

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique et d'Informatique
Département de Télécommunications



Mémoire de Fin d'Etudes de
MASTER ACADEMIQUE

Filière :

Télécommunications

Spécialité :

Réseaux & Télécommunications

Par

CHABANE Katia

DZIRI Tafat

Thème

Etude des systèmes de télévision numérique

DVB-T et DVB-S

Soutenu le : 23/06/2024

Devant le jury :

Président :	Mme. BOUSSOUM Ouiza	MCB
Promoteur :	Mr. ZOUAK Belkacem	MCB
Co-promoteur :	Mr. MAKHLOUFIA Seddik	Ingénieur
Examineurs :	Mme. HAMMAR Karima	MAB

Année universitaire : 2023-2024

Remerciements

Nous souhaitons tout d'abord remercier notre directeur de mémoire, Mr **ZOUAK Belkacem**, pour son accompagnement précieux, ses conseils pertinents et son soutien qui ont été déterminants tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements vont également à La Direction Régionale Centre de la TéléDiffusion d'Algérie TDA pour avoir accueilli notre projet et mis à notre disposition les ressources nécessaires à sa réalisation. Un merci particulier à notre maitre de stage Mr **MAKHLOUFIA Seddik**, ingénieur en chef d'exploitation et maintenance, pour ses efforts, sa patience et ses conseils.

Nous tenons à remercier également le chef du centre émetteur TV/FM de la Direction Régionale Centre de la TDA Mr **BENAZZOU Nassim** ainsi que toute son équipe, Mr **BEDDIAR Abderraouf** ingénieur d'exploitation au téléport spatial de Bouchaoui TDA, Mr **BOULACHEB Islem** chef de département commutations et transmissions techniques de l'EPTV et Mr **MESSAOUDI Ismail** chef de centre adjoint Nodal TDA pour leur collaboration et leur aide précieuse.

Nous remercions les membres du jury, Mme **BOUSSOUM Ouiza** et Mme **HAMMAR Karima**, pour avoir accepté d'évaluer notre travail et pour leurs retours constructifs.

Nous exprimons notre gratitude à nos parents respectifs pour leur soutien psychologique et financier, à nos amis et à toutes les personnes ayant contribuées à ce travail de près ou de loin.

Dédicace 1

Je dédie ce travail,

À ma mère et à mon père,

*Leurs sacrifices depuis ma première rentrée scolaire ont été la fondation sur laquelle j'ai
construit ce parcours académique.*

À mon frère Moumouh et à ma petite sœur Ines,

À qui je souhaite toute la réussite du monde.

À mon binôme et amie Tafat

À mes chères Fati, Tina

*Leurs encouragements constants, leurs mots de réconfort, et leur présence durant les moments
difficiles ont été inestimables pour moi.*

Merci à tous du fond du cœur.

Katia

Dédicace 2

Je dédie ce travail à mon très cher papa et ma très chère maman, sans qui je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui. Leur amour, leur soutien inconditionnel et leurs sacrifices ont été ma motivation. Votre patience et votre compréhension ont été inestimables. Merci du fond du cœur.

À mes frères, Aziz, Massinissa et Aghiles, et à ma petite sœur Tinhinane, pour leur aide précieuse et leur soutien constant. Merci pour votre affection et votre encouragement

À ma belle-sœur pour ses conseils et son réconfort.

À la personne qui a supporté mes états d'âme et mes caprices durant toutes ces années.

Je tiens également à remercier mon binôme et amie Katia CHABANE, Souhila, mes amis, ma famille élargie et toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Votre soutien, vos encouragements et vos conseils ont été essentiels à l'aboutissement de ce projet.

TAFAT

Sommaire

Remerciements	2
Dédicace 1	3
Dédicace 2	4
Sommaire	5
Listes des figures	9
Listes des tables	11
Listes des abréviations, sigles et acronymes	12
Introduction Générale	16
Chapitre I : Généralité sur la télévision numérique DVB	18
1 Introduction	19
2 Evolution de la télévision	19
3 La numérisation	19
4 Le système de communication numérique	20
4.1 Codage source	20
4.1.1 Compression avec pertes	21
4.1.2 Compression sans pertes	21
4.2 Codage canal	21
4.3 Multiplexage	21
4.4 Modulation	22
4.5 Canal de transmission	22
4.6 Démodulation	22
4.7 Démultiplexage	22
4.8 Décodage de canal	22
4.9 Décodage source	22
5 Le standard DVB	23
5.1 Présentation du consortium DVB	23
5.2 Objectifs	23
5.3 Processus	23
5.4 La norme DVB à l'échelle mondiale	23
6 Les différentes normes du standard DVB	24
6.1 DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite)	24
6.1.1 DVB-S2	24
6.2 DVB-C (Digital Video Broadcasting- Cable)	24
6.2.1 DVB-C2	25

6.3	DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial)	25
6.3.1	DVB-T2.....	25
6.4	DVB-H (Digital Video Broadcasting-Handheld).....	25
7	Conclusion.....	26
Chapitre II : Les chaines de transmission DVB-T et DVB-S.....		27
1	Introduction	28
2	La chaine de transmission DVB-T	28
2.1	Emission	28
2.1.1	Codage source	28
2.1.1.1	MPEG-2.....	28
2.1.1.2	Flux de transport.....	28
2.1.2	Codage canal	29
2.1.2.1	Le brassage	30
2.1.2.2	Codage externe (Code Reed-Solomon).....	30
2.1.2.3	Entrelacement externe	30
2.1.2.4	Codage interne (code convolutif)	30
2.1.2.5	Entrelacement interne	31
2.1.2.6	Mappeur.....	31
2.1.2.7	Modulation COFDM	32
2.1.2.8	Amplificateur.....	33
2.2	Transmission hertzienne.....	33
2.3	Réception.....	33
2.3.1	Démodulation	33
2.3.1.1	Décodeur Viterbi	33
2.3.2	Démultiplexage et décodage.....	34
3	DVB-T2.....	34
3.1	Les normes de compression.....	34
3.1.1	MPEG-4.....	34
3.1.2	H-265.....	34
3.2	Les codages avancés.....	34
3.2.1	BCH.....	34
3.2.2	LDPC.....	34
4	Comparaison entre DVB-T et DVB-T2	35
5	La chaine de transmission DVB-S	35
5.1	Paramètres de la chaine DVB-S	36
5.1.1	Modulation QPSK.....	36
6	DVB-S2.....	37

7	Comparaison entre DVB-S et DVB-S2.....	37
8	Conclusion.....	38
Chapitre III : Modélisation d'une chaîne DVB-T		39
1	Introduction	40
2	Présentation du logiciel MATLAB/SIMULINK.....	40
3	Modèle Simulink de la chaîne de transmission DVB-T.....	42
3.1	Emission.....	42
3.1.1	Random integer	42
3.1.2	RS Encoder.....	42
3.1.3	Convolutional encoder.....	43
3.1.3.1	Convolutional interleaver	43
3.1.3.2	Punctured Convolutional Code.....	43
3.1.4	DVB-T Inner Interleaver	43
3.1.5	DVB -T 64- QAM Mapper.....	43
3.1.6	OFDM Modulator.....	44
3.2	AWGN Channel	44
3.3	Réception.....	44
3.3.1	OFDM Demodulator	44
3.3.2	DVB-T 64-QAM Demapper.....	44
3.3.3	DVB-T Inner Deinterleaver.....	44
3.3.4	Décodeur Viterbi	45
3.3.5	Convolutional Deinterleaver	45
3.3.6	RS Decoder.....	45
3.4	Bocs d'affichage et de calculs	45
3.4.1	Spectrum Scope.....	45
3.4.2	Error Rate Calculation.....	45
3.4.3	Display.....	46
3.4.4	Delayed Scatter Plot	46
3.4.5	Constellation Diagram.....	46
4	Résultats et interprétations	46
4.1	Diagramme de constellation de la modulation 64-QAM.....	46
4.2	Densité spectrale de puissance	47
4.3	Signal transmis et signal reçu	48
4.4	BER (Bit Error Rate).....	48
5	Conclusion.....	49
Chapitre IV : Exploitation des normes DVB-T et DVB-S par la TDA.....		50
1	Introduction	51

