dans des canaux de communications différents.

Le schéma du codage du canal sous DVB-S est très particulier et porte le nom du schéma de codage concaténé et il est représenté dans la figure 2.1 .

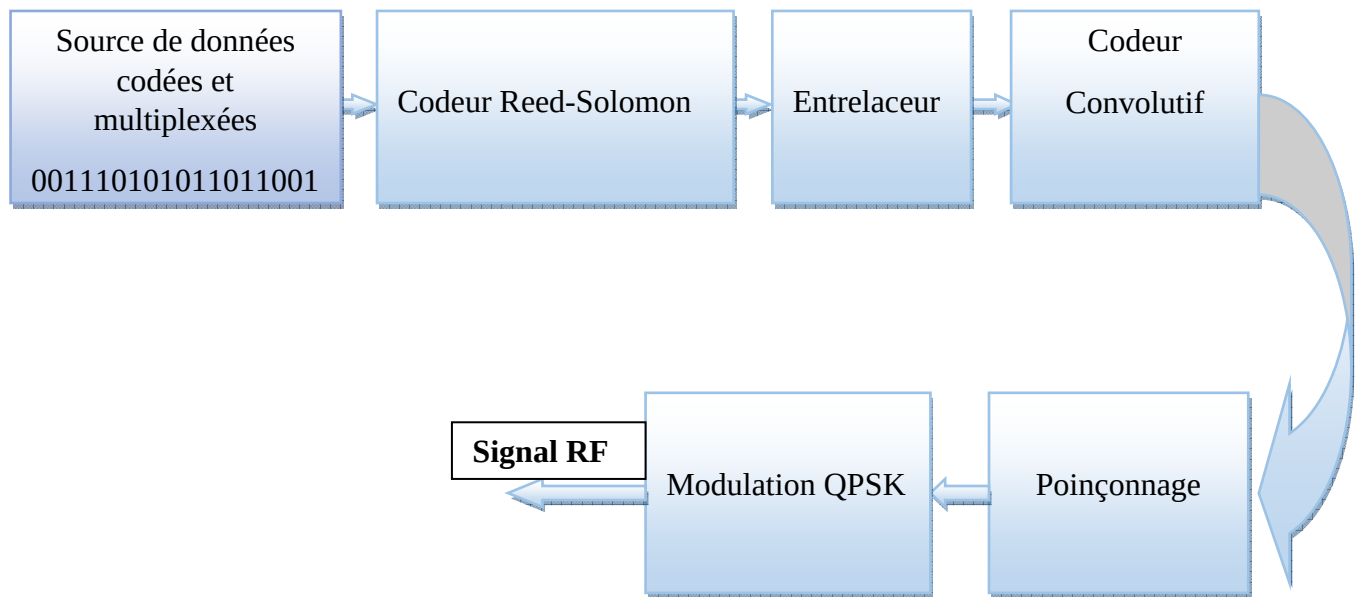


Figure 2.1. La chaîne de transmission DVB-S

2.2.1. Les principaux paramètres d'une chaîne DVB-S

Les principaux paramètres composant la chaîne d'émission-réception doivent être configurés de sorte à obtenir une continuité des signaux durant la transmission et d'apporter à cette dernière une robustesse vis-à-vis des erreurs pouvant intervenir durant la communication dans le canal bruité.

Le tableau 2.2 ci-dessous résume les principales caractéristiques de cette chaîne.

Codage vidéo	MPEG-2
Codage Audio	MPEG-1 layer2
Longueur des paquets transportés	188 octets
Codeur de Reed-Solomon	204, 188, T=8
Entrelacement convolutif	12 blocs
Modulation	QPSK
Roll-off	0.20, 0.25, 0,35
Largeur du canal de transpondeur	36 MHz, 54Mhz, 72Mhz
Débit	23,7 à 41,5 Mb/s

Tableau 2.2. Les paramètres d'une chaîne de transmission DVB-S [20]

2.2.1.1. Le codeur Reed Solomon

Le code Reed-Solomon (fig.2.2) est un code détecteur et correcteur d'erreur. Il est basé sur les corps de Galois dont le principe est de construire un polynôme formel à partir des symboles à transmettre et de le sur-échantillonner. Le résultat est alors envoyé, au lieu des symboles originaux. La redondance du sur-échantillonnage permet au récepteur du message encodé de construire le polynôme même s'il y a eu des erreurs pendant la transmission. Ces codes ont une propriété importante, ils sont linéaire et font partie du code BCH. Le codeur prend **k** symboles de donnée (chaque symbole contenant **s** bits) et calcul les informations de contrôle pour construire **n** symboles, ce qui donne **n-k** symboles de contrôle. Le décodeur peut corriger au maximum **t** symboles ou :

$$2t=n-k \quad (2.1)$$

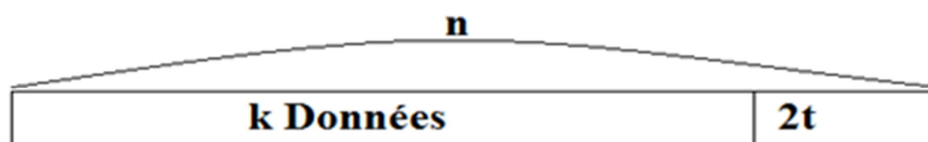


Figure 2.2. Mot-Code de Reed Solomon

C'est le type de correction qui permet, en combinaison avec l'entrelacement qui le suit, la correction des erreurs en rafale introduite dans le canal.

2.2.1.2. L'entrelaceur [9]

A l'émission, les octets d'un paquet sont répartis dans d'autres paquets, ce qui permet d'éviter d'avoir à corriger une longue suite de bits (ou octets) faux consécutifs. L'entrelacement permet de répartir les erreurs sur plusieurs paquets, facilitant ainsi la détection et correction d'erreurs du décodeur RS. Le principe de l'entrelaceur convolutif utilise plusieurs registres à décalages qui vont induire un retard. L'entrelaceur utilise deux paramètres : le nombre de branches K et la profondeur T (en octet) du registre à décalage de base.

Nous illustrons ci dessous le principe de l'entrelaceur dans un cas simple (fig.2.3) de trois branches et un registre à décalage de base, de profondeur 2 octets.

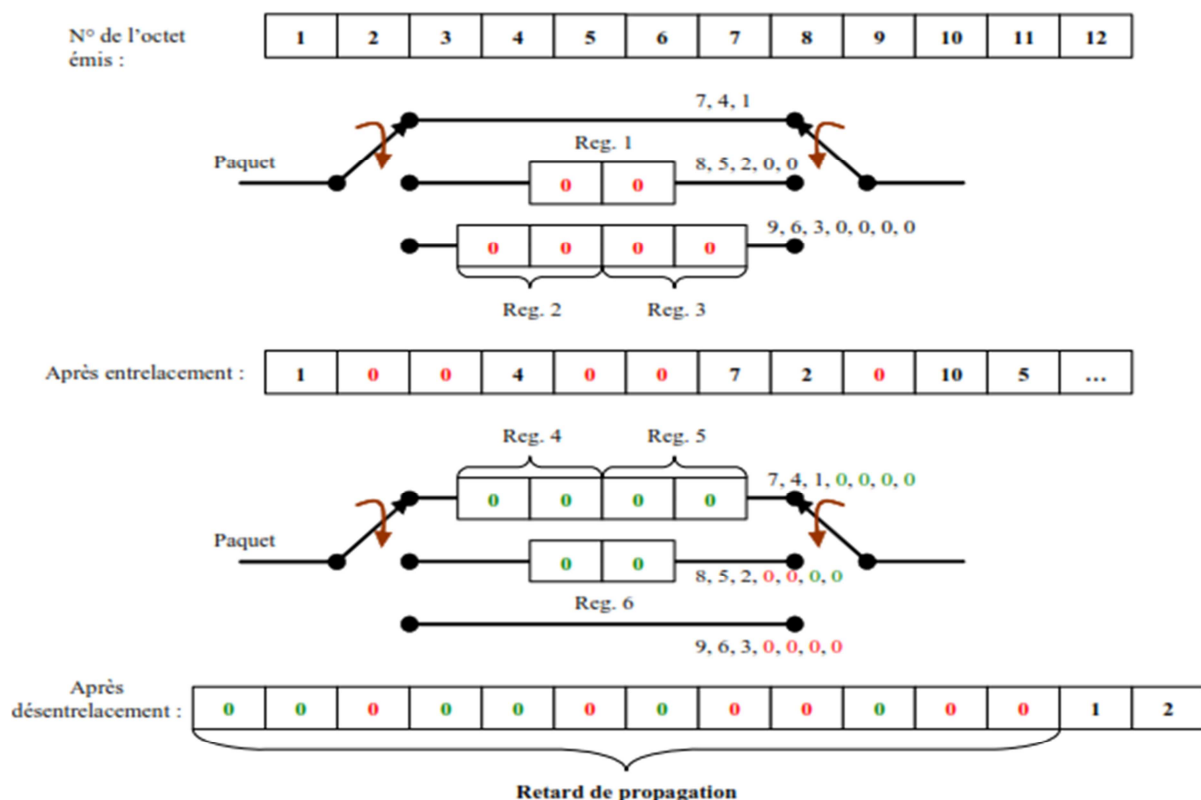


Figure 2.3. Processus d'entrelacement/désentrelacement à l'initialisation, avec $K=3$ et $T=2$

L'entrelacement utilisé dans la norme DVB-S est constitué de 12 branches et chacune d'entre elle est composée de registres à décalage multiples de 17 octets. Les figures 10-a et

10-b schématisent respectivement le fonctionnement de l'entrelaceur convolutif (12, 17) et du désentrelaceur (12,17).

En effet, chaque branche est constituée d'un multiple de 17 octets : 17 octets pour la première branche à 17×11 octets pour la dernière branche. Ainsi, en sortie du désentrelaceur convolutif (12, 17) le début du premier paquet entrelacé arrive avec un retard de $12 \times (17 \times 11) = 2244$ octets, ce qui équivaut au nombre de registres multiplié par la taille maximale du plus grand registre (temps nécessaire pour que les registres soient totalement remplis à l'initialisation de la chaîne). Ce délai sera pris en compte par la suite au cours de notre simulation pour le calcul du taux d'erreur binaire.

Plus généralement, pour un entrelaceur/désentrelaceur (K, T) , le retard en octet à considérer pour évaluer le taux d'erreur binaire est de :

$$K \times (K-1) \times T \quad (2.2)$$

Il faut donc comme pour le cas de codage de RS, synchroniser correctement le début du paquet à désentrelacer en réception pour ne pas avoir de paquet complètement faux en entrée du décodeur de RS. C'est pour cela qu'on est obligé d'insérer une ligne de retard juste avant le bloc *Convolutional Deinterleaver* (fig.2.4).

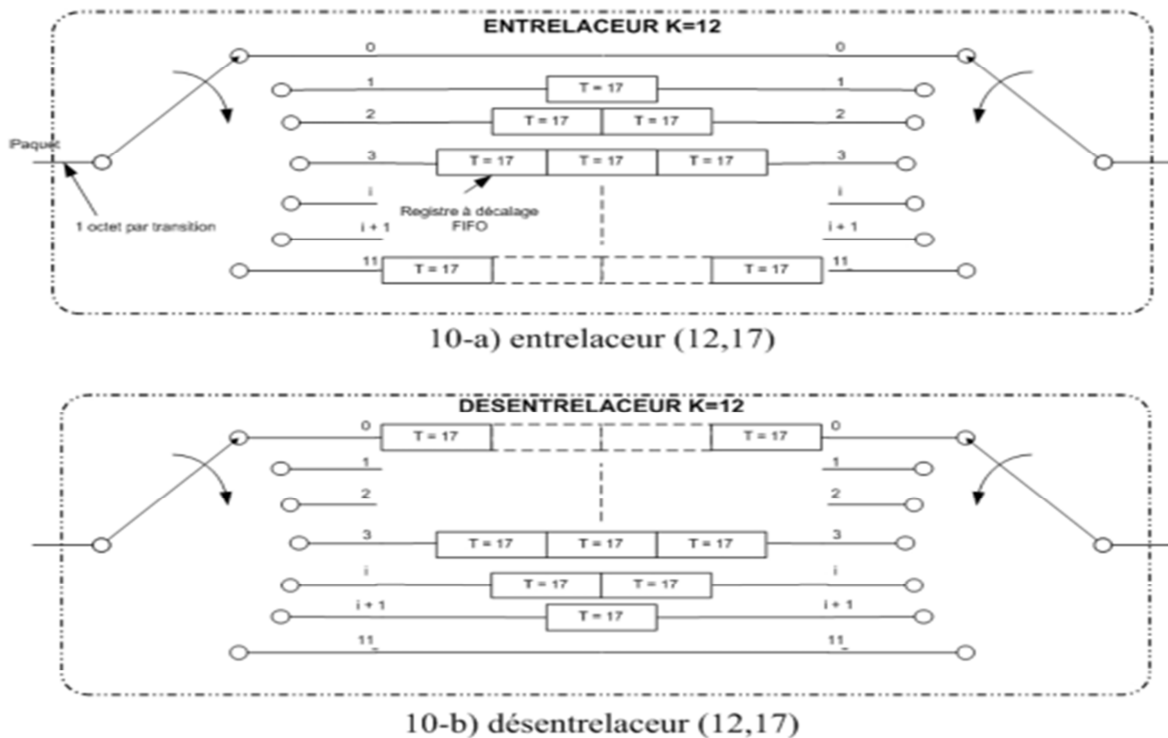


Figure 2.4. Entrelaceur/Désentrelaceur (12, 17) constituant une chaîne DVB-S

2.2.1.3. Le codeur convolutif et poinçonnage

Les codes convolutifs peuvent être considérés comme un cas particulier des codes en blocs linéaires, mais un point de vue plus large nous fera découvrir que la structure convolutive additionnelle munit le code de propriétés favorables qui facilitent à la fois son codage et améliore ses performances. Les codes convolutifs forment une classe extrêmement souple et efficace des codes correcteurs d'erreurs. Ce sont les codes les plus utilisées dans les systèmes de télécommunications fixes et mobiles. Théoriquement, ils ont les mêmes caractéristiques que les codes en blocs sauf pour la valeur de leur dimension et leur longueur.

Ces codes s'appliquent sur des séquences infinies de symboles d'information et génèrent des séquences infinies de symboles codés.

Ce codage crée deux trains binaires à partir du train original. Il permet une correction d'erreurs très puissante, en cas de transmissions à très faible rapport signal/bruit, mais il réduit de moitié l'efficacité spectrale du canal et l'étendue de la zone de service de l'émetteur. En effet, c'est à l'exploitant de choisir le rapport entre le débit utile et le débit effectivement transmis.

2.2.1.4. Le modulateur QPSK

Pour transmettre des signaux MPEG-2 sur un transpondeur satellite, on utilise la modulation type QPSK pour moduler les informations numériques sur la fréquence porteuse. Plutôt que d'utiliser l'amplitude ou la fréquence de la porteuse pour transporter l'information, la QPSK module la phase de la porteuse.