2	Présentation de l'organisme d'accueil : la Télédiffusion d'Algérie TDA	51
2.1	Direction Régionale Centre	53
2.2	Centre Téléport Spatial de Bouchaoui.....	53
3	Constitution des Multiplex des chaînes télévisuelles et radiophoniques.....	53
4	Chaîne de transmission DVB-T.....	54
4.1	Architecture de la chaîne de transmission DVB-T.....	54
4.2	Composants de la chaîne de transmission DVB-T	55
4.2.1	Source de contenu.....	55
4.2.1.1	Source FH (Faisceau Hertzien)	55
4.2.1.2	Source satellitaire	57
4.2.2	Emetteur TNT.....	58
4.2.2.1	Emetteur TNT de marque PLISH.....	58
4.2.2.2	Emetteur TNT de marque EGATEL	61
4.2.3	Antenne UHF	62
4.2.4	Réception de la télévision numérique terrestre.....	62
5	Chaîne de transmission DVB-S.....	63
5.1	Architecture de la chaîne de transmission DVB-S	63
5.2	Composants de la chaîne de transmission DVB-S	64
5.2.1	Source de contenu.....	64
5.2.2	Les codeurs.....	64
5.2.3	Le multiplexeur	64
5.2.4	Le modulateur.....	65
5.2.5	Up converter	65
5.2.6	Amplificateur de puissance	65
5.2.7	Antenne parabolique d'émission	65
5.2.8	Réception satellitaire de la télévision numérique	66
6	Configuration d'un bouquet de chaînes TV	67
7	Conclusion.....	69
	Conclusion générale	70
	Références	71
	Annexe 1	73
	Annexe 2	75

Listes des figures

Figure 1: Etapes de la numérisation d'un signal analogique	20
Figure 2: Synoptique d'un système de communication numérique de base.....	20
Figure 3: Chaîne de transmission DVB.....	23
Figure 4: Synoptique de la chaîne d'émission DVB-T.....	28
Figure 5: Synoptique générale de l'organisation des données	29
Figure 6: Principe de brassage.....	30
Figure 7: Trame DVB après le codage RS	30
Figure 8: Codage convolutif DVB	31
Figure 9: Diagramme de constellation 64-QAM.....	33
Figure 10: Chaîne générale d'une réception TNT.....	33
Figure 11: Chaîne simplifiée d'émission et de réception DVB-S	36
Figure 12: Diagramme de constellation QPSK.....	37
Figure 13: Espace de travail de MATLAB.....	40
Figure 14: Fenêtre Simulink.....	41
Figure 15: Bibliothèque Simulink.....	41
Figure 16: Chaîne DVB-T sous Simulink.....	42
Figure 17: Bloc Random Integer.....	42
Figure 18: Bloc RS Encoder.....	42
Figure 19: Bloc Convolutional Interleaver.....	43
Figure 20: Bloc Punctured Convolutional Code.....	43
Figure 21: Bloc DVB-T Interleaver.....	43
Figure 22: Bloc DVB-T 64-QAM Mapper.....	43
Figure 23: Bloc OFDM Modulator.....	44
Figure 24: Bloc AWGN Channel.....	44
Figure 25: Bloc OFDM Demodulator.....	44
Figure 26: Bloc DVB-T 64-QAM Demapper.....	44
Figure 27: Bloc DVB-T Inner Deinterleaver.....	44
Figure 28: Bloc Viterbi Decoder.....	45
Figure 29: Bloc Convolutional Deinterleaver.....	45
Figure 30: Bloc RS Decoder	45
Figure 31: Bloc Spectrum Scope.....	45
Figure 32: Bloc Error Rate Calculation.....	45
Figure 33: Bloc Display.....	46
Figure 34: Bloc Delayed Scatter Plot.....	46
Figure 35: Bloc diagramme de constellation.....	46
Figure 36: Diagramme de constellation, (a) avant le passage par le canal AWGN et (b) après le passage par le canal AWGN.....	47
Figure 37: La densité spectrale de puissance, (a) : avant le passage par le canal AWGN et (b) : après le passage par le canal AWGN.....	47
Figure 38: (a) : le signal transmis et (b) : le signal reçu après RS décodeur.....	48
Figure 39: BER en fonction du SNR.....	48
Figure 40: Schéma global du cœur de métier de TDA.....	51
Figure 41: Carte de couverture des émetteurs TNT à travers le territoire national.....	52
Figure 42: Carte de couverture de l'émetteurs TNT de Bordj El Bahri, 1.5 KW, Canal 24 (498.166 MHz).....	54

Figure 43: Shéma synoptique de la chaine d'émission DVB-T installée au centre émetteur TV/FM de la DRC.....	55
Figure 44: Multiplex (Bouquet) à diffuser par l'émetteur TNT de Bordj El Bahri.....	55
Figure 45: Antenne de réception FH installée sur la tour au siège de la DRC.....	56
Figure 46: Les quatre trains de 34 Mb/s reçus à travers la liaison FH.....	56
Figure 47: Une baie de multiplexage SODIELEC.....	57
Figure 48: Antenne parabolique orientée vers le satellite ALCOMSAT-1 24.8°W.....	58
Figure 49: Antenne parabolique orientée vers le satellite SES4 22°W.....	58
Figure 50: Les deux IRD utilisés pour démoduler les signaux provenant d'ALCOMSAT et de SES-4.....	58
Figure 51: Un émetteur TNT de marque PLISH.....	59
Figure 52: Unité d'affichage de puissance PDU 3000.....	59
Figure 53: L'unité de commande du système SCU 3000.....	59
Figure 54: Les deux excitateurs vidéo numérique DVE 3130.....	60
Figure 55: Modulateur.....	60
Figure 56: Paramètres de système DVB-T.....	60
Figure 57: Les six amplificateurs de puissance RF PAU 3100.....	61
Figure 58: Emetteur TNT EGATEL de la série TE9301 600W DD.....	62
Figure 59: Panneaux d'antennes UHF.....	62
Figure 60: Réception du multiplex TNT, diffusé par l'émetteur TNT du centre TV/FM de Bordj El Bahri, sur le Canal 24 (498.166 MHz).....	63
Figure 61: Schéma synoptique de la chaine d'émission DVB-S au niveau du téléport de Bouchaoui.....	64
Figure 62: Codeur ERICSSON.....	64
Figure 63: Multiplexeur THOMSON.....	64
Figure 64: Modulateur Newtec.....	65
Figure 65: Up converter Newtec.....	65
Figure 66: Amplificateur de puissance (HPA).....	65
Figure 67: Antenne parabolique de 7.6 m de diamètre, orientée vers le satellite SES4.....	66
Figure 68: Réception du bouquet de 6 chaines SD algériennes, diffusé par le satellite Alcomsat-1 (Fréquence : 12231 MHz).....	66
Figure 69: ReMultiplexeur utilisé de marque Ericsson.....	67
Figure 70: Sélection des deux entrées ALCOMSAT-1 et SES4.....	67
Figure 71: Création d'un bouquet.....	67
Figure 72: Nomination d'un bouquet "UMMTO TEST".....	68
Figure 73: Remplissage du bouquet avec les chaines TV.....	68
Figure 74: Propriétés de la chaine TV6.....	68
Figure 75: Les composantes d'une chaine.....	69
Figure 76: Vérification de la taille (débit) de notre bouquet.....	69

Listes des tables

Tableau 1: Rendement du codeur poinçonnage (FEC).....	31
Tableau 2: Paramètres des modes OFDM 2k et 8k.....	32
Tableau 3: Comparaison entre DVB-T et DVBT-2	35
Tableau 4: Principaux paramètres d'une chaîne DVB-S.....	36
Tableau 5: Comparaison entre DVB-S et DVB-S2.....	37
Tableau 6: Bandes des fréquences et leurs services	75

Liste des abréviations, sigles et acronymes

AAC	Advanced Audio Coding
APS	Agence Presse Service
ASAL	Agence Spaciale Algérienne
ASBU	Arab States Broadcasting Union
ASI	Asynchronous Serial Interface
ATSC	Advanced Television System Committee
AVC	Advanced Video Coding
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BCH	Bose, Ray-Chaudhuri et Hocquenghem
BER	Bit Error Rate
CAN	Convertisseur Analogique Numérique
CCU	Control and Command Unit
CEI	Commission Electrotechnique Internationale
CNA	Convertisseur Numérique Analogique
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CRC	Cyclic Redundancy Check
DiVX	Digital Video express
DRC	Direction Régionale Centre
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	Digital Video Broadcasting – Cable
DVB-C2	Digital Video Broadcasting – Cable version 2
DVB-H	Digital Video Broadcasting - Handheld
DVB-S	Digital Video Broadcasting – Satellite
DVB-S2	Digital Video Broadcasting – Satellite version 2
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial
DVB-T2	Digital Video Broadcasting – Terrestrial version 2

DVE	Digital Video Exciter
ENPA	Entreprise Nationale de la Production Audiovisuelle
EPIC	Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial
EPRS	Etablissement Public de la Radiodiffusion Sonore
EPTV	Etablissement Public de la Television
ES	Elementary Stream
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FEC	Forward Error Correction
FH	Faisceau Hertzien
FM	Frequency Modulation
FO	Fibre Optique
GSE	Generic Stream Encapsulation
HD	High Definition
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HE-AAC	High Efficiency-Advanced Audio Coding
HE-AAC-V2	High Efficiency-Advanced Audio Coding-Version2
HEVC	High Efficiency Video Coding
HP	High Priority
HPA	High Power Amplifier
IIS	Interférences Inter Symboles
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
IRD	Integrated Receiver Decoder
ISDB	Integrated Service Digital Broadcasting
ISDB-T	Integrated Service Digital Broadcasting-Terrestrial
ISO	International Organization for Standardization
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LCEVC	Low Complexity Enhancement Video Coding
LP	Low Priority
LPDC	Low Density Parity Check

MP3	Mpeg-1 audio layer 3
MPEG	Moving Picture Experts Group
MPEG-1	Moving Picture Experts Group-version 1
MPEG-2	Moving Picture Experts Group-version 2
MPEG-4	Moving Picture Experts Group-version 4
MPEG-4-AVC	Moving Picture Experts Group-version 4-Advanced Video Coding
MPEG-TS	Moving Picture Experts Group-Transport Stream
MPTS	Multiple Program Transport Stream
NEC	Nichiden
NTSC	National Television System Committee
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAL	Phase Alternating Line
PAU	Power Amplifier Unit
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PDU	Power Display Unit
PES	Packetized Elementary Stream
PID	Process IDentify
PNG	Portable Network Graphics
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RCA	Radio Corporation of America
RF	Radio Frequency
RS	Reed Solomon
RTA	RadioTélévision Algérienne
SCU	System Control Unit
SD	Standard Definition
SECAM	Séquentiel Couleur A Mémoire
SNR	Signal to Noise Ratio
SPTS	Single Program Transport Stream
T-DMB	Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting

TNT	Télévision Numérique Terrestre
TS	Transport Stream
TV	Télévision
UAR	Union Africaine des Radiodiffusions
UER	Union Européenne de Radiodiffusion
UHF	Ultra High Frequency
UIT	Union International des Telecommunications
URI	Union des Radiodiffusions Islamiques
USAC	Unified Speech and Audio Coding
VHF	Very High Frequency
VOD	Video On Demand
VSAT	Very Small Aperture Terminal
VVC	Versatile Video Coding
WebP	Web Picture format

Introduction Générale

Depuis ses débuts au 20^{ème} siècle jusqu'à son omniprésence actuelle, la télévision a parcouru un chemin remarquable. Initialement analogique avec des images en noir et blanc représentées par des signaux électriques, puis évolué vers la couleur avec trois normes de transmission : NTSC, SECAM et PAL, adoptées dans différentes régions du monde.

Plus tard, l'ère du numérique a transformé le signal électrique en un flux binaire, apportant des avantages significatifs en termes de qualité, efficacité, fonctionnalités et fiabilité. Cette transition a été marquée par des améliorations techniques successives, passant de la définition standard (SD) à la haute définition (HD), puis à la FULL HD, 4K, et même 8K, offrant une qualité d'image toujours plus immersive.

En parallèle, de nouvelles formes de diffusion ont émergé, telles que la diffusion sur Internet (streaming), la télévision à la demande (VOD) et sur appareils mobiles.

La télévision numérique a nécessité de nouvelles normes de transmission comme le DVB en Europe, l'ATSC en Amérique du Nord et l'ISDB au Japon. Les systèmes de diffusion numérique offrent une qualité d'image et de son supérieure, une utilisation plus efficace du spectre de fréquence et de nouvelles fonctionnalités telles que la télévision interactive et la diffusion de contenu en haute définition. Parmi les normes de diffusion numérique les plus répandues, le DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) et le DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite).

La Télédiffusion d'Algérie (TDA) est un établissement public chargé de la diffusion des chaînes de télévision et de la radio Algériennes. Depuis sa création, la TDA a joué un rôle crucial dans le développement des infrastructures de télédiffusion dans le pays. Avec l'évolution des technologies, la TDA s'est engagée dans la modernisation de ses équipements et de ses réseaux pour passer de la diffusion analogique à la diffusion numérique, en adoptant les normes DVB-T et DVB-S pour répondre aux besoins croissants des téléspectateurs et aux exigences des standards internationaux.

Notre projet a pour objectif d'étudier les systèmes de télévision numérique DVB-T et DVB-S, en mettant l'accent sur leurs principes de fonctionnement, leurs techniques de modulation et de codage, ainsi que leurs performances respectives en termes de robustesse et d'efficacité spectrale. L'étude inclut également la simulation du système DVB-T à l'aide du logiciel MATLAB, ainsi que l'expérimentation pratique des chaînes d'émission, de transmission et de réception des deux systèmes. Afin d'atteindre ces objectifs, nous avons organisé notre mémoire en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présenterons l'évolution de la télévision au fil du temps. Ensuite, nous aborderons les bases de la transmission numérique, en décrivant d'abord les étapes de la numérisation et la chaîne de transmission, en mettant l'accent sur les étapes du traitement du signal : le codage source, le codage canal, ainsi que le multiplexage et la modulation. Nous

terminerons par une présentation du standard DVB, ses objectifs, ses différentes formes et son évolution dans le monde.

Le deuxième chapitre sera dédié aux chaînes de transmission des standards DVB utilisés en Algérie, à savoir DVB-T et DVB-S, ainsi qu'à leurs évolutions, en expliquant les étapes de la réception. Pour chaque norme, nous détaillerons les étapes nécessaires pour transmettre le signal selon les standards établis par les organismes spécialisés, en analysant les différences entre les standards. Nous allons également faire une comparaison entre le DVB-T et DVB-T2, le DVB-S et DVB-S2, afin de mieux comprendre les avantages liés aux améliorations de certains paramètres.

Le troisième chapitre sera consacré à la modélisation et à la simulation du système DVB-T avec MATLAB Simulink. Nous décrirons la fonctionnalité, l'utilité de chaque bloc utilisé et analyserons les résultats de simulation. Ce chapitre permettra d'étudier et de comprendre le fonctionnement de la norme DVB-T dans des conditions proches de la réalité.

Le quatrième et dernier chapitre abordera l'étude pratique des systèmes DVB-T et DVB-S, en se focalisant sur les chaînes de transmission DVB-T ET DVB-S de la Télédiffusion d'Algérie déployées respectivement au siège de la direction régionale centre de Bordj-El-Bahri et au téléport spatial de Bouchaoui, dans la wilaya d'Alger. Nous détaillerons les équipements nécessaires pour les chaînes de transmission, ainsi que les étapes de mise en place pratique des systèmes DVB-T et DVB-S. Nous expliquerons également la procédure de composition d'un bouquet de chaînes de télévision et de radios à partir de diverses sources de signaux.

Dans la conclusion générale, nous résumerons le travail que nous avons effectué et présenterons les résultats obtenus de la simulation et de la pratique exécutée, d'où quelques perspectives seront dégagées.

Chapitre I : Généralité sur la télévision numérique DVB

1 Introduction

À travers les générations, la télévision a évolué pour devenir un élément incontournable de nos vies. Les débuts de la télévision étaient marqués par les diffusions analogiques, utilisant des ondes radio pour transmettre les signaux vidéo et audio. Ce système a dominé pendant plusieurs décennies, mais il présentait des limites importantes. Les transmissions analogiques étaient sensibles aux interférences et aux dégradations du signal, offrant une qualité d'image et de son limitée. L'évolution de l'analogique au numérique marque un tournant majeur dans l'histoire de la diffusion audiovisuelle. Cette transition a nécessité l'introduction de nouvelles normes telles que le DVB (Digital Video Broadcasting), ainsi que de nouveaux équipements et de nouvelles infrastructures. Pour avoir la diffusion du signal télévisé comme on la connaît aujourd'hui, les signaux vidéo capturés dans les studios passent par plusieurs étapes de traitement du signal.

Dans ce chapitre, nous allons aborder l'évolution de la télévision et sa transition vers le numérique. Nous présenterons également le standard de diffusion numérique DVB avec ses différentes normes.

2 Evolution de la télévision

Lors de la création de la télévision dans les années 30, la transmission était analogique, et les images transmises étaient en noir et blanc. La transmission analogique est basée sur des signaux électriques continus représentant les variations de luminosité et de contraste dans l'image. Ces signaux étaient capturés par une caméra, transmis via des ondes radioélectriques ou des câbles, puis affichés sur les écrans des téléviseurs à l'aide de tubes cathodiques.

Les années 60 ont vu l'avènement de la télévision en couleurs avec trois différents standards de transmission NTSC (National Television System Committee), SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire) et PAL (Phase Alternating Line) compatibles avec la transmission analogique en noir et blanc [1].