En fonction des données à moduler, la porteuse est forcée dans une des quatre phases possibles, aussi appelée symbole. Le grand avantage de cette méthode est que chaque symbole code deux bits de données, donc double la quantité potentielle de données qui sera transmise avec une modulation d'amplitude ou de fréquence.

La Figure 2.5 ci-dessous montre chaque paire possible de bits de données est représentée par un angle de phase différent et un exemple de signal QPSK.

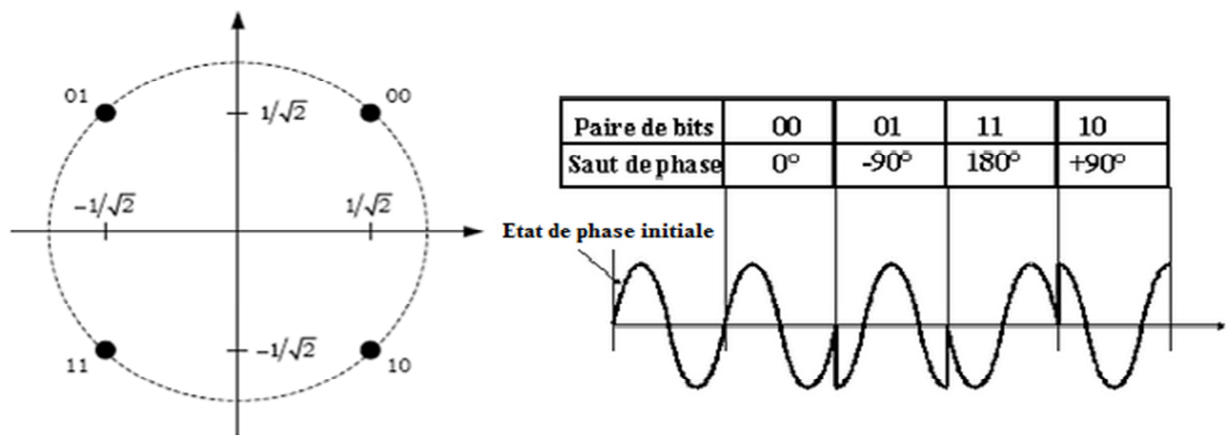


Figure 2.5. La modulation QPSK

A cause de l'utilisation du QPSK, le débit de données est exprimé en débit symboles (Symbole Rate) plutôt qu'en débit binaire (bit rate). Dans ce cas, le débit binaire est deux fois le débit symbole. Par exemple un signal de 20 MS/s (20 méga-symboles par seconde) équivaut à un débit binaire de 40Mb/s.

2.3. Le standard DVB-S2

Le DVB-S2 est un standard de transmission du contenu multimédia par satellite. Il représente une évolution de la diffusion numérique pour la télévision. Avec les nouveautés apportées, nous avons gagné en efficacité spectrale d'une valeur de l'ordre 25% à 30% par rapport aux standards existants équivalents, en plus des nouvelles applications introduites. L'apport du standard DVB-S2 s'explique par les modifications introduites au niveau codage et modulation. Le DVB-S2 profite d'un meilleur codage de type LDPC (Low-Density Parity-Check) combiné à plusieurs types de modulations (QPSK, 8PSK, 16 APSK, 32 APSK). Ces modifications introduites pour le standard DVB-S2, ont permis d'atteindre une performance remarquable.

2.3.1. Caractéristiques du DVB-S2

2.3.1.1. Chaîne de transmission DVB-S2

La figure 2.6 ci-dessous nous donne un aperçu sur les éléments d'une chaîne DVB-S2

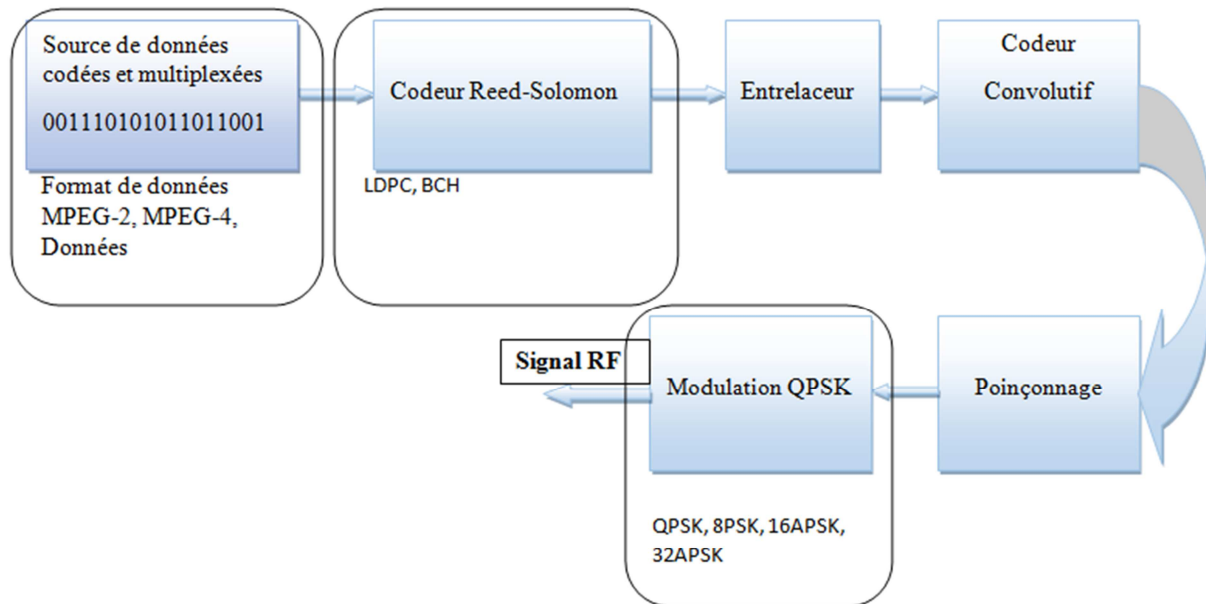


Figure 2.6. La chaîne de transmission DVB-S2

Les différentes caractéristiques du standard DVB-S2 sont :

➤ Le codage avancé

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

➤ L'ordre de modulation supérieur

Le standard DVB-S n'a défini que deux modulations qui sont le **BPSK** (Binary Phase Shift Keying) et la **QPSK**. Alors que quatre schémas de modulation sont proposés par le DVB-S2. Ces schémas sont donnés par les modulations QPSK, 8 PSK, 16 APSK et 32 APSK (fig.2.7). L'ordre élevé de la modulation permet d'augmenter l'efficacité spectrale.

En général, le mode 8 PSK est utilisé dans les applications de radiodiffusion, car cette modulation se caractérise par une enveloppe pratiquement constante et elle peut être utilisée dans des répéteurs satellites non linéaires portés à quasi-saturation. Les modes 16-APSK et 32-APSK, axés principalement sur des applications professionnelles, peuvent être aussi

utilisés pour la radiodiffusion, mais exigent un niveau plus élevé du rapport C/N disponible ainsi que des méthodes de préaccentuation pointues dans la station d'émission afin de minimiser l'effet de la non-linéarité du répéteur. Bien que ces modes se caractérisent par un rendement énergétique moindre, ils offrent une efficacité spectrale nettement supérieure. Les constellations 16-APSK et 32-APSK ont été optimisées pour fonctionner sur un répéteur non linéaire en plaçant les points sur des cercles.

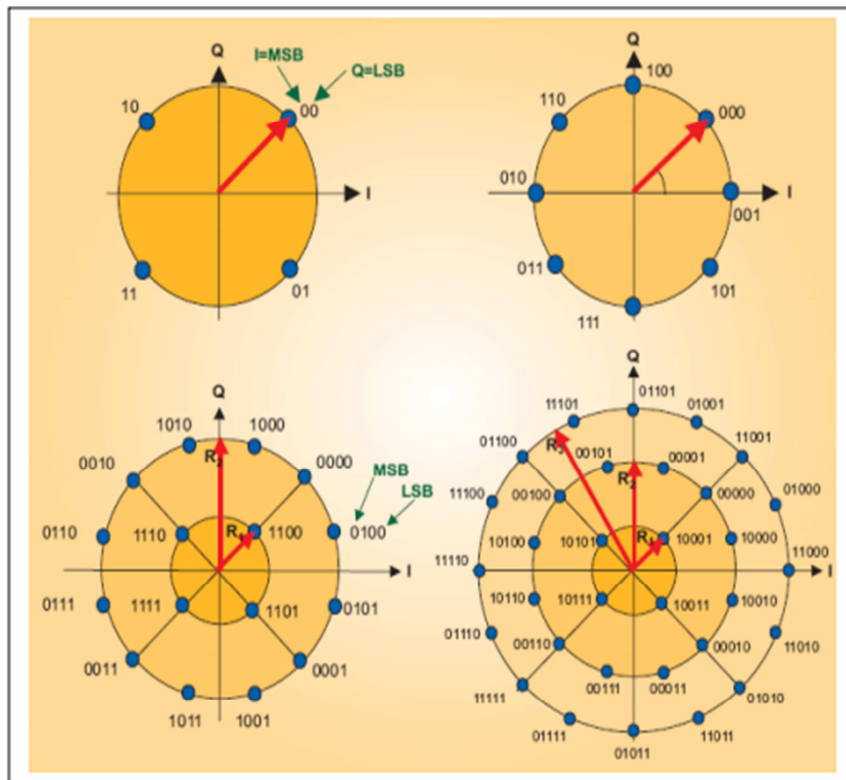


Figure 2.7. Constellations DVB-S2 avant brouillage des couches physiques [20]

➤ Plusieurs formats de données

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

• Modulation et codage variable

Afin de garantir la qualité de service requise par les différentes applications et d'exploiter les ressources spectrales d'une manière plus efficace, le DVB-S2 adopte à la fois un codage et une constellation variables. Les différentes possibilités de modulation et de taux de codage sont données dans le tableau 2.3.

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

Tableau 2.3. Modulation et taux de codage utilisés [20]

- **Modulation et codage adaptatif**

Le standard DVB-S2 permet de fournir des services interactifs en plus de la modulation et du codage variable. Un canal de retour est utilisé pour réaliser la modulation et le codage adaptatif ACM (Adaptive Coding and Modulation). Cette technique, en plus de l'introduction de nouveaux services, a permis une plus grande protection des canaux et une augmentation de la capacité de transmission,

2.4.2. Codeur FEC

La correction d'erreur directe (FEC) est le sous-système fondamental pour obtenir d'excellentes performances par satellite, avec des niveaux de bruit et de brouillage particulièrement élevés. Dans ce bloc nous appliquons les codes retenus par le standard DVB-S2 qui sont les codes BCH et LDPC avec un taux de codage qui peut être 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 ou 9/10. Le nombre total de bits de la trame de sortie doit être constant et égale soit à 64800 ou à 16200. Les codes BCH (Bose Chaudhuri Hocquenghem) externes concaténés permettent d'éviter les effets de seuil (d'erreur) dans le cas de faible taux d'erreur binaire (TEB).

2.4.3. Organisation suivant le schéma de constellation

Ce bloc a pour fonction la génération des symboles suivant le type de modulation adopté. A titre d'exemple et comme le montre le schéma de constellation 16 APSK dans la figure 2.8, les bits sont regroupés en des symboles de 4 bits.

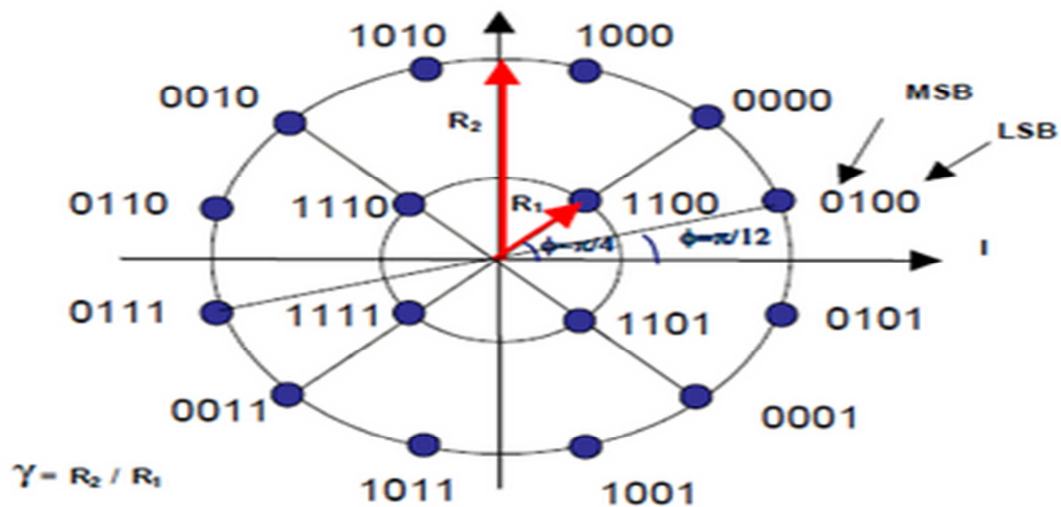


Figure 2.8. Schéma de constellation 16A PSK [20]

2.4.5. La modulation

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

2.5. La chaîne de transmission DVB-S2 [9]

2.5.1. Liaison montante "Uplink"

La voie montante DVB-RCS transporte la signalisation transmise par le NCC aux terminaux utilisateurs en DVB-S ou en DVB-S2. L'apport de la norme DVB-RCS concerne donc les compléments de signalisation nécessaires aux utilisateurs dans le cadre du réseau interactif. La norme utilisée, pour la gestion des programmes et la mise en réseau de plusieurs répéteurs de satellite, les informations de service du MPEG-2 et du DVB-SI. Elle insère de plus de nouvelles tables pour :

- La position du satellite SPT (Satellite Position Table).
- La description de la signalisation de la voie aller RMT (RCS Map Table). La description de la trame MF-TDMA SCT, FCT, TCT (Superframe, Frame, Time-slot Composition Table). L'allocation de la capacité fixe ou dynamique (en débit, volume absolu, volume cumulé ou capacité restante) TBTP (Terminal Burst Time Plan).

- Les corrections à effectuer en émission sur la fréquence, le temps et l'amplitude CMT (COWEction Message Table).

Enfin, elle diffuse une horloge Zn réseau NCR (Network Clock Reference) définie sur le principe du MPEG-2 et des messages broadcast ou unicast de configuration du terminal TIM (Terminal Information Message).

2.5.2. Liaison descendante "Downlink"

Sur la voie descendante DVB-RCS, les terminaux sont en concurrence et utilisent un accès de type MF-TDMA soit fixe soit dynamique suivant la souplesse désirée au niveau de la gestion des utilisateurs. Un groupe de terminaux communique alors avec une Gateway en utilisant un ensemble de fréquences porteuses, chacune étant divisée en intervalles de temps. L'unité d'allocation des ressources est le burst (il s'agit de séries de bits comportant au plus quelques centaines d'octets séparées par des intervalles de garde. Un burst étant défini par une fréquence centrale, une largeur de bande, un instant de début et une durée. Les spécifications portant sur la voie retour au niveau MAC concernent l'accès comme les requêtes de capacité, les messages de gestion et contrôle et les messages relatifs au chiffrement des données. Au niveau de la couche physique, les spécifications définissent la formation de bursts, la dispersion d'énergie, le codage de canal et enfin la modulation.

Les bursts transmettent, des paquets CSC pour la connexion, des paquets SYNC pour la réalisation et le maintien de la synchronisation et l'envoi de messages MAC. Il transmettent, également des paquets ACQ pour la synchronisation fine optionnelle ainsi que des paquets TRF pour l'envoi de données de trafic ATM ou MPEG-2 qui peuvent inclure de la signalisation en préfixe ou encapsulation de type AAL5.

La dispersion d'énergie est semblable à celle de la norme DVB-S. Le codage de canal consiste soit en une chaîne de codage type DVB-S (Reed-Solomon et codage convolutif mais sans entrelacement). Même si durant une même session l'un ou l'autre des schémas de codage est choisi, les deux doivent être implémentés au niveau du terminal. La modulation est une QPSK avec une mise en forme en racine de cosinus surélevé.

2.6. Applications du DVB-S2

Le système DVB-S2 a été conçu pour plusieurs applications satellitaires de large bande:

Chapitre 2: Le système DVB-S2

- La radiodiffusion de la télévision SD et HD.
- Les services interactifs, y compris l'accès Internet, pour les applications grand public.
- Les applications professionnelles, telle que les liaisons TV de contribution et le journalisme électronique per satellite.
- La transmission de contenus TV vers des émetteurs VHF/UHF terrestres.
- La transmission de contenus de données et agrégation de liens Internet (trunking).

2.7. Étude comparative entre DVB-S et DVB-S2

La comparaison entre les deux normes DVB-S et DVB-S2 se résume dans les tableaux 2.5 et 2.6.

Standard	DVB-S	DVB-S2
Codage	Viterbi, Reed-Solomon	LDPC, BCH
Modulation	QPSK	QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK
Mode de codage et de modulation	CCM	ACM
Formats des données	MPEG-2	MPEG-2, MPEG-4, données
Facteur de décroissance (Roll-off)	0,35	0,35. 0,25. 2,2
Débit binaire	23,7 à 41,5 Mb/s	36 à 51Mb/s

Tableau 2.4. Les paramètres de la comparaison entre le DVB-S et le DVB-S2 [20]

P.I.R.E du satellite (dbw)	51		53,7	
Système	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Modulation et codage	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	8-PSK 2/3
Débit de symbole (MS/s)	27,5 (= 0,35)	30,9 (=0,0)	27,5 (=0,35)	29,7 (=0,25)
Porteuse/bruit (en 27,5 MHz) (db)	5,1	5,1	7,8	7,8
Débits binaire utiles (Mbit/s)	33,8	46 (gain=36%)	44,4	58,8 (gain=32%)
Nombre de programmes SDTV	7 MPEG-2 15 AVC	10 MPEG-2 21 AVC	10 MPEG-2 20 AVC	13 MPEG-2 26 AVC
Nombre de programmes HDTV	1-2 MPEG-2 3-4 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	3 MPEG-2 6 AVC

Tableau 2.5. Comparaison entre DVB-S/S2 pour deux valeurs de PIRE de satellite [20]

- La spécification de la norme DVB-S2 tourne autour de trois concepts clés qui sont les meilleures performances de transmission, une souplesse totale et une complexité raisonnable du récepteur. Cette norme intègre les derniers progrès en matière de modulation et de codage canal.
- La norme DVB-S ne définissait que la modulation QPSK pour la distribution des services de télédiffusion de données par satellite, ce qui imposait une limite aux applications professionnelles fonctionnant avec des antennes plus grosses et à des débits de symboles inférieurs. L'infrastructure professionnelle qui était déjà en place, nécessitait des débits plus grands et était en mesure d'accepter des schémas de modulation proposés par le DVB-S2. Ces schémas sont donnés par les modulations QPSK, 8 PSK, 16 APSK et 32 APSK.
- Pour l'application point à point interactives, telles que l'unicasting IP, l'adaptation de la fonctionnalité de modulation et de codage adaptatif (ACM) permet d'optimiser les paramètres de transmission pour chaque utilisateur, en fonction des conditions de la voie et sous un contrôle en boucle fermé par voie de retour (terrestre ou satellite). Le résultat montre un gain encore plus important de la norme DVB-S2 par rapport au DVB-S.
- Afin d'améliorer d'avantage l'efficacité du transpondeur, la norme DVB-S2 ajoute deux facteurs de décroissance au facteur unique de 35% de la norme DVB-S.

2.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons introduit le standard de diffusion numérique DVB. Il apparaît que ces systèmes DVB fondées sur la norme MPEG-2 posent problème, c'est la raison pour laquelle MPEG2-TS est nécessaire. Ensuite, nous avons illustré quelques standards comme le DVB-S, DVB-S2 et DVB-RCS. Nous avons vu que la chaîne de transmission du standard DVB-S2, permet donc de générer un signal bien protégé et à débit plus important que celui du standard DVB-S.

Cette étude nous a permis d'en déduire la raison du passage du DVB-S vers le DVB-S2. Cela est dû aux performances remarquables qu'à apporter ce nouveau système telle une meilleure efficacité spectrale et un nouveau mode de codage et de modulation, ainsi que le format de compression MPEG-4.

Chapitre 3

Diffusion du bouquet de TDA (MCPC) sur satellite

3.1. Introduction

Dans les chapitres 1 et 2, nous avons vu les systèmes de diffusion par satellite DVB-S et DVB-S2. Donc ce chapitre va être consacré au déploiement du bouquet de TDA (MCPC) sur satellite (SES 4 "22°W" et Eutelsat "7°W A"), en exploitant le nouveau système DVB-S2 en Algérie, en passant bien sûr par une présentation des satellites exploités par la TDA, leurs zones de couverture, leurs fréquences de réception ...etc.

Ensuite, on va présenter la chaîne réelle DVB-S2 qui se trouve au centre nodal de Bouzareah et les différents éléments qui constituent cette chaîne. Enfin, L'élaboration d'une liaison montante et descendante afin de mieux comprendre ses caractéristiques et ses fonctionnalités.

3.2. Présentation du bouquet de TDA et les satellites qu'elle exploite

Pour avoir une bonne qualité de diffusion, la télédiffusion d'Algérie a loué des capacités satellitaires sur 3 essentiellement est en bande Ku qui a été choisie pour sa large couverture du territoire national permettant une qualité de réception des programmes TV et radio au moyen d'une antenne de faible dimension et à la portée du téléspectateur. Par ailleurs, ces satellites offrent des accès pour des distributions des programmes TV et radio sur des plateformes internationales. Le bouquet est constitué essentiellement de 6 chaînes de télévision et 48 chaînes radio publiques.

Dans ce chapitre on va s'intéresser essentiellement au satellite SES 4 et Eutelsat 7 West A, on remarque les paramètres instaurés par l'opérateur lui-même comme les fréquences de réception, SR, FEC (3/4 et 5/6), Système (DVB-S) donc les chaînes sont reçues en SD "Standard Definition" et claire (non cryptées), la bande de fréquence exploitée est Ku.

The EIRP values are for Ouargla, Algeria

TDA © LyngSat, last updated 2017-06-13 - https://www.lyngsat.com/provider/dz/TDA.html						
Position	Satellite	Beam EIRP (dBW)	Frequency	System	SR FEC	Source
5.0°W	Eutelsat 5 West A	NW Africa 53	11059 H	DVB-S	23700 3/4	O Lita 170115
7.3°W	Eutelsat 7 West A	MENA 48-49	11680 H	DVB-S	27500 5/6	Lexzie 170128
22.0°W	SES 4	Europe & Middle East 47-50	12673 H	DVB-S	20250 3/4	S Sarabia 150506
TDA © LyngSat, last updated 2017-06-13 - https://www.lyngsat.com/provider/dz/TDA.html						

Colour codes on this channel page: C band Ku band | SD/clear SD/encrypted HD/clear HD/encrypted

Figure 3.1. Les 3 satellites exploités par TDA selon le site Lyngsat.com

3.2.1. Le bouquet TDA de type MCPC vers le satellite SES 4 "22°W"

A. Le bouquet

12673 H tp EUT11 Europe & 47-50	TDA	DVB-S 20250
	Thalitha TV	
	Canal Algérie	
	(TDA feeds)	
	ENTV	ESS
	Algérie 5	
	Algérie 4	
	Radio Algérie Internationale	
	Chaîne 2	
	Chaîne 3	
	Radio Algérie Internationale	
	Radio Sahel	
	Radio Ouargla	
	Radio Tamanrasset	
	Radio Bechar	
	Radio Tlemcen	
	Radio Adrar	
	Radio Régionale de Ghardaïa	
	Radio Illizi	
	Radio Algérie Internationale	
	Radio El-Oued	
	Radio Tindouf	
	Radio Batna	
	Radio Jijel	
	Radio Souk Ahras	
	Radio Laghouat	
	Radio Naama	
	Chaîne 1	
	Radio Blida	
	Radio El Tarf	
	Radio Medea	
	Radio Mila	
	Radio Saïda	
	Radio regionale de Skikda	
	Radio Mascara	
	Radio Guelma	
	Radio Ain Temouchent	
	Radio Khenchla	
	Radio Bejaia	
	Radio Bouira	
	Radio Relizane	
	Radio Annaba	
	Radio Tizi Ouzou	
	Radio Tissemsilt	
	Radio El Bayadh	
	Radio Tebessa	
	Radio Djelfa	
	Radio Ain Deïfa	

Figure 3.2. Le bouquet TDA de type MCPC Diffusé vers le satellite SES4

B. La couverture du satellite SES 4

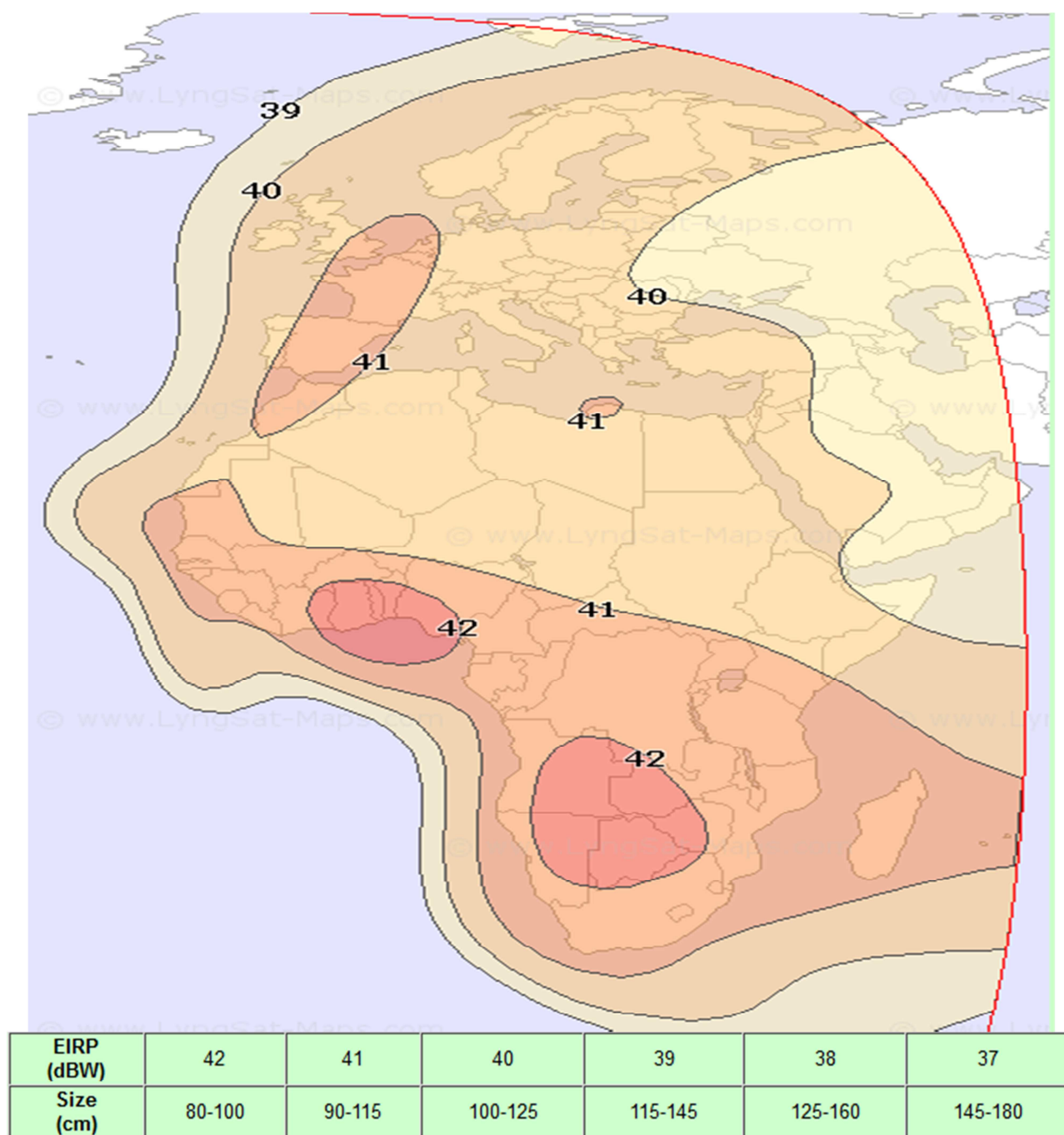


Figure3.3. La couverture offerte par le satellite SES 4

Cette figure nous donne une idée sur la puissance isotopique rayonnée équivalente "PIRE" (Equivalent Isotropic Radiated Power "EIRP") est définie dans la direction de l'antenne où la puissance émise est maximale : c'est la puissance qu'il faudrait appliquer à une antenne isotrope pour obtenir le même champ dans cette direction. Pour une antenne connectée directement à l'émetteur :

Chapitre 3 : Diffusion du bouquet de TDA (MCPC) sur satellite

$$\text{PIRE [dBm]} = \text{Puissance électrique appliquée à l'antenne [dBm]} + \text{Gain de l'antenne [dBi]} \quad (3.1)$$

$$\text{PIRE [W]} = \text{Puissance électrique appliquée à l'antenne [W]} * \text{Gain de l'antenne} \quad (3.2)$$

Pour une installation incluant le câble de liaison :

$$\begin{aligned} \text{PIRE [dBm]} = & \text{Puissance de transmission [dBm]} - \text{Pertes dans les câbles et connecteurs [dB]} \\ & + \text{Gain de l'antenne [dBi]} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Tout ces paramètres seront bien expliqués dans le chapitre suivant parce qu'ils entrent dans les différents paramètres d'un bilan liaison satellitaire.

Ces valeurs viennent d'une région à une autre pour le territoire Algérien par exemple elle est de 40 ce qui implique que nous pouvons parfaitement capter le signal émis par le satellite avec une antenne parabolique de 100-125 cm de diamètre.