Les premières émissions numériques grand public étaient lancées en France dès 1990. Environ une décennie plus tard, la transition vers la télévision numérique est devenue un enjeu mondial. Depuis, des améliorations techniques se succèdent, englobant l'évolution des normes de résolution, passant de la définition standard (SD) à la haute définition (HD), puis à la FULL HD, à la 4K, à la 8K, et ainsi de suite. Parallèlement, de nouvelles formes de diffusion sont apparues, notamment la diffusion sur Internet, la télévision à la demande (VOD) et la télévision sur les appareils mobiles.

3 La numérisation

La numérisation d'un signal analogique consiste à convertir un signal électrique en un flux binaire composé de 0 et de 1. Cette opération est réalisée à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique (CAN) en trois étapes essentielles.

- **Echantillonnage** : prélèvement d'échantillons précis à des intervalles de temps réguliers.
- **Quantification** : attribution d'une valeur numérique pour chaque échantillon prélevé.
- **Codage** : une fois échantillonné et quantifié le signal est codé en binaire afin d'optimiser son stockage ou sa transmission.

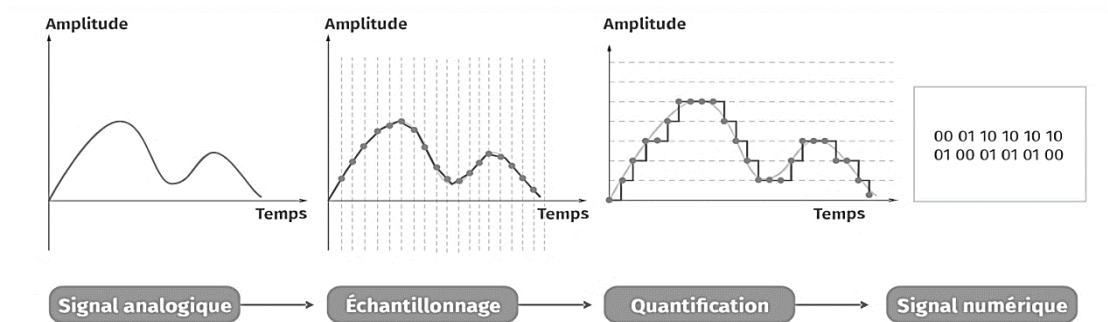


Figure 1 : Etapes de la numérisation d'un signal analogique [2].

Cependant, l'utilisation d'un CAN n'est pas toujours nécessaire, car certaines sources peuvent être directement numériques.

4 Le système de communication numérique

Le schéma synoptique d'un système de communication numérique de base est représenté sur la figure 2. Ce schéma illustre les principales étapes et composants impliqués dans la transmission d'un signal numérique d'une source à une destination.

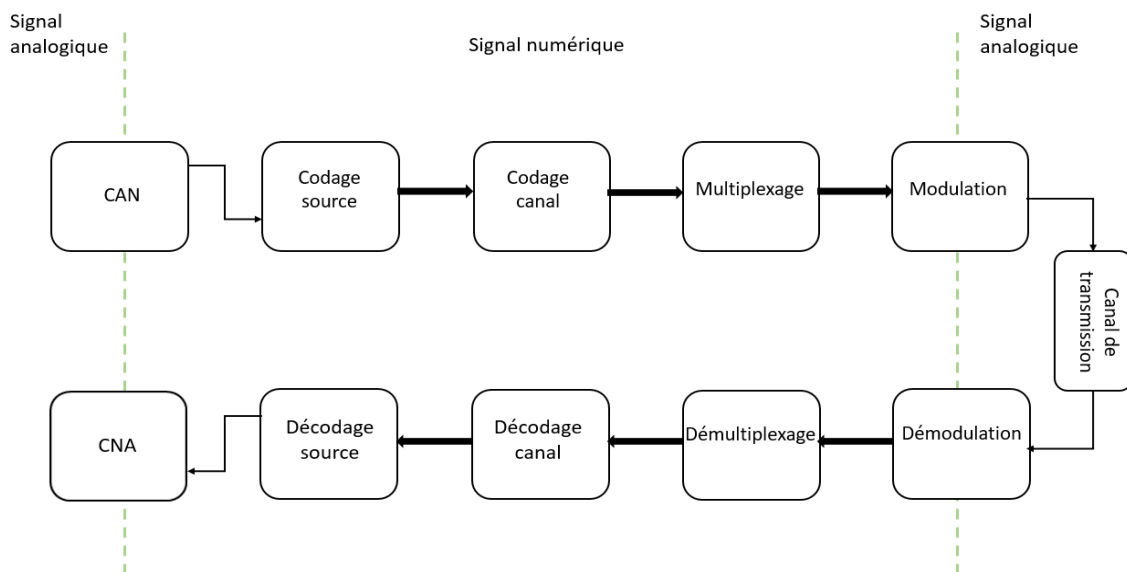


Figure 2: Synoptique d'un système de communication numérique de base.

4.1 Codage source

L'intérêt du codage source est de trouver une correspondance binaire des messages émis par la source, tenant compte de leur contenu informatif tout en économisant les bits. En d'autres termes : la compression des données, l'élimination de la redondance, et l'adaptation des données au transport sur le canal de communication.

En utilisant le fait qu'il existe une certaine redondance à l'intérieur des images, et entre images successives, le codage source intervient alors pour la compression de signaux, découpage de l'image en bloc, prédiction temporelle, codage à longueur variable et quantification.

Pour le son, on utilise généralement plusieurs fréquences d'échantillonnage pour pouvoir coder plusieurs voix simultanément. Il existe deux types de compression ;

4.1.1 Compression avec pertes

Cette technique permet une suppression définitive des informations jugées peu ou pas importantes pour la perception finale dans le but de réduire le débit. Généralement cette sélection est faite selon les failles auditives et visuelles de l'être humain. Les formats de compression avec pertes incluent le JPEG, le MP3, le DivX et le MPEG.

➤ La norme MPEG

Le groupe MPEG (Moving Picture Expert Group), est membre des organismes internationaux ISO (International Organization of Standardization) et CEI (Commission Electrotechnique Internationale) [3], depuis sa création en 1988. Il a été chargé principalement du développement de normes pour la compression, la décompression, le traitement et le codage de la vidéo et de l'audio.

Avec les avancés rapides de la technologie et les demandes incessantes d'amélioration en termes d'optimisation des bandes passantes, MPEG fournit un mécanisme éprouvé pour transformer les résultats de la recherche en normes qui favorisent l'innovation. La norme MPEG essaye toujours d'être à la pointe de la technologie pour satisfaire et offrir aux consommateurs une expérience multimédia numérique toujours plus agréable.

Jusqu'à présent le groupe MPEG a donné naissance à beaucoup de normes internationales notamment celles dédiées au domaine du codage vidéo, parmi ces normes : MPEG-1, MPEG-2, AVC, HEVC, LCEVC, VVC, et pour le codage audio nous pouvons citer MP3, AAC, USAC [4].

4.1.2 Compression sans pertes

La compression sans pertes permet de reconstruire l'information d'origine dans son intégralité à la réception. Avec cette méthode la qualité du signal reçu après décompression est supérieure. Parmi les techniques sans pertes on trouve GZIP, Brotli, WebP, et PNG.

4.2 Codage canal

Le but du codage canal est la préparation de l'information pour l'envoi, et s'assurer à la réception de l'authenticité des données. Le codage de canal rajoute de l'information, qu'on appelle bits de contrôle ou d'apprentissage, pour permettre au récepteur de détecter ou corriger les erreurs éventuellement apparues.

Les bits de contrôle sont calculés de façon que le décodeur puisse vérifier si les symboles reçus sont erronés ou pas (détection d'erreurs), et éventuellement, déterminer les positions des bits erronés (correction d'erreurs) [5]. Pour la correction d'erreurs on trouve le codage RS (Reed-Solomon) et le codage LDPC (Low Density Parity Check) par exemple, et pour la détection on peut utiliser les codes de parités ou le CRC (Cyclic Redundancy Check).

4.3 Multiplexage

Le multiplexage est une technique qui consiste à envoyer simultanément plusieurs signaux ou flux d'informations sur un même canal de transmission, sous la forme d'un signal unique et complexe, tout en permettant la récupération de chaque signal à la réception.

Dans le cas de la télédiffusion, le son, l'image et les données de divers programmes sont codés, puis multiplexés. Le signal résultant transporte toutes ces informations, y compris celles nécessaires à la synchronisation des différents programmes.

4.4 Modulation

La modulation est la transformation du signal de sa forme originale en une forme adaptée au canal de transmission. Elle consiste à attribuer à chaque niveau du signal numérique, un état d'amplitude, de phase ou de fréquence, le choix est fait selon le secteur d'utilisation.

Cette étape est souvent nécessaire pour l'acheminement des informations numériques pour des questions de rentabilités (bande passante, transport...).