C. L'antenne parabolique de réception du satellite SES 4 au niveau de TDA



Figure 3.4. L'antenne de réception du satellite SES 4

3.2.1. Le bouquet TDA de type MCPC vers le satellite Eutelsat 7 W A

A. Le bouquet

11680 H tp C25 MENA 48-49		TDA		DVB-S	27500-5/6	110-3109 6.5	Lexzie 170128
		ENTV		BISS	1	513	641 A
		Canal Algérie	F		2	515	,80 A
		Thalitha TV	F		3	514	670 A
		Algérie 4	F		4	517	660
		Algérie 5	F		5	516	650 A
		[TDA test card]			6	610	620
		[TDA test card]			7	710	720
		[TDA test card]			8	810	820
		[TDA test card]			9	910	920
		[TDA test card]			10	1010	1020
		Thalitha TV	F	MPEG-4/HD	25	101	110 A
		Chaîne 1	F S		11		685 A
		Chaîne 3	F S		13		671 F
		Radio Algérie Internationale	F S		17		683 A
		Radio Sahel	F		18		681 A
		Radio Bahdja	F S		20		1501 A
	Eutelsat 7 West A © LyngSat, last updated 2017-06-13 - https://www.lyngsat.com/Eutelsat-7-West-A.html						

Figure 3.5. Le bouquet de la TDA diffusé par le satellite Eutelsat 7 W A

De nombreuses informations sur notre bouquet sont dans ces figures, en peut citer :

- La fréquence de réception du satellite : 11680 (Horizontale)
- La puissance 48-49 dbw
- Le bouquet est constitué de 6 chaînes TV et 5 chaînes radio publiques
- Un FEC de 5/6
- Il existe des emplacements libres en cas de rajout de chaînes supplémentaires
- L'ENTV est cryptée à l'aide d'un mode de cryptage appelé BISS ...etc.

B. La couverture du satellite Eutelsat 7 W A



Figure 3.6. La couverture offerte par le satellite Eutelsat 7 W A

En Algérie on peut parfaitement capter le signal avec une antenne parabolique de 60-75 cm de diamètre.

C. L'antenne parabolique de réception du satellite Eutelsat 7 W A au niveau de TDA



Figure 3.7. L'antenne de réception du satellite Eutelsat 7 W A

3.3. Présentation et élaboration d'une chaîne DVB-S2 utilisée pour la diffusion du bouquet de TDA vers satellite

Après avoir été formellement édité comme norme d'ETSI en 2005, le DVB-S2 a été rapidement adopté par l'industrie pour donner d'autres services.

En Europe et aux États-Unis et même en Algérie, certains nombre de radiodiffuseurs satellite principaux emploient le DVB-S2 dans la conjonction avec le système de codage avancé MPEG-4. Ce dernier a permis la diffusion de la HDTV.

3.3.1. Codage du bouquet numérique de TDA

Si on considère que chaque codeur TANDBERG supporte un programme TV et cinq programmes radio et que le bouquet de TDA comporte 6 programmes TV et 20 radios alors la chaîne de codage est organisé comme suit :

- Quatre codeurs sont prévus pour coder les quatre chaînes nationales (TV CORAN, TV TAMAZIGHT, TV A3, CANAL ALGERIE) où chaque codeur prendra en charge un programme TV et 5 radios locales ;
- Deux autres codeurs sont prévus pour coder les deux chaînes restantes (PROGRAMME NATIONALE et CANAL 6 FEED) et ils sont cryptés :
 - Le premier servira à coder la chaîne nationale qui normalement est diffusée par des émetteurs terrestres; est diffusée via satellite pour palier aux problèmes d'indisponibilité de liaisons terrestres jusqu'au SAHARA.
 - Le second sert à coder la chaîne dite CANAL FEED qui sert à transmettre des signaux des destinations spécifiques.

La chaîne PROGRAMME NATIONALE est cryptée (cryptage "BISS") suite à la demande de la FIFA vu qu'elle diffuse des matchs de football.

- Un système de secours mis en parallèle aux six codeurs précédents assurant la redondance du point de vue programmes et matériels en cas de panne d'un des codeurs précédents. Ce système est composé de deux autres codeurs, l'un des deux codeurs assure le secours des signaux non cryptés par contre l'autre est prévu pour les deux signaux cryptés.



Figure 3.8. Codeur Tandberg E 5710 (face avant)

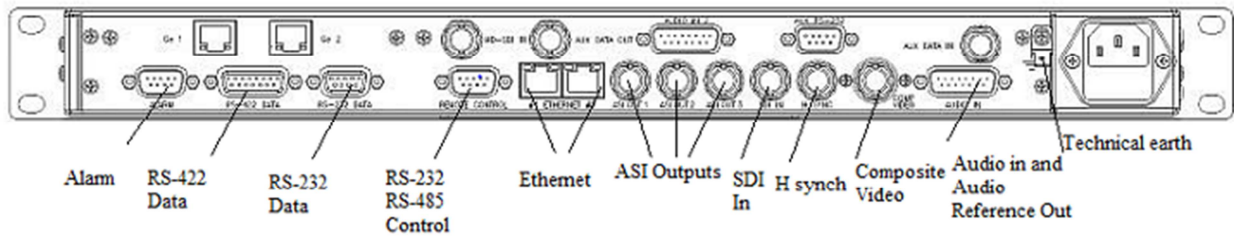


Figure 3.9. Codeur Tandberg E 5710 (face arrière)

Les codeurs TANDBERG de type E5710 sont utilisés par TDA, Ces codeurs supportent le format MPEG-2 et peuvent être configuré manuellement grâce aux boutons de sélections (de défilement dans les sous menus) et de l'écran LCD présent dans la face avant du codeur.

Ces codeurs traitent la vidéo quelque soit sa résolution et le standard de télévision (PAL, NTSC, SECAM) et accepte le signal vidéo sous n'importe quelle forme :

- Un signal analogique composite CVBS.
- Un signal numérique non compressé SDI (Serial Digital Interface).
- Données numériques.

Le codeur comporte 3 types de sorties :

- SDI-out : (Serial Digital Interface) c'est-à-dire l'interface numérique série qui donne un signal numérique non-compressé de 270Mb/s.
- ASI-out : (Asynchronous Serial Interface) qui donne un signal numérique compressé de taille 6Mb/s.
- Ethernet : Une sortie Ethernet pour la configuration du codeur via PC grâce à un logiciel E5710 encoder control (StreamXpert). On relie la sortie ASI-out ou bien SDI-out du codeur avec l'entrée ASI-in ou bien SDI-in d'une interface (ASI,SDI/USB) dont on relie la sortie à un pc afin de visualiser et d'évaluer la qualité du signal sortant.

Remarque

Une seule fréquence peut comporter plusieurs chaines TV.

Signal SDI : Pour une seule fréquence on a visualisation d'une seule chaine dans le PC.

Signal ASI : pour une seule fréquence on obtient tous les programmes compris dans la bande passante (tous le flux).



Figure 3.10. Interface ASI/USB

3.3.2. Le Multiplexage

Le multiplexage est une technique qui consiste à faire passer plusieurs informations à travers un seul support de transmission. Elle permet de partager une même ressource entre plusieurs utilisateurs.



Figure 3.11. Multiplexeur MX 5640

Ce multiplexeur va fournir un moyen de décrire le contenu du flux multiplexé dans le flux lui-même afin qu'il puisse être récupéré et démultiplexé dans le décodeur.

Chapitre 3 : Diffusion du bouquet de TDA (MCPC) sur satellite

Cela inclut des informations sur la nature des programmes, les noms et les numéros des services, du nom de prestataire de services, et d'autres informations utiles. Pour cela le multiplexeur va marquer chaque paquet avec un numéro permettant d'identifier les composantes de chaque programme (vidéo, audio). Ce numéro d'identification très important et différent pour chaque signal est bien connu sous son abréviation PID (Packets identifier).

En plus des PID d'autres données sont ajoutés au flux comme le SI (Service Information) et CA (control Access) pour permettre au récepteur de désembrouiller le signal.

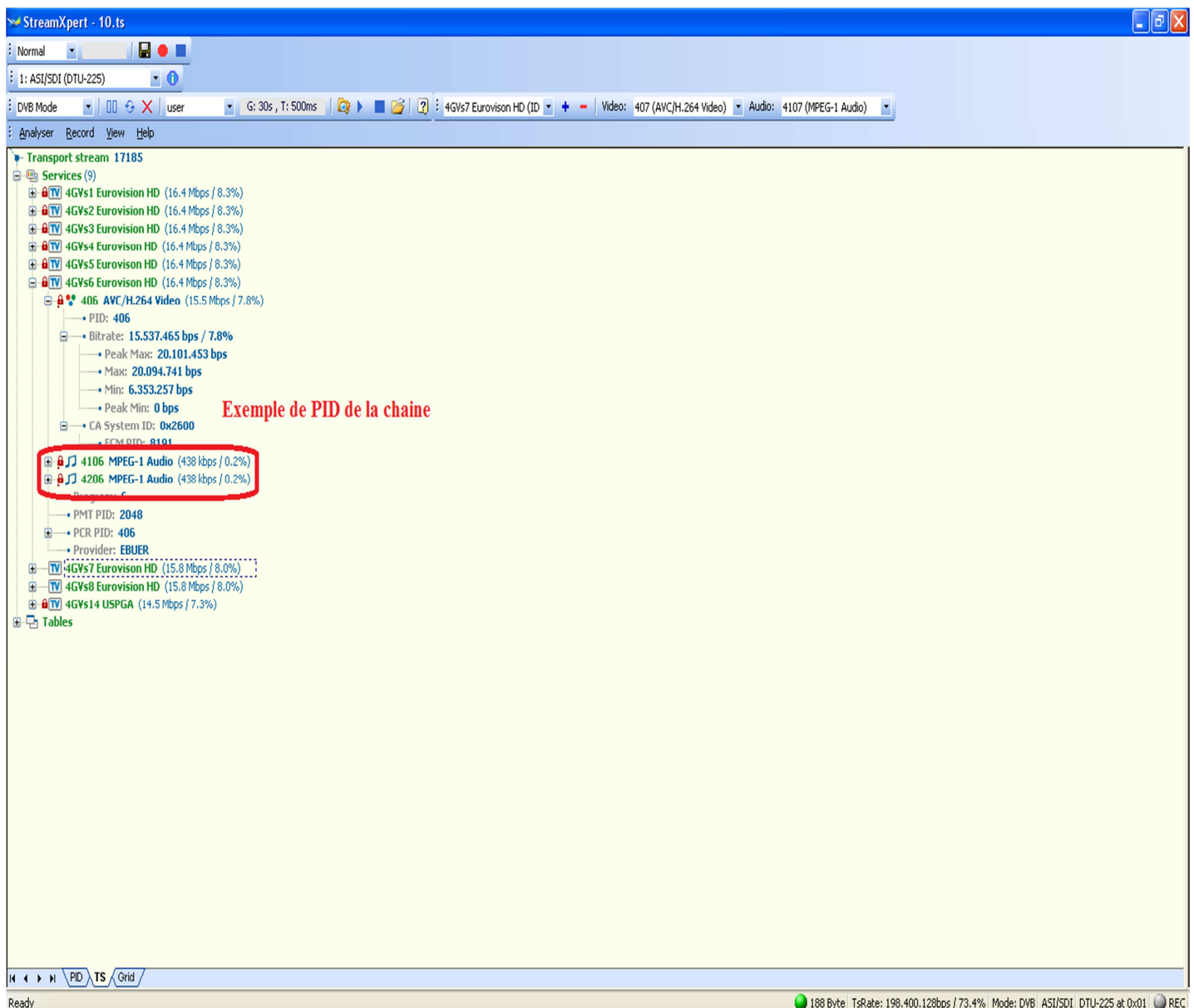


Figure 3.12. Exemple de PID de notre chaine donnée par le logiciel Stream Expert 3
(Des informations supplémentaires sur l'interface ASI/USB et Stream expert 3 seront données dans le chapitre suivant)

Un autre multiplexeur est mis en parallèle au multiplexeur principal afin d'assurer son secours en cas de panne.

Une fois multiplexés les 6 chaînes TV et les 20 radios vont être transportés par une seule porteuse c'est le système dit MCPC "Multiple Programme Per Channel (multiple canaux sur une même porteuse).

3.3.3. La Radio Fréquence

3.3.3.1 La Modulation

En transmission, un des problèmes essentiels est d'adapter le signal transmis au support de communication, de plus le signal est soumis à de fortes perturbations qui peuvent affecter sa qualité cependant il faut choisir une modulation robuste. La modulation la plus adéquate à une diffusion via satellite est la modulation QPSK puisque il s'agit d'une modulation à enveloppe constante.

L'intérêt d'avoir une modulation à enveloppe constante réside dans le fait d'envoyer des symboles ayant tous la même amplitude, cela permet d'employer les amplificateurs des satellites dans leur zone de meilleur rendement qui correspond souvent à un mode de fonctionnement non linéaire.

On peut également citer d'autres intérêts:

- Peu sensible aux distorsions non linéaires (saturation des amplificateurs).
- Peu sensible au bruit thermique en véhiculant peu de bits par symbole.

La chaîne d'émission du bouquet national vers le satellite Eutelsat 7 W A dispose de deux modulateurs FI (Fréquence Intermédiaire) de marque TANDBERG:



Figure 3.13. Modulateurs FI (un Modulateur principale et un autre de secours)

Le premier sert à moduler le signal sortant du multiplexeur tandis que le second sert comme secours au premier.

Pour bien comprendre cette étape importante nous allons faire une simulation avec matlab.

Chapitre 3 : Diffusion du bouquet de TDA (MCPC) sur satellite

Pour le cas d'une modulation QPSK et 8PSK, l'organigramme ci-dessous explique les étapes à suivre pour la simulation :

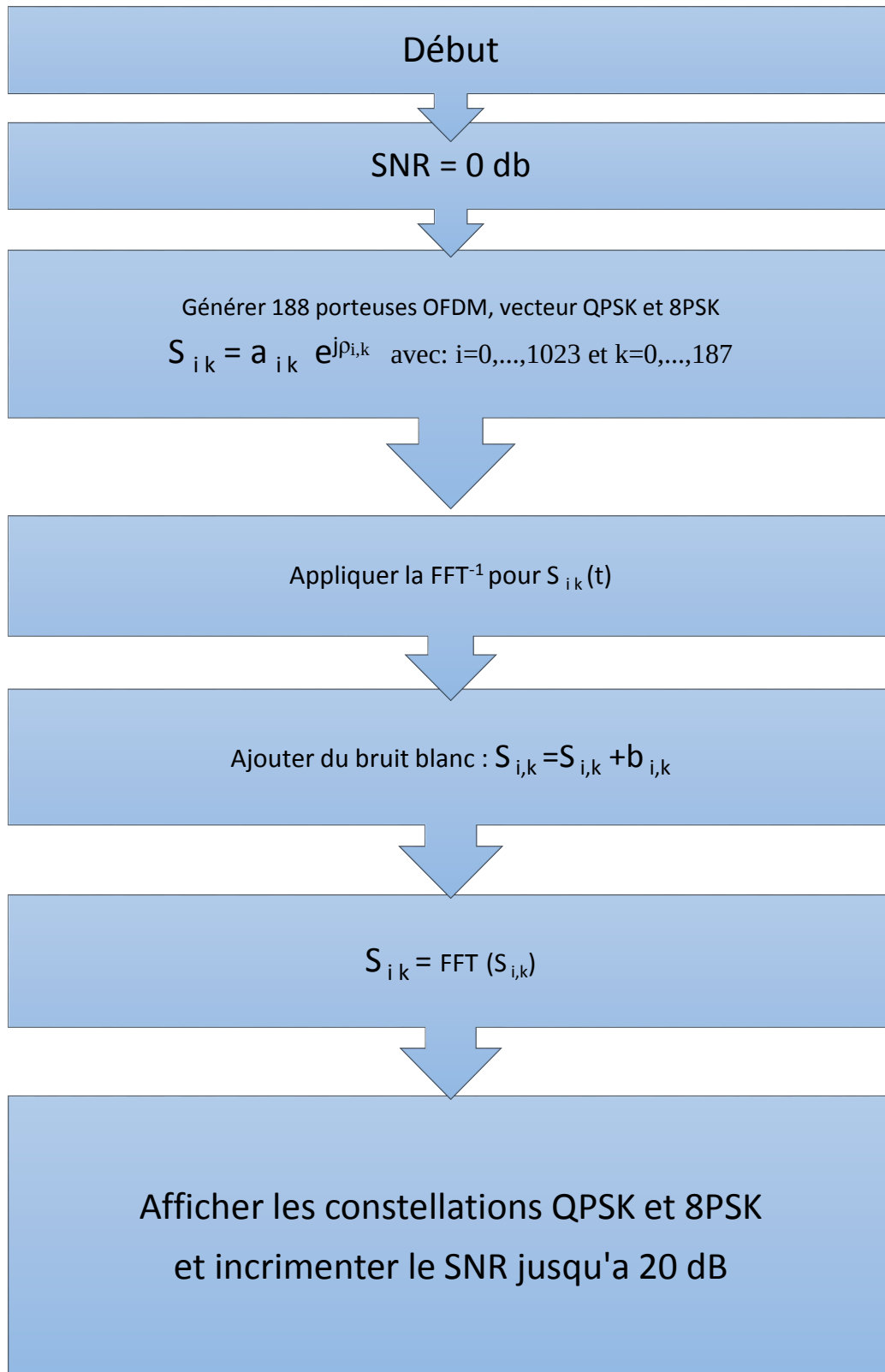
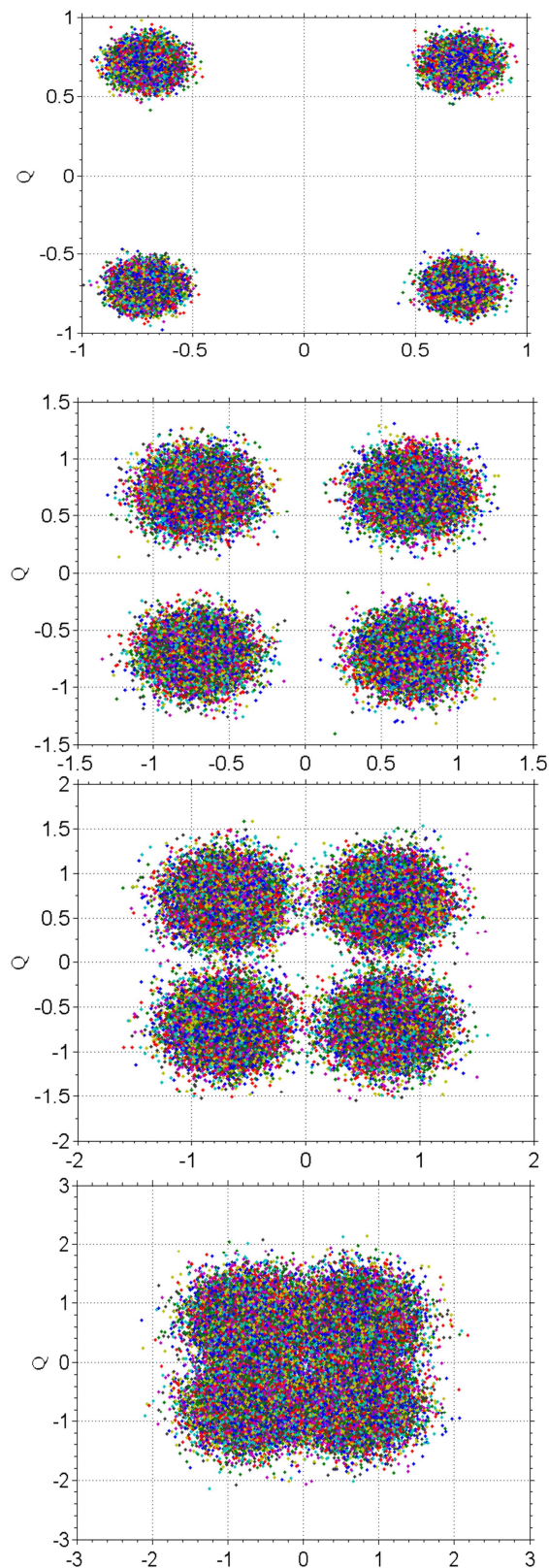


Figure 3.14. Organigramme explicatif de la modulation



Cas 1 :

Une modulation QPSK

SNR=20db

Cas 2 :

Une modulation QPSK

SNR=13db

Cas 3 :

Une modulation QPSK

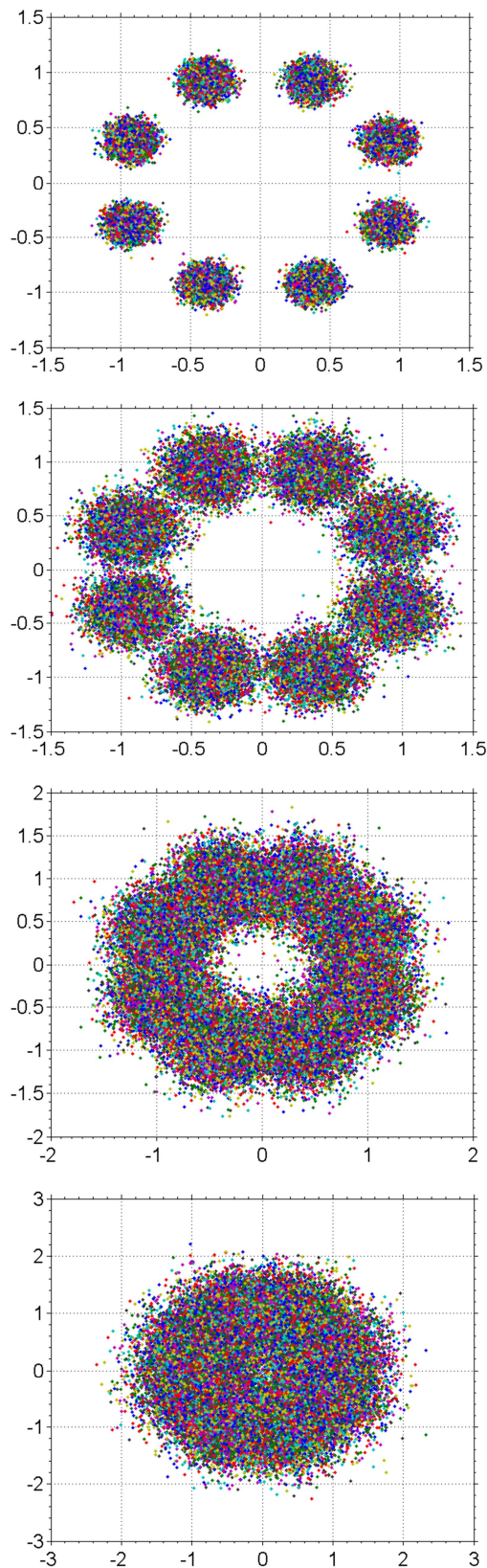
SNR=10db

Cas 4 :

Une modulation QPSK

SNR=6db

Figure 3.15. Simulation avec matlab d'une modulation QPSK



Cas 1 :

Une modulation 8PSK

SNR=20db

Cas 2 :

Une modulation 8PSK

SNR=13db

Cas 3 :

Une modulation 8PSK

SNR=10db

Cas 4 :

Une modulation 8PSK

SNR=6db

Figure 3.16. Simulation avec matlab d'une modulation 8PSK

Chapitre 3 : Diffusion du bouquet de TDA (MCPC) sur satellite

On remarque que notre signal n'est pas parfaitement restitué pour les valeurs de SNR inférieurs à 10 db et cela pour les deux modulations.

Le signal transmis à large bande via satellite (36 milles kilomètres de distances) est soumis à des perturbations et des distorsions telles que le bruit de canal (bruit blanc additif gaussien) ainsi que le bruit atmosphérique, l'atténuation du signal peut atteindre -200db d'où la nécessité d'introduire des dispositifs de correction d'erreurs.

3.3.3.2. La transposition de Fréquence

Après la modulation on obtient un signal analogique d'une fréquence intermédiaire $FI=70.4$ Mhz.

Chaque opérateur satellitaire (dans ce cas c'est SES 4) impose une fréquence RF pour le signal montant (UP Link), donc on a besoin d'un circuit qui translate notre signal de la fréquence FI a la fréquence RF (fréquence d'émission) avec un synthétiseur interne qui contrôle la fréquence de conversion, tout en gardant la même amplitude; ce circuit est appelé UP Converter .

Le convertisseur de fréquence va traduire le spectre du signal centré en FI 70.4Mhz vers une autre plage centré en $f=14.23525$ Ghz qui est imposée par l'opérateur du satellite.

Les convertisseurs employés par TDA (un principal et l'autre comme secours) sont de marque NEWTEC:



Figure 3.17. Up-Converter

3.3.3.3. L'Amplification de puissance (HPA: High Power Amplifier)

Une fois le spectre transposé à une fréquence RF, le signal obtenu à la sortie du convertisseur de fréquence est de faible amplitude et puissance c'est pour cela qu'il faut l'amplifier à une certaine puissance qui dépend du bilan de liaison établi par l'opérateur.

La TDA utilise des amplificateurs de puissance à semi conducteur SSPA (Solide State Power Amplifier) du fait de leur résistance à la chaleur:



Figure 3.18. Amplificateur de puissance HPA

3.4. Le Guide d'onde

Un guide d'ondes est un système physique qui sert à guider les ondes électromagnétiques ou les ondes acoustiques, pour les maintenir confinées dans un milieu particulier, sur une certaine distance (dans notre chaîne on veut que le signal résultant soit

Chapitre 3 : Diffusion du bouquet de TDA (MCPC) sur satellite

envoyer à 36 mille Kilomètres par la tête d'émission qui se trouve sur l'antenne parabolique vers le satellite).

En pratique un guide d'ondes est un dispositif autrefois toujours métallique, aujourd'hui éventuellement constitué de polymères, permettant la propagation d'ondes par réflexions multiples à la manière d'une optique. Le modèle le plus simple de guide d'ondes est le guide d'ondes « à saut d'indice ».

Il existe des guides d'onde rigide ou flexible, mais dans ce cas on va utiliser le modèle flexible



Figure 3.19. Guide d'onde

3.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pu voir deux satellites et leurs couvertures du territoire algérien que la TDA exploite pour diffuser son bouquet de type MCPC afin que le grand public puisse le recevoir.

Ensuite, nous avons élaboré une chaîne de transmission réelle (DVB-S2) pour diffuser le bouquet de la TDA et les différents blocs par lesquels elle passe le signal (de la source vers l'antenne parabolique) et le rôle de chacun.

La grande performance de ce nouveau système (DVB-S2) lui a permis de se déployer un peu partout dans le monde et spécialement en Algérie et ce vu que toute entreprise ou individu cherche toujours ce qui est mieux.

Chapitre 4

Paramètres d'un bilan de liaison satellite

4.1. Introduction

Après la diffusion du bouquet de la TDA de type MCPC sur satellite et l'étude de toutes les étapes par lesquelles passe le signal (de la source jusqu'à l'antenne parabolique), nous allons recevoir un signal provenant d'un satellite et l'afficher dans les écrans spéciaux pour ce genre de réceptions, en plus du monitoring. Par la suite, nous allons faire un bilan général de réception. Pour cela nous avons besoin d'équipements adéquats pour bien effectuer cette tâche.

Le bilan de liaison satellite est plus que nécessaire pour bien comprendre cette chaîne. Par la suite confirmer nos résultats au sujet de la comparaison entre les deux normes DVB-S et DVB-S2. Et enfin, nous allons citer les différents apports du DVB-S2 pour notre chaîne.

4.2. Matérielle utilisé pour la réception satellite

Au sein d'un service audiovisuel ou d'une chaîne de télévision y compris l'entreprise de télédiffusion d'Algérie, le nodal, ou encore le "centre nodal", est le centre technique par où transitent tous les signaux échangés avec l'extérieur. À ce titre, il gère la réception technique des sources en provenance de l'extérieur. À titre d'exemple, une réception satellite ou hertzienne, par fibre optique et en assure le re-routage sur le réseau interne à destination des régions ou des serveurs d'enregistrements. Ce centre gère également la retransmission de contenus et le départ vers l'émetteur, ainsi que des communications en duplex (émission/réception simultanée).

L'exploitation d'un nodal est fortement liée à l'évolution des normes des signaux audio et vidéo, analogiques et numériques, et les protocoles de transmission associés. Les capacités techniques du nodal déterminent ainsi l'aptitude des chaînes à répondre à des besoins particuliers en matière de programmes. Par exemple, l'émission en version multilingue a nécessité l'adaptation des technologies de transmission.

Pour cela, dans le centre nodal de TDA, nous avons deux types de réceptions (professionnelle et "version grand public") pour la bonne observation des signaux reçus et intervenir en cas de problèmes liés à la réception (ex. la distorsion de l'image) et d'essayer d'y remédier dans la mesure du possible.

4.2. La réception professionnelle

Le centre nodal de Bouzareah utilise pour le contrôle et le monitoring des écrans d'affichage (fig.4.1) qui donnent des informations en temps réel sur la chaîne de transmission, les signaux envoyés et les signaux reçus dans l'intérêt d'avoir un contrôle continu.



Figure 4.1. Matérielle utilisée pour l'affichage et le monitoring au centre nodal

Les écrans d'affichage sur la figure ci-dessus montrent deux parties distinctes :

- Des signaux vidéo envoyés sur la partie gauche (les chaînes TV) .
- Des signaux vidéo (les chaînes TV) reçus sur la partie sur la droite.

Les ordinateurs à leur tour sont utilisés pour la configuration du matériel et des logiciels de contrôle et de surveillance (monitoring) .

4.2.1 La station DREAMS

C'est un logiciel utilisé pour la gestion des différents démodulateurs du centre et leurs configurations (fig.2.4).