4.5 Canal de transmission

Le canal de transmission est le chemin physique à travers lequel les signaux sont transmis d'un point à un autre. Ce canal peut prendre différentes formes, telles que des ondes radio à travers l'air, des câbles métalliques ou des fibres optiques. Chaque type de canal présente ses propres caractéristiques, comme la capacité de transmission, la vitesse de transmission, la sensibilité aux interférences...etc.

4.6 Démodulation

La démodulation est le processus de conversion d'un signal modulé, qui a été transmis à travers le canal de transmission, en un signal en bande de base. Cette étape est essentielle pour récupérer les données numériques ou analogiques originales à partir du signal transmis. La démodulation est souvent réalisée à l'aide de circuits électroniques spéciaux conçus pour chaque type de modulation utilisé dans le canal de transmission.

4.7 Démultiplexage

Le démultiplexage est une opération qui consiste à séparer un flux de données combinées, ou multiplexées, en plusieurs flux distincts. En d'autres termes, lorsqu'on envoie plusieurs types d'informations (comme le son, l'image et les données) combinées dans un seul flux sur un même canal, le démultiplexage permet de les séparer à nouveau. Cela signifie qu'il extrait chaque type d'information pour les diriger vers leur destination respective.

4.8 Décodage de canal

Le décodage de canal est le processus de détection et de correction des erreurs qui se sont produites pendant la transmission des données à travers le canal. Ces erreurs peuvent être causées par divers facteurs tels que le bruit, les interférences électromagnétiques, ou les limitations physiques du canal lui-même. Les techniques de décodage de canal varient en fonction du type de canal et du niveau de fiabilité requis pour la transmission des données.

4.9 Décodage source

Le décodage source consiste à extraire les données d'origine à partir du signal encodé ou compressé transmis à travers le canal de transmission. Il comprend généralement deux étapes : la décompression des données pour les rendre exploitables et le décodage pour les ramener à leur format d'origine. Par exemple, dans le cas d'une vidéo, cela pourrait impliquer de décompresser un format de fichier comme MPEG, puis de décoder les données pour retrouver les images et le son d'origine.

5 Le standard DVB

5.1 Présentation du consortium DVB

Le DVB (Digital Video Broadcasting) est un projet Européen fondé en 1993 par un consortium rassemblant environ 200 sociétés dans le domaine de la radiodiffusion et travaillant ensemble pour établir des spécifications techniques pour la diffusion de la télévision numérique et qui sont transformées en norme par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) pour une utilisation internationale [6].

5.2 Objectifs

Le projet DVB a pour objectifs de départ :

Le développement d'une suite de technologies de diffusion de télévision numérique par satellite, par câble et par voie hertzienne avec la nécessité d'intégration des points communs entre ces différentes plates-formes, mais aussi la diffusion de multiples chaînes par canal [7].

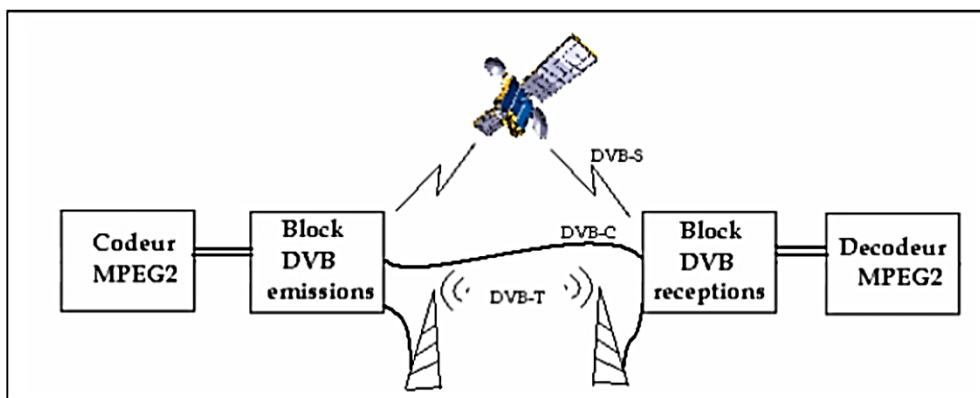


Figure 3: Chaîne de transmission DVB [8].

5.3 Processus

Après la capture des signaux via des caméras et des microphones, ils sont traités par des encodeurs puis compressés suivant la norme MPEG-2 [9].

Les signaux encodés sont multiplexés avec d'autres contenus tels que le télétexte et les publicités. Durant le processus de multiplexage, l'ensemble des services (chaînes, jeux, radio...) est acheminé en un flux de transport TS (Transport Stream) [9].

Chaque flux TS est capable de transporter jusqu'à 20 chaînes de télévision selon le mode de transport et la qualité d'encodage souhaité. Ce flux numérique est transmis vers les téléspectateurs, qui doivent être équipés d'un décodeur compatible ou un téléviseur ayant un décodeur intégré pour pouvoir accéder aux contenus [9].

5.4 La norme DVB à l'échelle mondiale

Les normes DVB-T et DVB-S sont largement utilisées dans de nombreux pays, notamment en Europe, dans la majorité des pays africains, ainsi que dans certains pays d'Asie et d'Amérique. Cependant, beaucoup de ces pays cherchent à migrer vers des normes plus avancées qui répondent mieux aux besoins des populations modernes, telles que les nouvelles générations du standard DVB. Le Royaume-Uni a adopté la transition vers le DVB-T2 dès 2015, suivi par l'Allemagne en 2016. De nombreux autres pays ont déjà suivi ou prévoient de suivre cette voie [10].

La migration vers le DVB-S2 a commencé progressivement depuis 2005, année de la confirmation de la norme par l'ETSI, et se poursuit à ce jour, souvent suivie par les mises à

niveau techniques nécessaires pour les infrastructures terrestres. L'Algérie a commencé à utiliser la norme DVB-S2 depuis le 18 juillet 2021[11].

Les principaux concurrents du standard DVB sont l'ATSC (Advanced Television System Committee), adopté aux États-Unis, au Canada, au Mexique et en Corée du Sud, ainsi que l'ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting), utilisé au Japon et en Amérique du Sud, notamment au Brésil.

6 Les différentes normes du standard DVB

6.1 DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite)

C'est la variante de DVB utilisée pour la diffusion des chaînes TV par satellite. Son développement s'est fait de 1993 à 1997 avec une première version émise en 1994 [12].

Cette norme a attiré l'intérêt des chercheurs dans le domaine de communications en raison de sa capacité à exploiter une bande passante relativement large et ses contraintes moins strictes par rapport aux autres supports de transmission. Elle repose sur la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) [9].

La norme prend compte des caractéristiques d'une transmission satellitaire, notamment [12] :

- La bande disponible est relativement large : 36MHz
- Le canal est de type AWGN (Additive White Gaussian Noise).
- Le signal est fortement atténué et dominé par le bruit.
- La transmission est en ligne directe.

6.1.1 DVB-S2

Cette norme représente une évolution de la norme DVB-S, développé en 2003 et normalisé par l'ETSI en 2005. Les récepteurs DVB-S2 sont compatibles avec les émissions DVB-S, mais pas l'inverse. Cette nouvelle norme apporte plusieurs améliorations significatives par rapport au standard existant. Elle permet notamment une utilisation plus efficace de la bande passante disponible et offre un meilleur rapport signal/bruit. Elle est largement utilisée pour les transmissions en haute définition HD. DVB-S2 n'est pas limitée au codage vidéo et audio MPEG-2, mais prend en charge un éventail de formats y compris les flux de transport MPEG simples ou multiples et les flux de données binaires. Ces améliorations s'expliquent par les modifications apportées aux techniques de codage et de modulation [12,13].

6.2 DVB-C (Digital Video Broadcasting- Cable)

C'est l'application de la norme DVB conçue pour la transmission de la vidéo numérique via les câbles, développée en 1994 pour assurer la continuité des programmes diffusés par satellite (DVB-S) [6].

Cependant, l'offre de programmes est plus restreinte par rapport à DVB-S en raison de la bande passante limitée des câbles [14].

La norme a été conçue en tenant compte des caractéristiques d'une transmission via un câble coaxial [12] :

- Une Bande de fréquence réduite à 8Mhz par canal, imposant l'utilisation d'une modulation à efficacité spectrale importante, comme 64-QAM.
- Un Signal très protégé et amplifié avec un bon rapport signal bruit.
- Des Perturbations engendrées par la désadaptation de la prise utilisateur, nécessitant l'utilisation d'un décodeur équipé d'un circuit correcteur d'échos.

- Des débits binaires autorisés allant jusqu'à 38,5 Mbits/s.

DVB-C n'est pas compatible avec DVB-T, cependant certains téléviseurs en Europe sont équipés des tuners mixtes DVB-T/DVB-C [15].