Figure 4.2. La station DREAMS

4.2.2. L'analyseur de spectre

Un analyseur de spectre est plus que nécessaire dans le centre pour surveiller notre porteuse car c'est en principe un instrument de mesure destiné à afficher les différentes fréquences contenues dans un signal ainsi que leurs amplitudes respectives. Les signaux peuvent être de natures diverses : **électrique, optique, sonore, radioélectrique**.

Les figures 4.3, 4.4 nous montrent l'analyseur de spectre utilisé au centre nodal de Bouzareah et son application de contrôle à distance pour voir la porteuse du satellite Eutelsat 7 W A.



Figure 4.3 L'analyseur de spectre

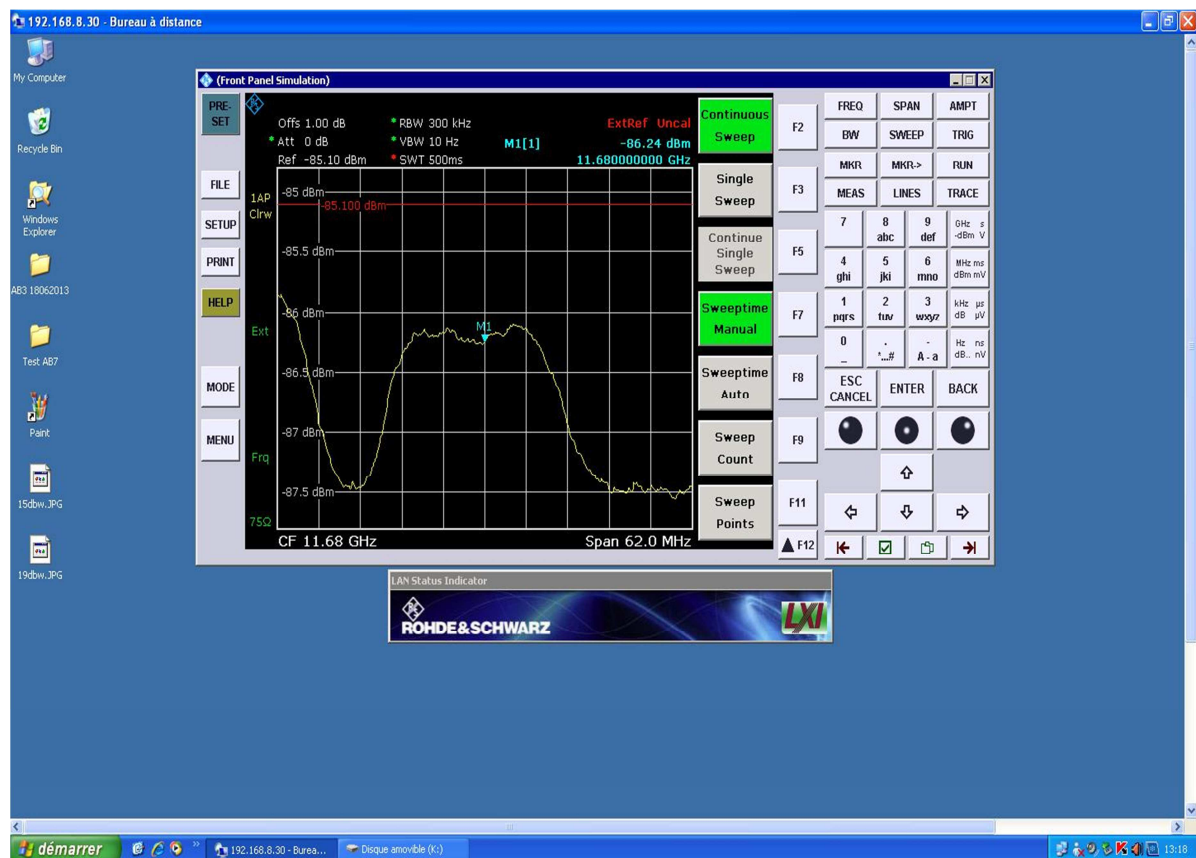


Figure 4.4 L'application pour utiliser l'analyseur de spectre à distance

4.2.3. La station du satellite Eutelsat 7 W A

La figure ci-dessous montre, un automate utilisé pour la gestion de la station et de ces différents blocs. Nous remarquons que TDA utilise deux chaînes pour la transmission, car en cas de problème ou de panne sur la première chaîne l'automate bascule directement vers la deuxième chaîne pour éviter les coupures de la diffusion du signal.

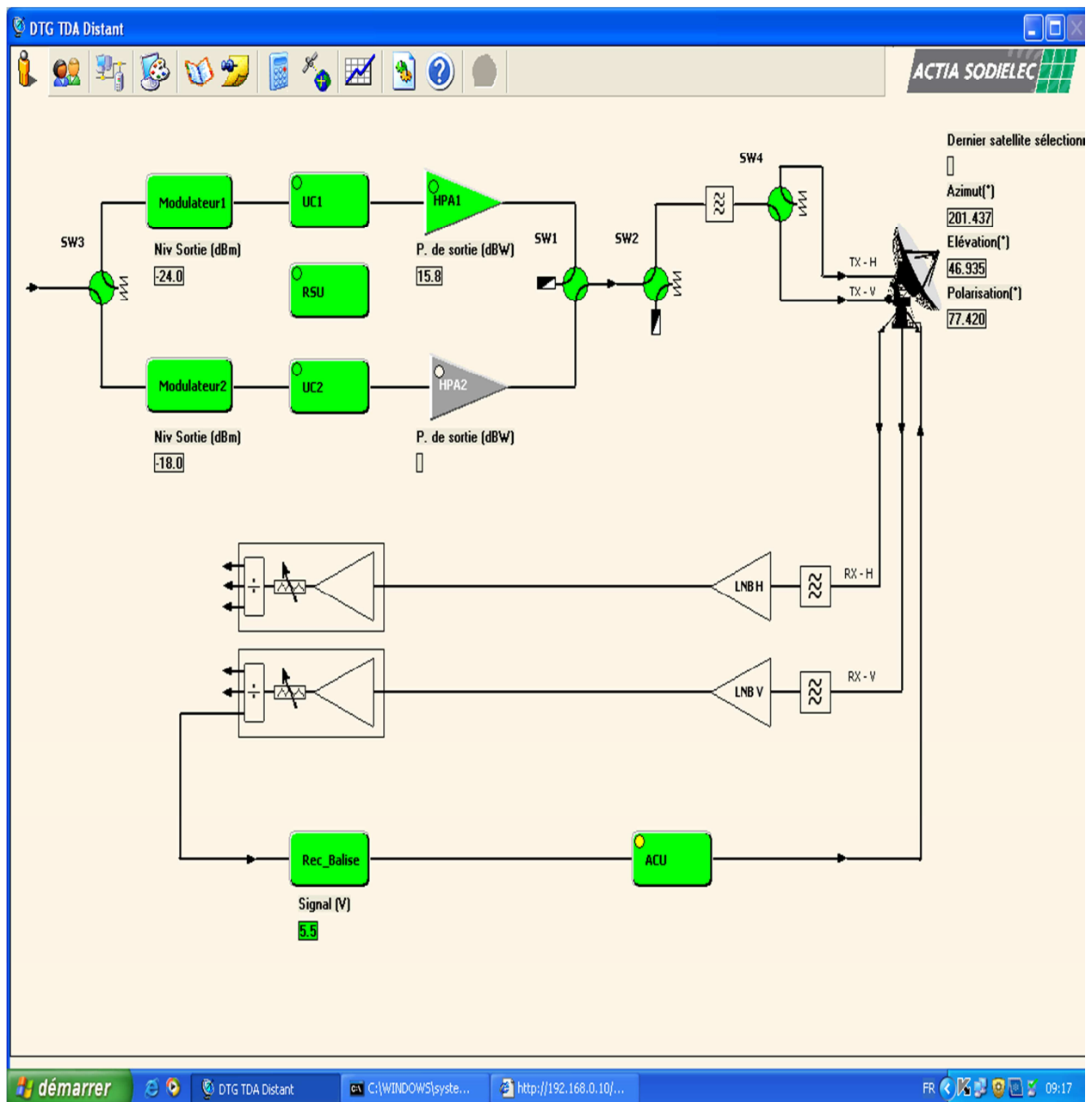


Figure 4.5. Station du satellite Eutelsat 7 W A

- **Contrôle de la station**

Trois paramètres sont indispensables pour le paramétrage d'une antenne : l'**Azimut**, la **Polar** et l'**Élévation**. Ils sont fixés à l'aide de l'interface de contrôle de l'antenne (fig.4.6 et 4.7).

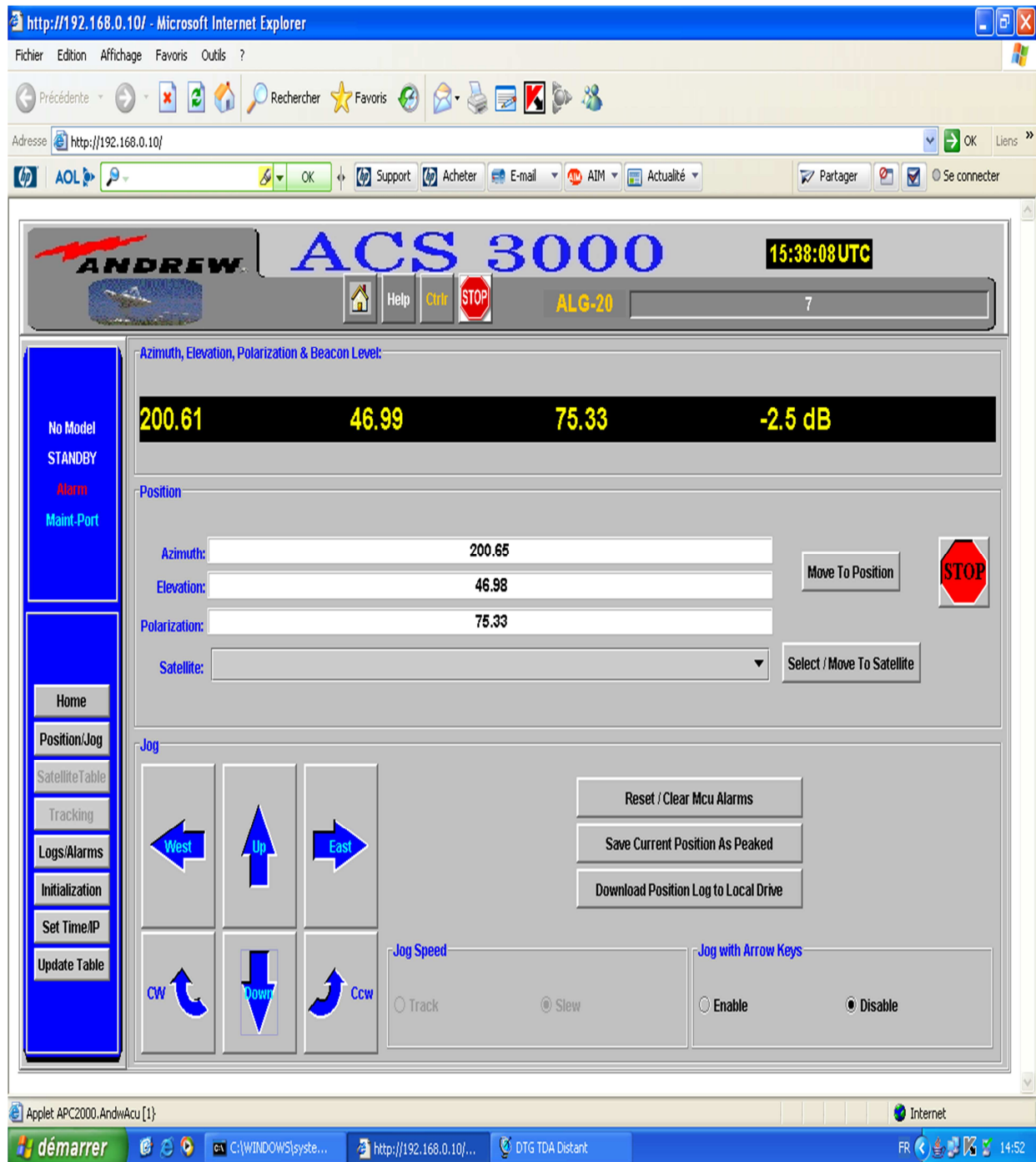


Figure 4.6. Paramétrage simple de l'antenne

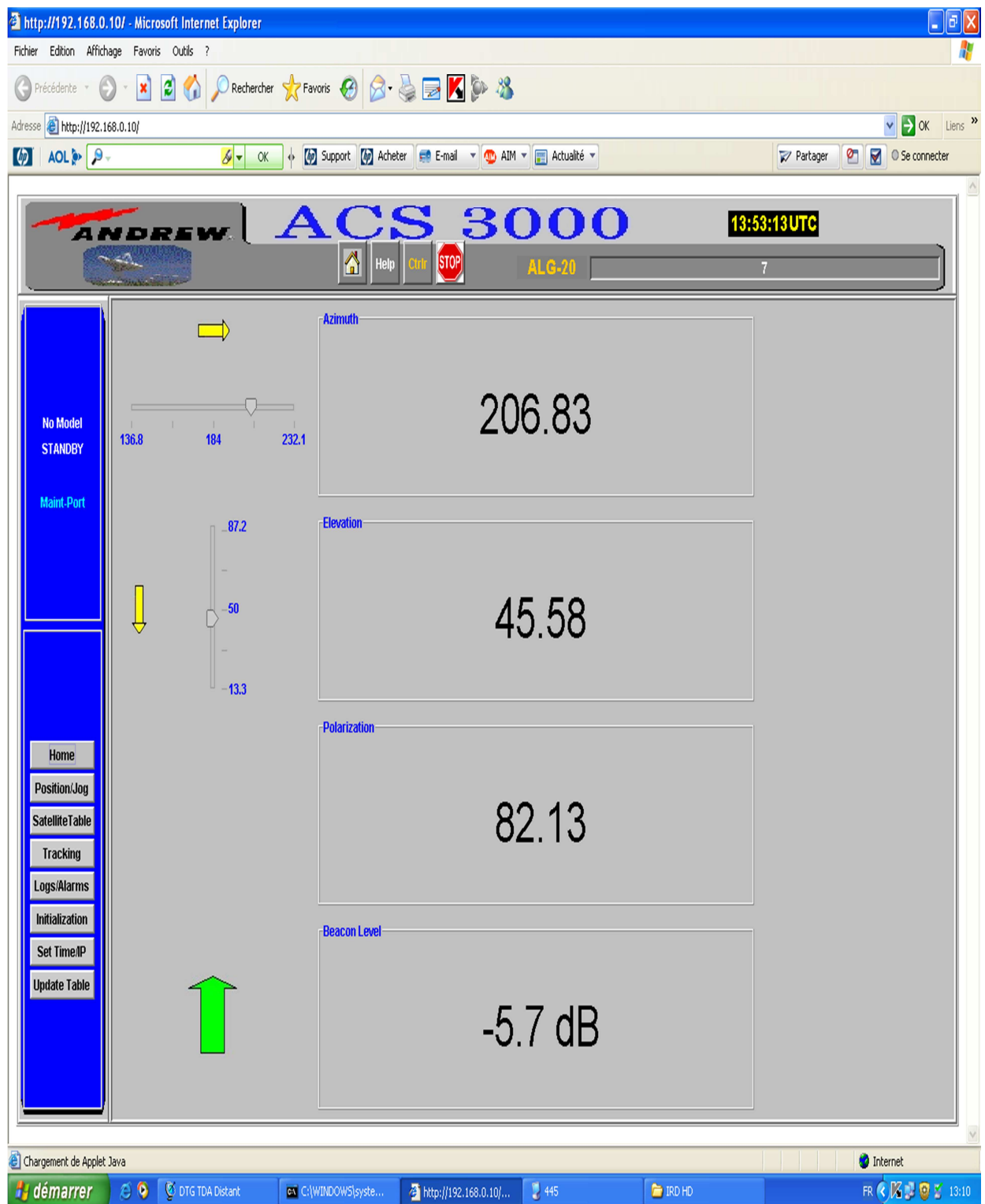


Figure 4.7. Paramétrage avancé de l'antenne

4.2.4. L'IRD (Integrated receiver/decoder)

Il sert à reconstituer le signal RF (Radio fréquence) qu'il reçoit et le converti en un signal Bande de Base. Dans ce cas nous avons utilisé un IRD HD de marque Ericsson en réception (fig.4.8) qui possède une interface de configuration par PC (fig.4.9).