6.2.1 DVB-C2

Une nouvelle version de DVB-C a été approuvée en avril 2009. Elle permet d'améliorer de 30% l'efficacité spectrale. DVB-C2 autorise des débits binaires allant jusqu'à 83,1 Mbit/s sur une bande passante de canal de 8 MHz lors de l'utilisation de la modulation 4096-QAM. Les futures extensions permettront jusqu'à 97 Mbit/s et 110,8 Mbit/s par canal en utilisant la modulation 16384-QAM et 65536-AQAM [16].

6.3 DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial)

C'est la norme utilisée pour la diffusion de la télévision numérique terrestre (TNT), publiée en 1997 [6]. Elle définit une méthode de transmission d'un flux de données MPEG-2 via des émetteurs terrestres.

Le DVB-T exploite la bande de fréquences de transmission UHF. Elle permet d'économiser l'utilisation des fréquences en employant la même fréquence pour des émetteurs qui couvrent des zones adjacentes. Ce principe exige une synchronisation temporelle et fréquentielle de tous les émetteurs du réseau. Elle s'appuie sur l'utilisation de la modulation OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) avec une concaténation du codage canal COFDM (Coded orthogonal Frequency-division Multiplexing) pour éviter les échos dus aux mauvaises conditions de réception et aux multi trajets.

Cette norme prend compte les contraintes d'une transmission hertzienne [7,8] :

- Une bande passante limitée à 8Mhz.
- Une atténuation forte au niveau de récepteur.
- Un rapport signal bruit SNR limité à 18,6dB.
- Des interférences avec les canaux adjacents.
- Des Interférences Inter-Symbole (IIS) liées à des multi trajets longs (distance et temps de propagation importants).
- Une présence de bruit impulsif dû aux moteurs et aux équipements électriques.

6.3.1 DVB-T2

En 2006, le groupe DVB élaborait une amélioration à la norme DVB-T. DVB-T2 s'appuie sur la compression de données avec la norme MPEG-4 [7]. Elle permet une utilisation plus efficace du spectre radio et une augmentation du débit utile. Avec les mêmes capacités en bande passante, on peut transmettre plus de programmes en même temps avec une meilleure qualité, notamment la TV HD [17].

6.4 DVB-H (Digital Video Broadcasting-Handheld)

C'est une technologie destinée à une réception de la télévision numérique sur des terminaux mobiles. Elle a été normalisée par l'ETSI en 2004. C'est une adaptation de DVB-T avec la capacité à servir des récepteurs mobiles. Elle garantit un canal de haut débit utilisé pour les flux vidéo et audio et le téléchargement de fichiers, offrant également de nombreux autres services aux fournisseurs de contenus [12]. Tandis que DVB-T permet la retransmission de 4 programmes par canal, DVB-H en permet 10 fois plus [14].

DVB-H adopte MPEG-4-AVC pour l'encodage de vidéo, et AAC, HE-AAC, HE-AAC-V2 pour l'audio. Il utilise la modulation COFDM, ce qui permet la résistivité aux échos et renforce la réception mobile. Ces principales concurrents ISDB-T, T-DMB et les réseaux mobiles [8].

7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'évolution de la télévision jusqu'à la numérisation qui a marqué un tournant décisif dans ce domaine. Ensuite nous nous sommes intéressées au standard DVB, son historique, son étendu dans le monde et ses différentes normes.

Chapitre II : Les chaines de transmission DVB-T et DVB-S

1 Introduction

Motivée par les avantages du numérique et l'échéance fixée par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) pour l'arrêt de la diffusion en mode analogique, l'Algérie a commencé à arrêter progressivement la diffusion des émetteurs TV analogiques en adoptant les normes DVB-T et DVB-S ainsi que leurs deuxièmes générations.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les chaines de transmissions DVB-T et DVB-S ainsi que leurs évolutions.

2 La chaine de transmission DVB-T

2.1 Emission

La chaine d'émission DVB-T est une suite d'équipements qui réalise l'adaptation des signaux en bande de base en sortie du multiplexeur de transport MPEG-2 au canal de transmission terrestre [18].

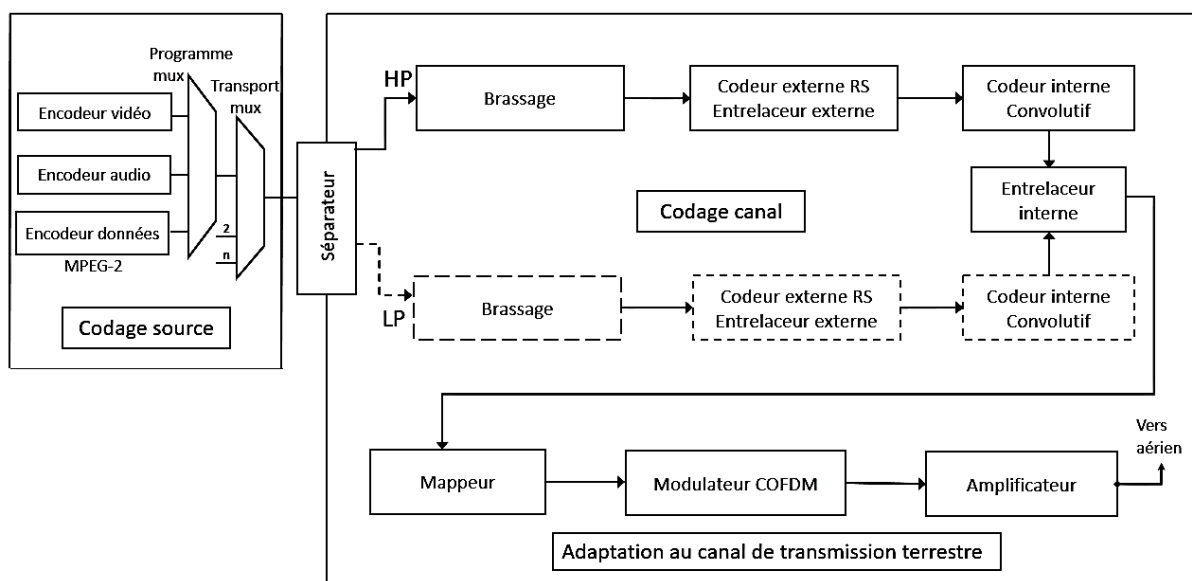


Figure 4: Synoptique de la chaine d'émission DVB-T [7,18].

2.1.1 Codage source

2.1.1.1 MPEG-2

MPEG-2 est la norme de seconde génération développée par Moving Picture Experts Group en 1994, qui définit les aspects de compression de l'image et du son. La norme MPEG-2 a été largement adoptée pour les diffusions de télévisions numériques, notamment pour le standard DVB.

2.1.1.2 Flux de transport

a. Flux MPEG-TS

MPEG-TS est créé en regroupant plusieurs flux multiplexés en un seul fichier dans le but de synchroniser efficacement ces différents flux pour une lecture cohérente et optimale. C'est-à-dire il permet de combiner et organiser divers contenus audiovisuels pour une diffusion efficace et synchronisée.

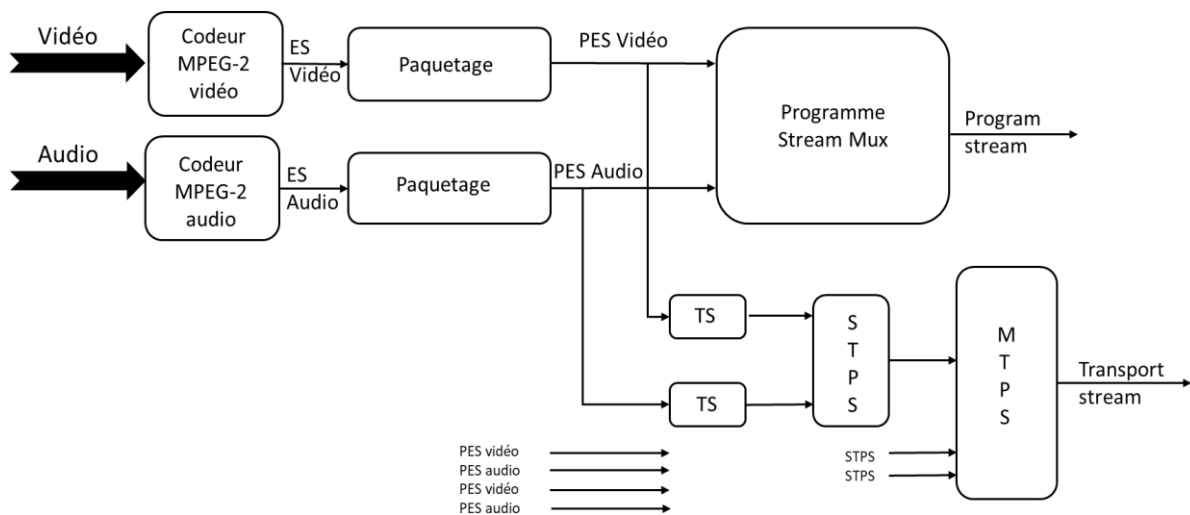


Figure 5: Synoptique générale de l'organisation des données [19].

b. Flux ES

L'ES (Elementary Stream) est le signal brut en sortie de compression. Il contient uniquement les données nécessaires au décodeur pour reconstituer la séquence vidéo ou audio de la manière la plus fidèle que possible à l'originale.

c. Flux PES

Le PES (Packetized Elementary Stream) est issu de la mise en paquet des flux ES. Chaque paquet PES peut contenir la totalité ou une partie d'un flux élémentaire audio ou vidéo et des informations, qui lui sont ajoutées, nécessaires pour la transmission.

d. Flux TS

Le flux de transport est fait de plusieurs paquets de transport, qui sont des unités de base caractérisés d'une longueur fixe de 188 octets.

e. SPTS

Les PES vidéo sont découpés en TS vidéo, les PES audio en TS audio. Un SPTS (Single Program Transport Stream) est obtenu à partir du multiplexage des TS audio et vidéo d'un même programme.

f. MPTS

Les SPTS de plusieurs programmes sont ensuite multiplexés pour obtenir un MPTS (Multiple Program Transport Stream).

2.1.2 Codage canal

Lors de la transmission du flux MPEG-2 obtenu après le codage source, le canal de transmission peut subir des perturbations ou du bruit, entraînant ainsi des erreurs de transmission. Il est donc nécessaire de mettre en place des mesures de sécurité pour garantir l'intégrité de données transmises [18].

a. Mode hiérarchique : pour une transmission plus robuste, les données MPEG-2 TS sont partagées (par un séparateur) en termes de priorité en deux flux protégés différemment.

Flux haute priorité HP (High Priority) : transport de données à faible débit binaire et à forte protection d'erreurs.

Flux basse priorité LP (Low Priority) : transport de données à haut débit avec moins de protection.

Dans le mode hiérarchique, on peut distinguer deux modes de transmission : **le mode simulcast** où les mêmes programmes sont transmis sur les deux flux, et **le mode**

multiprogramme où le flux à basse priorité a la possibilité de contenir des programmes différents de ceux du flux à haute priorité.

- b. Mode non hiérarchique :** contrairement au mode hiérarchique, dans le mode non hiérarchique il n'y a pas de distinction entre les flux de données en termes de priorité. La séparation n'est plus nécessaire, toutes les données sont transmises de manière égale avec le même niveau de protection.

2.1.2.1 Le brassage

Le brassage dans un canal de transmission a pour objectif d'éliminer les longues suites de 0 et de 1 afin d'augmenter le nombre de transitions de signal et ainsi faciliter la récupération de l'information. Le principe de brassage des données est de mélanger la séquence à transmettre avec une séquence pseudo aléatoire définie par la norme DVB 10010101000000 [18].

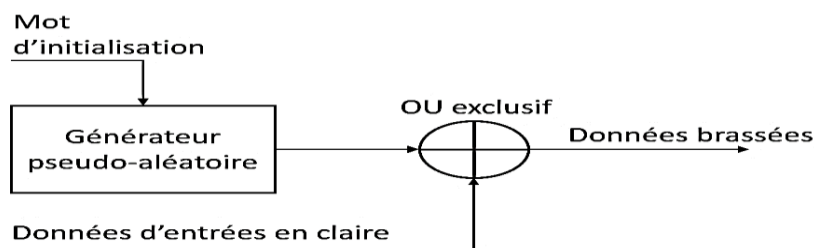


Figure 6: Principe de brassage [18].

2.1.2.2 Codage externe (Code Reed-Solomon)

En DVB-T, le code RS (204, 188, T=8) est utilisé pour optimiser la correction des paquets d'erreurs, il sert à ajouter 16 octets de redondance aux paquets de 188 octets brassés y compris l'octet de synchronisation, ressortent alors avec une taille de 204 octets. Ce code offre une capacité de correction de 8 octets groupés ou isolés [18].

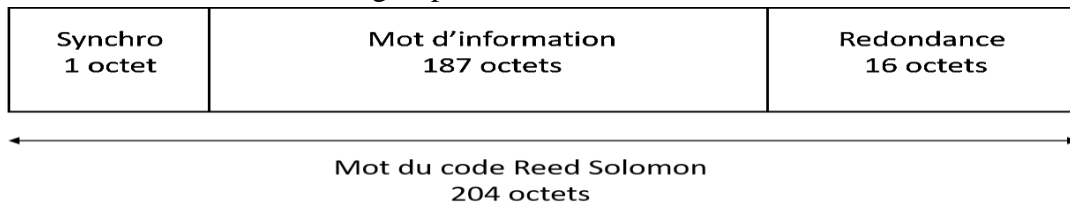


Figure 7 : Trame DVB après le codage RS [9].

2.1.2.3 Entrelacement externe

La capacité de correction d'erreurs de code Reed Solomon est beaucoup moins efficace à la capacité de correction d'erreurs isolées. Au moyen d'un entrelaceur, on divise les paquets d'erreurs trop longs en erreurs isolées pour faciliter leur correction. A la réception l'ordre initial des échantillons des paquets est rétabli. L'entrelacement sert donc à optimiser l'efficacité de code RS [7].

2.1.2.4 Codage interne (code convolutif)

Le canal de transmission hertzien est un canal fortement perturbé, le code convolutif est ajouté pour renforcer la protection des données à transmettre.

Chaque bit dépend non seulement des bits présents à l'entrée mais aussi de bits précédents, de sorte de trouver sa valeur en cas de problèmes (l'effet de mémoire) [18].

Il est caractérisé par un rendement de $\frac{1}{2}$ et une longueur contrainte égale à 7 bits.

Le bit 1 de sortie est un "OU exclusif" entre les bits 1, 2, 3, 4 et 7 tandis que le bit 2 de sortie est un "OU exclusif" des bits 1, 3, 4, 6 et 7 [7].

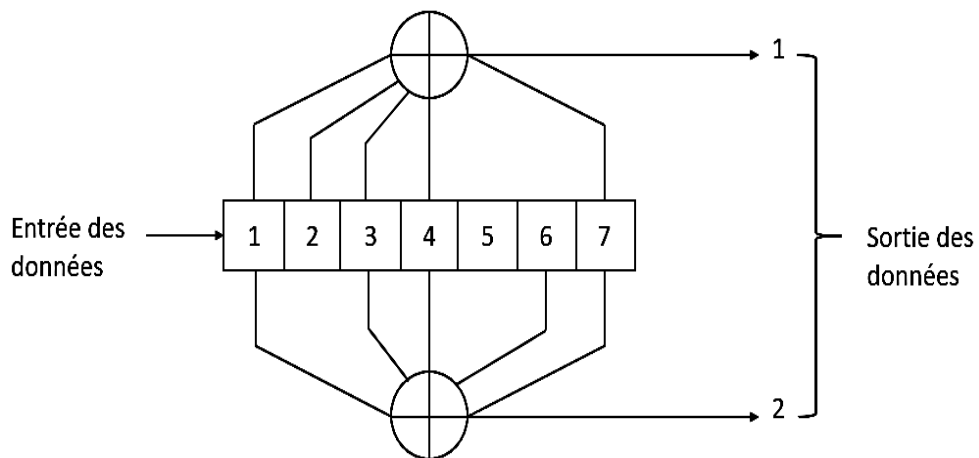


Figure 8: Codage convolutif DVB [7].

L'inconvénient de codeur ayant un rendement de $\frac{1}{2}$ est qu'il double de débit initial. C'est pour cette raison qu'on effectue une opération de poinçonnage [7].

Le poinçonnage consiste à améliorer le rendement en ne transmettant pas certains bits sortants du codeur convolutif ce qui permet de réduire le débit total en sortie de ce codeur. On parle alors de FEC (Forward Error Correction) [9]. Il existe cinq taux de codage valides :

Nombre de bit en entrée	Nombre de bit en sortie	Nombre de bit transmis	FEC
1	2	2	1/2
2	4	3	2/3
3	6	4	3/4
5	10	6	5/6
7	14	8	7/8

Tableau 1: Rendement du codeur poinçonnage (FEC) [9].

2.1.2.5 Entrelacement interne

Cette fois, une technique d'entrelacement temporel est utilisée pour protéger contre les erreurs qui se produisent de manière continue sur de courtes périodes de temps. L'idée est de réorganiser les bits de données individuels ou les petites séquences de bits pour disperser les erreurs temporelles. Cela se fait par deux techniques d'entrelacement distincts [18] :

- **Entrelacement symbole** : supprimer la corrélation des erreurs sur des symboles transmis sur des porteuses consécutives d'un même symbole OFDM.
- **Entrelacement bit** : supprimer la corrélation des erreurs par symbole QAM avant le décodage Viterbi.