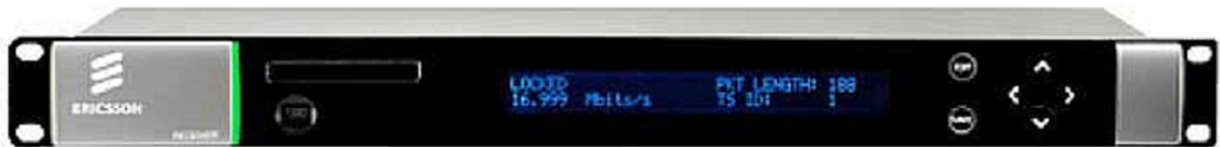


Figure 4.8. IRD de marque Ericsson

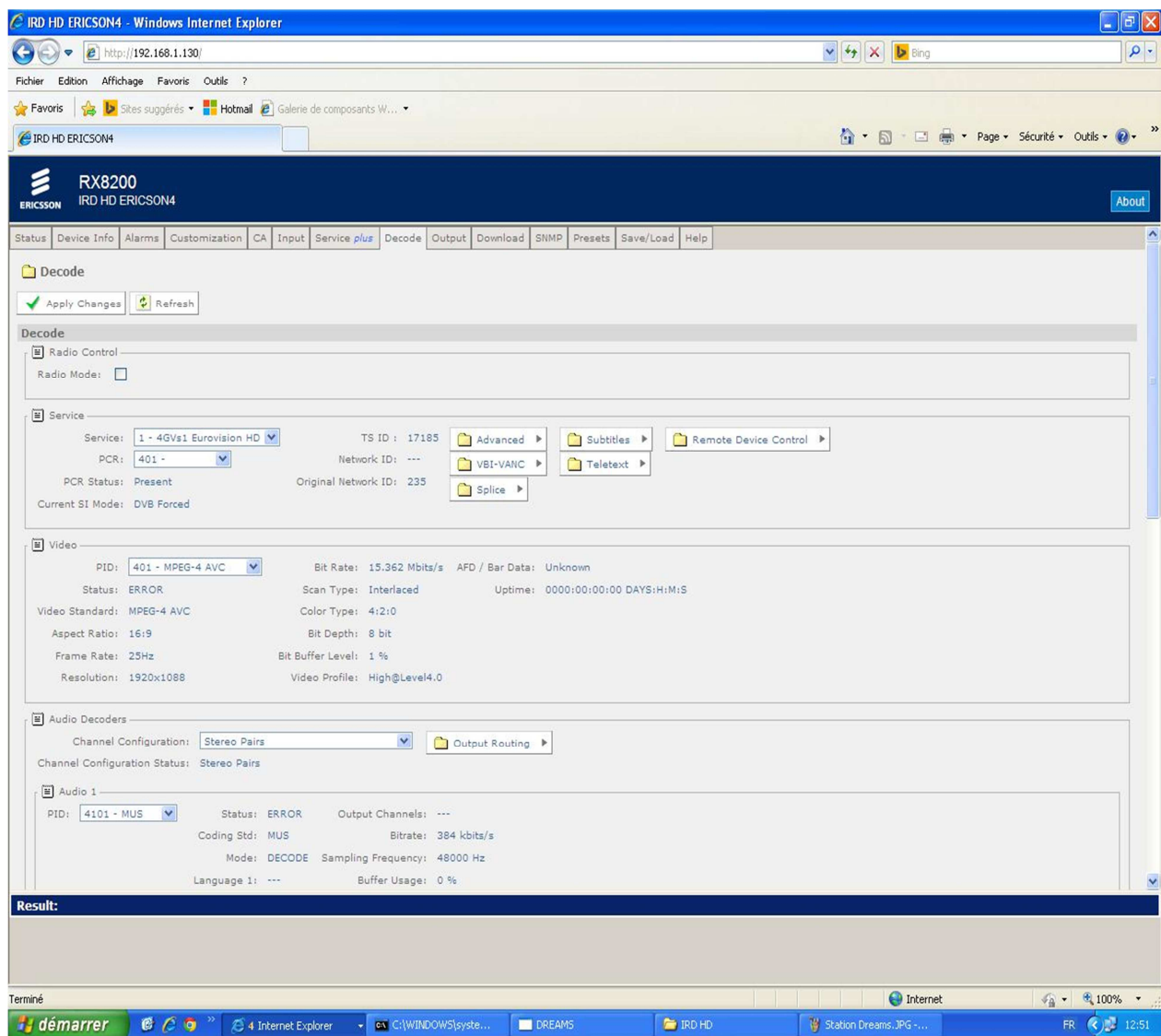


Figure 4.9. Interface de configuration de l'IRD

4.2.5. L'interface ASI/USB

Cette interface est utilisée pour la visualisation et le traitement de l'image avec possibilité de configuration sur ordinateur (fig.4.10).

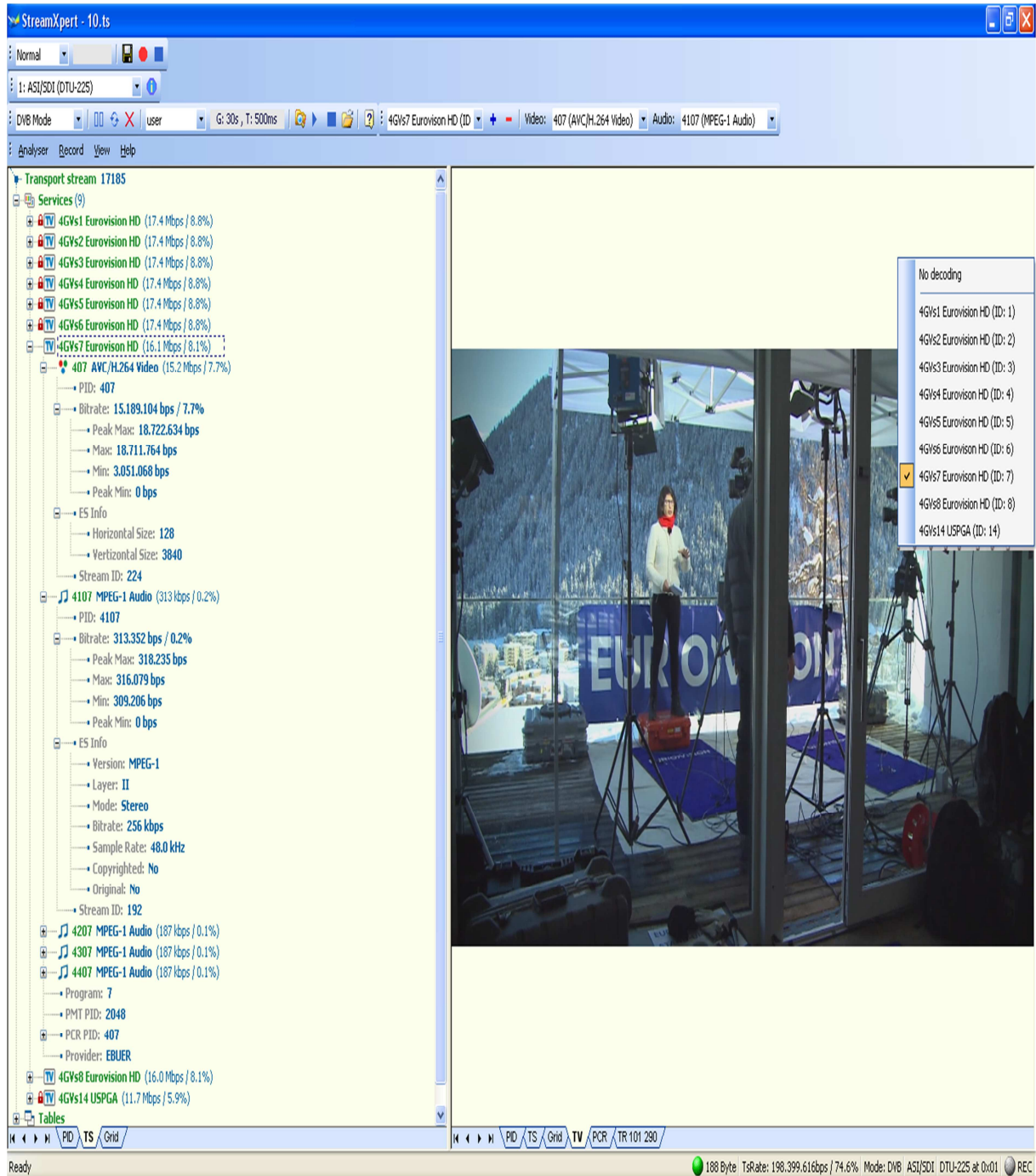


Figure 4.10. Interface de visualisation et de configuration du Dektec

4.3. La réception grand public

Pour s'assurer encore plus d'une bonne réception nous utilisons le même matériel que le grand public utilise chez lui ce qui nous aide bien à confirmer la bonne qualité de transmission de notre signal (fig.4.11).



Figure 4.11. Exemple de réception grand public

4.3. Calcul du bilan de liaison satellite

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

4.3.1. Calcul du débit symbole résultant de la modulation

La modulation QPSK associe à chaque symbole 2 bits ($N = \log_2 M$).

N : le nombre de bits.

M : le nombre de symboles.

Alors le débit résultant de la modulation si on considère que le débit binaire sortant du multiplexeur est de l'ordre de 25 Mbps/seconde : est donné par :

$$D = \frac{D_b}{N} + \frac{D_b}{2} \quad (4.1)$$

D'où :

$$D = 25/2 = 12.5 \text{ Msymboles/sec.}$$

D'autre part on peut calculer le débit symbole résultant de la modulation et de l'implémentation des codes correcteurs par la formule suivante :

$$D_s = \frac{1}{r_{RS}} \times \frac{1}{FEC} \times D_b \times \frac{1}{N} \quad (4.2)$$

En utilisant la norme DVB-S avec un FEC=3/4 on trouve D_s égale à : 27.5 Msymboles/s.

En utilisant la norme DVB-S avec un FEC=3/5 on trouve D_s égale à : 29.5 Msymboles/s.

4.3.2. Calcul de la bande passante

Télédiffusion D'Algérie loue un transpondeur de 36Mhz sur le satellite Eutelsat (7 W A), 33Mhz de cette bande sont utilisés pour le bouquet nationale les 3 Mhz restante sont utilisés pour des contributions.

Cependant la bande passante que va occuper le bouquet MCPC de TDA dépend du débit binaire de celui-ci et peut se calculer à partir de la relation suivante :

$$W = (1+\alpha) D_S = \frac{(1+\alpha) D_b}{\log_2 M} \quad (4.3)$$

Ce qui donne :

$$W = (1+0.35) \times 27.5 = 35 \text{Mhz. (en utilisant la norme DVB-S).}$$

$$W = (1+0.35) \times 29.5 = 39.825 \text{Mhz. (en utilisant la norme DVB-S2).}$$

W:Bande passante occupé par le bouquet MCPC en Hz.

α : roll-off du après filtrage avec le filtre de Nyquist et qui vaut 0.35.

D_S : Débit symbole en (Msymbole/sec).

D_b : Débit binaire en (Mbit/sec).

4.3.3. Calcul de la PIRE

Le niveau de puissance est imposé par l'opérateur de satellite, dans notre cas il nous a fixé une puissance de 72,9 dBw.

D'autre part, la puissance avec laquelle va être envoyé notre signal dépend non seulement de la puissance issue de l'amplificateur de puissance mais aussi du gain de l'antenne d'émission et du niveau de pertes dus à la propagation guidée du signal (guides d'ondes). Cette puissance est dite PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente) elle se calcule par la formule ci-dessous :

$$\text{PIRE (dB)} = G \text{ (dB)} + P_e \text{ (dB)} + A_{tt} \text{ (dB)} \quad (4.4)$$

Chapitre 4 : Paramètres d'un bilan de liaison satellite

G : gain de l'antenne d'émission en dB.

Pe : puissance d'émission issue de l'HPA en dB.

Att : atténuation dans le guide d'onde en dB.

La puissance à la sortie de l'amplificateur de puissance est de l'ordre de $P_e=16,8\text{dB}$ (48 Watts). Les trois termes correspondent respectivement à la valeur lue de la puissance lors de la mesure ainsi que les pertes due à cette dernière

Les pertes dans le guide d'onde on été estimés à 0,5dB par mètre.

Finalement :

$$\mathbf{PIRE} = 56,6+16,8-0,5=72,9\text{dBw}$$

L'onde électromagnétique va être transportée dans un guide d'onde jusqu'à l'antenne d'émission.

- **L'Antenne**

L'antenne est un élément fondamental dans un système de transmission permettant de rayonner (émission) et de capter (réception) des ondes électromagnétiques, l'antenne est un conducteur électrique plus au moins complexe placé dans un endroit dégagé, elle se définit par les paramètres suivants :(fréquence d'utilisation, impédance d'antenne, polarisation, diagramme de rayonnement, rendement, puissance Max en émission, formes et dimensions).

L'antenne utilisée pour l'émission du bouquet MCPC vers le satellite Eutelsat 7 W A est une antenne de marque ANDREW de diamètre 6,1m correspondant à la bande KU (10,7Ghz à 18Ghz).

Le signal va parcourir une distance d'environ 36000Km pour être reçu par les antennes de réception du satellite Eutelsat 7 W A.

4.3.4. Calcul de la dimension minimale de l'antenne de réception

Les paramètres de réception de l'installation sont :

$$\mathbf{PIRE} = 47\text{dB}.$$

Coefficient d'efficacité d'antenne : $\eta = 70 \%$.

Chapitre 4 : Paramètres d'un bilan de liaison satellite

Paramètres de modulation QPSK, 8PSK : FEC=3/4,3/5, $\alpha=35\%$.

Température de l'antenne : $T_A=30^\circ\text{K}$. (Température d'antenne).

Fréquence de réception : 11680Mhz.

$SR=27.5\text{Msymbolles/s}$.

Le diamètre minimum D de l'antenne de réception se calcule à partir du gain dont la formule est :

$$G = \frac{4\pi \eta S}{\lambda^2} \quad (4.5)$$

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.6)$$

$$D = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right) \sqrt{\frac{G}{\eta}} \quad (4.7)$$

Avec:

G: Gain de l'antenne parabolique.

η S : Surface équivalente de l'antenne.

D : Diamètre de l'antenne.

Le gain de l'antenne est déterminé à partir du facteur de qualité de l'installation $\frac{G}{T}$ dont la relation en dB est comme sui:

$$\frac{G}{T}(\text{dB}) = G(\text{dB}) - T(\text{dB}) \quad (4.8)$$

Ce rapport est calculé par la formule suivante :

$$\frac{G}{T}(\text{dB}) = \frac{C}{N}(\text{dB}) - \Phi - 10\log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi KW}\right) \quad (4.9)$$

Chapitre 4 : Paramètres d'un bilan de liaison satellite

Avec:

$\frac{C}{N}$ (dB): rapport porteuse sur bruit.

Φ : densité du flux reçu.

$$\Phi = \frac{PIRE}{4\pi d^2} = PIRE - 10 \log 4\pi d^2 - Att \quad (4.10)$$

$$\Phi = 47 - 10 \log (4\pi (36 \cdot 10^6)^2) - 0.3 = -115.11 \text{ dBW/m}^2$$

Att : atténuation atmosphérique estimé à 0.3dB en ciel clair.

K : constante de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ Kg /K/S}$.

W : bande passante occupée par le signal.

λ : Longueur d'onde du signal reçu calculée comme suit :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4.11)$$

Nous appliquons la formule ci-dessus pour : $d = 36000 \text{ Km} = 36 \cdot 10^6 \text{ m}$ on trouve : $\lambda = 2.56 \text{ cm}$.

Mais il va falloir déterminer le rapport $\frac{C}{N}$ (dB) par la relation suivante

$$\frac{C}{N} \text{ (dB)} = \frac{E_b}{N_0} \text{ (dB)} + 10 \log \left(\frac{D_u}{W} \right) \quad (4.12)$$

Avec:

$\frac{E_b}{N_0}$: Taux d'erreur spécifié lors de la modulation.

$$D_U = D_b \left(\frac{188}{204} \right) \times (3/4) \times 2 \quad (4.13)$$

(En utilisant la norme DVB-S, on prend le FEC=3/4).

$$D_U = D_b \left(\frac{188}{204} \right) \times (3/5) \times 2 \quad (4.14)$$

(En utilisant la norme DVB-S2, on prend le FEC=3/5).

Chapitre 4 : Paramètres d'un bilan de liaison satellite

D'où: $D_U = 38 \times \left(\frac{188}{204}\right) \times (3/4) \times 2 = 52.529$

$$D_U = 48.95 \times \left(\frac{188}{204}\right) \times (3/5) \times 2 = 54.13$$

$$\frac{C}{N}(\text{dB}) = 13.81 \text{ dB (pour la norme DVB-S, QPSK)}$$

$$\frac{C}{N}(\text{dB}) = 18,8 \text{ dB (pour la norme DVB-S2, 8PSK)}$$

Finalement:

$$\frac{G}{T}(\text{dB}) = \frac{C}{N}(\text{dB}) - \Phi - 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi KW} \right)$$

$$\frac{G}{T}(\text{dB}) = 138.1 + 115.11 - 45.773 = 20.743 \text{ dB}$$

$$\frac{G}{T}(\text{dB}) = 111.4 + 115.11 - 45.773 = 18.073 \text{ dB}$$

Avec:

$$10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi KW} \right) = 10 \log \left[\frac{(0.0256 \cdot 10^{-7})^2}{4\pi \cdot 1.38 \cdot 10^{-23}} \right] = -45.773 \text{ Db.}$$

D'autre part on sait que :

$$\frac{G}{T}(\text{dB}) = G(\text{dB}) - T(\text{dB}) \tag{4.15}$$

Et :

$$T = \alpha T_A + (1 - \alpha) T_0 + (F - 1) T_0 \tag{4.16}$$

Avec :

Chapitre 4 : Paramètres d'un bilan de liaison satellite

α : pertes de couplage ≈ 1 .

T_A (k°) : Température d'antenne.

T_0 (k°) : Température ambiante.

F : Facteur de bruit du LNB (Low Noise Bloc).

Si $\alpha \approx 1$ alors :

$$T = \alpha T_A + (F-1)T_0 \quad (4.17)$$

Ce qui donne :

$$T = 30 + (10^{0.7} - 1) \times 292 = 81.07^\circ K$$

La température en dB est donnée par :

$$T \text{ (dB)} = 10 \log(T) = 19.08 \text{ dB}$$

On déduit le gain de l'antenne :

$$\frac{G}{T} \text{ (dB)} + T \text{ (dB)} = G \text{ (dB)} \quad (4.18)$$

$$G \text{ (dB)} = 34.865 \text{ dB} = 3065.5$$

Finalement le diamètre de l'antenne vaut en remplaçant dans l'expression précédente :

$$D = \left(\frac{\lambda}{\pi} \right) \sqrt{\frac{G}{\eta}} \quad (4.19)$$

$D = 0.6 \text{ m} = 60 \text{ cm.}$

Conclusion générale

L'émergence et le déploiement de la technologie DVB-S2 ont un impact significatif sur l'industrie de la Radiodiffusion et de télécommunication par satellite. Cette nouvelle norme réunit les spécifications de la norme DVB-S et améliore de manière significative son efficacité de codage et de modulation. Elle répond aux besoins tant attendu d'une plus grande efficacité spectrale d'environ 35% d'amélioration et une possibilité d'augmenter le débit de données par l'utilisation de la modulation en quadrature d'amplitude 8 PSK et plus. En outre, la norme DVB-S2 est adaptée aux nouvelles technologies de compression vidéo MPEG 4.

Dans le cadre de ce travail, nous avons effectué un stage pratique au sein de l'entreprise de télédiffusion d'Algérie TDA où nous avons eu l'opportunité de travailler sur du vrai matériel dédié à la télédiffusion par satellite. Pendant ce stage, nous avons étudié et réalisé une liaison DVB-S2 au profit de cette entreprise pour élargir son bouquet diffusé par satellite en utilisant la même bande de fréquence de 36 MHz. Cette liaison comprend la compression, le codage de données, le multiplexage, la modulation et la transmission. Pour ce faire, nous avons dans un premier temps étudié le DVB-S déjà en service et les différents modules le constituant. Ensuite, nous nous sommes intéressés au standard DVB-S2 pour la mise en application de la liaison satellitaire dans ce nouveau standard. Un bilan de liaison est calculé pour la couche physique de transport des données pour assurer une transmission correcte et de qualité pour la liaison montante et descendante. Ceci, nous a permis d'établir une limite du rapport signal au bruit SNR pour une bonne qualité de diffusion en DVB-S2 avec la modulation QPSK. Cette limite est donnée pour un $\text{SNR} > 13 \text{ dB}$.

Pour mieux se rendre compte de l'effet du bruit sur la modulation et d'éventuelles erreurs de transmission, nous avons étudié l'effet du bruit sur les différentes modulations QPSK et 8 PSK par simulation des sous-porteuses de la bande considérée dans l'étude (bande de 36 MHz). La simulation développée confirme la limite déjà calculée par le bilan de liaison dans le cas de la modulation QPSK et nous a permis, par ailleurs, d'établir la limite du rapport signal sur bruit dans le cas d'une modulation 8 PSK qui est de $\text{SNR} > 19 \text{ dB}$.

Enfin, ce travail nous a permis d'acquérir des connaissances théoriques et pratiques essentielles pour nos travaux futurs dans le domaine de la télédiffusion par satellite. En outre, le simulateur développé permet de définir les plages du rapport signal sur bruit SNR pour

Conclusion générale

choisir le type de la modulation xPSK. Ceci nous permettra une meilleure gestion de débit en fonction de l'atténuation, notamment, lors des perturbations météorologiques de la liaison.

Bibliographie

Ouvrages

[1] **René Besson**, Réception TV par satellite, 3ème Ed, 2000.

[2] **Benoit Hervé**, la Télévision par satellite : analogique et numérique 2 ème Ed, 2005.

Mémoires

[3] **A.Nacer & B.Smail**,: Etude de système de diffusion par satellite; mémoire de fin d'études Master –UTHB-2013 .

[4] **K.Malek & A.Sid Ali**,: Impact des phénomènes météorologiques sur une liaison satellite : cas d'une liaison DVB, mémoire de fin d'études Master –UMMTO-2013 .

[5] **O. Lounes** : les systèmes de télécommunication par satellite mémoire de fin d'études Master –UMMTO-2011.

[6] **Z.Farah & M.Imene**, rapport de stage sur la chaine d'émission du bouquet MCPC vers le satellite NSS7-USTHB -2013.

Thèses

[7] **E. Dubois**, convergence dans les réseaux satellites, Doctorat de l'université de Toulouse, 3 nov 2008.

[8] **J. Fasson**, Etude d'une architecture IP intégrant un lien satellite géostationnaire, Thèse pour doctorat en réseaux et Télécommunications de INP de Toulouse, 2004.

[9] **J.Nisar**, performances des applications IP dans les systèmes de communications par satellite : cas du DVB-RCS et du DVB-S2, mémoire du doctorat ICMS université Paris-Est, Marne-La-Vallée, 2008.

[10] **N.Tao**, Etude des performances et optimisation d'un réseau d'Accès par satellite pour les communications, INP de Toulouse, 2009.

[11] **O. Alphand**, Architecture à qualité de service pour systèmes satellites DVB-S/RCS dans un contexte NGN, Mémoire de doctorat, INP de Toulouse, 2005.

Sites internet

[12] <http://www.memoireonline.com>

[13] <https://fr.wikipedia.org/wiki/DVB-S2>

[14] <http://www.internet-par-satellite.html>

[15] <http://www.igm.univ-mlv.fr/>

[16] <http://www.eduscol-education.fr/>

[17] <https://www.systèmes-satellites-cnam.fr>

[18] <https://www.lyngat.com>

[19] <https://www.TDA.dz>

[20] <https://www.DVB.com>

Annexe A

MPEG

Introduction

MPEG, single de Moving Picture Expert Group, est le groupe de travail SC 29/WG 11 du comité technique mixte JTC1 de l'ISO et de la CEI pour les technologies de l'information.

Ce groupe d'experts est chargé de développement de normes internationales pour la compression, la décompression, le traitement et le codage de la vidéo, de l'audio et de leurs combinaison, de façon à satisfaire une large gamme d'applications.

Technologie

Les activités de MPEG couvrent la normalisation des techniques nécessaires à l'interopérabilité du codage pour la représentation numérique du multimédia, et comprennent notamment :

- le codage des médias (audio, vidéo, graphique), c'est l'aspect le plus connu de MPEG qui est souvent confondu avec lui ;
- le codage des scènes composées ;
- le codage de la description des médias ;
- le support système.
- La gestion et la protection de la propriété intellectuelle ;
- Le transport des médias ;
- Les mises en application des références ;
- La maintenance de l'actualisation.

Les normes MPEG

MPEG a développé les normes suivantes :

MPEG-1

Définie en 1988, il s'agit de la première norme audio et vidéo utilisée plus tard pour les Vidéo CD. Ce format offre une définition à l'écran de 352 x 240 pixels à 30 images par seconde ou de 352 x 288 à 25 images par seconde avec un débit d'environ 1,5 Mbit/s. Elle comprend le populaire format audio MPEG-1 partie 3 audio couche 3 (MP3).

Annexes

MPEG-2

Définie en 1994, cette norme est applicable au codage de l'audio et la vidéo, ainsi que leur transport pour la télévision numérique : télévision numérique par satellite, télévision numérique par câble, télévision numérique terrestre, et (avec quelques restrictions) pour les vidéo-disques DVD ou SVCD. C'est notamment le format utilisé jusqu'à présent pour la TV sur ADSL. Les débits habituels sont de 2 à 6 Mbit/s pour la définition standard (SD), et de 15 à 20 Mbit/s pour la haute définition (HD).

MPEG-4

- Définie à partir de 1999, cette norme est applicable aux bas débits (jusqu'à 2 Mbit/s), exclus de la matrice des décodeurs de MPEG-2. Permet, entre autres, de coder des objets vidéo/audio, le contenu 3D et inclut le DRM. La partie 2 de MPEG-4 (Visual) est compatible avec la partie baseline de H.263 et a connu du succès grâce à la mise en application DivX ainsi que dans les téléphones mobiles.
- La partie 10 appelée MPEG-4 AVC ou H264, développée à partir de 2003, permet des gains d'un facteur 2 à 3 par rapport à MPEG-2 et a été retenue comme le successeur de celui-ci pour la TV haute définition, la TV sur ADSL et la TNT. L'extension de cette partie, appelée Scalable Video Coding (SVC) permet de proposer différents niveaux de qualité à partir d'un même flux codé.
- Le H.265/HEVC définie à partir de 2013, est la norme qui succède au H264, elle permet une diminution significative de la taille des vidéos par rapport à cette dernière.

MPEG-7

Norme de description pour la recherche du contenu multimédia.

MPEG-21

Norme proposant une architecture pour l'interopérabilité et l'utilisation simple de tous les contenus multimédia.

MPEG-A

Tourné vers les applications multimédia, est en cours de standardisation.

Annexe B

Matériel utilisé

Convertisseur ASI/SDI vers USB

Il est conçu spécialement pour la visualisation des chaînes issues d'une TS, possède beaucoup de fonctions.

Fonctions

- Module USB-2 multi usages, une entrée et une sortie ASI/SDI indépendantes.
- Module audio alimenté : pas de besoin d'alimentation externe.
- Rapport performance/prix inégalé sur le marché.
- La DTU-245-SDP est fournie avec logiciel DtGrabber + (logiciel d'enregistrement des flux) en plus de DtTV (logiciel de visualisation temps réel des chaînes issues d'une TS), ainsi que STREAM EXPERT (logiciel convivial de lecture des fichiers transports sur PC).
- La DTU-245-SXP est fournie avec les logiciels DTU-245-SDP plus le très populaire STREAM EXPERT (logiciel d'analyse et de monitoring MPEG-2, MPEG-4 "pour les transmissions en HD").

Applications

- Outil essentiel pour tout ingénieur pour bien comprendre la télédiffusion numérique : très pratique et peu encombrant, ce module USB peut être utilisé pour récupérer, analyser, monitorer, générer des flux ASI et SDI.
- Enregistrement et analyse de flux MPEG-2 transport sur site (mobilité).
- DTU-245-SDP : lecture, enregistrement, décodage des chaînes TV ASI/SDI.
- DTU-245-SXP : analyseur MPEG-2 transport, monitoring, enregistrement et lecture sur ASI et SDI.