2.1.2.6 Mappeur

Le mappeur est un modulateur numérique. Il permet d'affecter l'information binaire en points de constellation donnée. Les constellations admissibles en DVB-T sont 16-QAM et 64-QAM [20].

2.1.2.7 Modulation COFDM

En raison de sa résilience aux interférences et perturbations rencontrés dans les environnements terrestres, tels que les obstacles urbains et les réflexions causées par les trajets multiples, la modulation COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est préférée dans la norme DVB-T. C'est une modulation OFDM associée à des codes correcteurs d'erreurs.

Cette technique consiste à diviser le signal à transmettre en plusieurs sous porteuses orthogonales, chacune étant modulées individuellement en utilisant la modulation QAM (Quadrature Amplitude modulation), en mode 16-QAM ou 64-QAM.

- Les sous porteuses orthogonales permettent une utilisation efficace de spectre et une réduction des interférences inter symboles.
- Les symboles modulés sur chaque sous-bande de fréquences sont multiplexés dans le temps pour former un seul flux de données.
- Des intervalles de garde sont insérés devant chaque symbole pour éviter les interférences inter porteuses lors de passage de canal.

Le tableau 2 représente les deux modes OFDM utilisés en DVB-T.

Paramètre	Mode 2k				Mode 8k			
Bande passante	8MHz				8MHz			
Nombre de porteuses	1705				6817			
Nombre de porteuses utiles	1512				6048			
Durée de symbole utile	224 μ s				896 μ s			
Espacement entre porteuse	1116 Hz				4464 Hz			
Modulation des porteuses	QPSK	16-QAM	64-QAM		QPSK	16-QAM	64-QAM	
Largeur d'intervalle de garde	$T_s/4$	$T_s/8$	$T_s/16$	$T_s/32$	$T_s/4$	$T_s/8$	$T_s/16$	$T_s/32$

Tableau 2: Paramètres des modes OFDM 2k et 8k [9].

➤ Modulation QAM

En Algérie, pour la norme DVB-T, le mode de modulation choisie est la 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation à 64 états). C'est une modulation par modification d'amplitude et de phase d'un signal porteur, où chaque symbole transporte 6 bits d'information. Dans cette technique, les deux signaux d'entrée sont déphasés de 90 degrés l'un par rapport à l'autre, ce qui est désigné par le terme "quadrature".

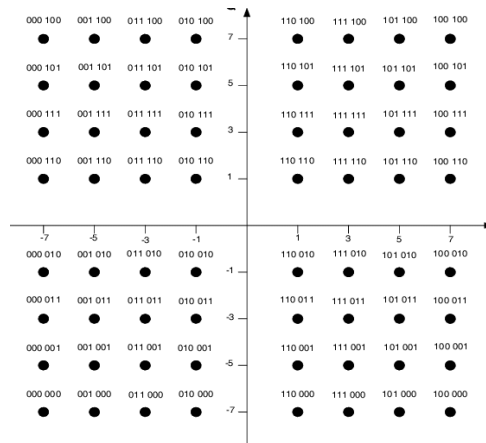


Figure 9: Diagramme de constellation 64-QAM.

2.1.2.8 Amplificateur

Le signal modulé est converti en signal RF (Radio Fréquence) pour la transmission terrestre. Ce signal est relativement faible et nécessite un amplificateur pour augmenter sa puissance à un niveau suffisant pour la transmission à longue distance.

2.2 Transmission hertzienne

Le signal est transmis via une antenne sur les bandes des fréquences UHF conçues pour la télévision numérique terrestre (DVB-T) en raison de sa capacité à offrir une bonne qualité de signal et une couverture étendue.

2.3 Réception

Comme à l'émission, le récepteur possède les mêmes opérations en inverse (le démodulateur qui reconstruit le signal, le démultiplexeur pour extraire les flux de données en entrée, et les décodeurs qui traitent ces données) [7].

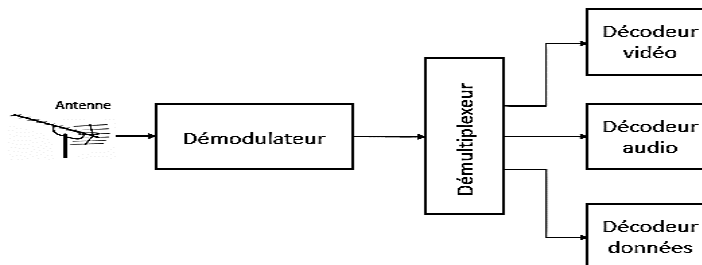


Figure 10: Chaîne générale d'une réception TNT.

2.3.1 Démodulation

Les étapes inverses de la modulation OFDM sont effectuées, du décodage convolutif, et du décodage Reed-Solomon pour récupérer le flux de transport MPEG-2 original.

2.3.1.1 Décodeur Viterbi

L'algorithme de Viterbi est utilisé dans la réception pour décoder les signaux transmis avec des codes de correction d'erreur convolutifs. Il sert à corriger les erreurs introduites lors de la transmission d'informations sur un canal bruité.

Cet algorithme vise à trouver la séquence d'états la plus probable qui aurait produit la séquence mesurée. Au lieu d'examiner toutes les possibilités de séquences de bits, l'algorithme de Viterbi explore de manière efficace les chemins les plus probables à travers un treillis basé sur la

connaissance du canal bruité. Cela permet de reconstruire efficacement la séquence de données d'origine avec moins de complexité et même en présence d'erreurs de transmission [7].

2.3.2 Démultiplexage et décodage

Le flux de transport est enfin démultiplexé et les flux vidéo et audio sont décompressés et envoyés au décodeur pour l'affichage sur le téléviseur.

3 DVB-T2

La DVB-T2 est une évolution de la DVB-T. Elle permet d'optimiser environ 40% de bande passante par rapport à l'ancienne génération.

La norme DVB-T2 repose sur des techniques spécifiques [1] :

- L'utilisation des normes MPEG-4 et H-265 pour la compression.
- L'emploi des codages LDPC (Low-Density Parity Check) et BCH (Bose, Ray-Chaudhuri et Hocquenghem).
- FEC : 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5 et 5/6.
- Largeur de bande flexible : 1,7, 5, 6, 7, 8 et 10 Mhz.
- Modulation COFDM avec des constellations avancées : QPSK, 16-QAM, 64-QAM ou 256-QAM.
- Les modes OFDM sont 1k, 2k, 4k, 8k, 16k, et 32k.
- 1/128, 1/32, 1/16, 1/4, 1/8, 19/256 et 19/128 comme intervalles de garde.

3.1 Les normes de compression

3.1.1 MPEG-4

Le MPEG-4 est un ensemble de normes utilisé pour la compression des signaux vidéo et audio, élaboré par le "Moving Picture Experts Group" en 1998. Il permet de minimiser le poids des flux pour faciliter leur diffusion. Il est constitué de 27 parties offrant différents algorithmes et niveaux de qualité [4].

3.1.2 H-265

H-265 ou HEVC (High Efficiency Video Coding), est une norme de compression utilisée dans la télédiffusion numérique. H-265 utilise un algorithme d'encodage bien plus à jour, ce qui lui permet de proposer une image de qualité, notamment en Full HD, une résolution de 8192×4320 et une efficacité accrue de la bande passante [21].

3.2 Les codages avancés

3.2.1 BCH

Le code BCH reprend les initiales de ses inventeurs : Bose, Ray-Chaudhuri et Hocquenghem, est un code correcteur d'erreurs aléatoires, il peut être à plusieurs niveaux, cyclique et à longueur variable.

Le code BCH offre un contrôle précis des erreurs dans l'encodage, permettant de corriger plusieurs erreurs de bits. Ils sont utilisés dans les applications où la latence est critique et où les corrections d'erreur élevées sont nécessaires.

3.2.2 LDPC

Les codes de contrôle de parité à faible densité (LDPC) sont des codes correcteurs d'erreurs. En utilisant les codes LDPC, certaines capacités du canal approchent la limite théorique de Shannon rendant la transmission presque idéale.

Souvent utilisés dans les systèmes nécessitant une efficacité spectrale élevée et une faible complexité de décodage, ils sont utilisés notamment dans la transmission télévisée terrestre de

seconde génération car ils optimisent l'efficacité de la correction d'erreur et réduisent les erreurs de transmission.

4 Comparaison entre DVB-T et DVB-T2

Ce tableau procure une vue globale sur les différences entre le DVB-T et le DVB-T2 :

Standard	DVB-T	DVB-T2
Modulation	16- QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM
Intervalles de garde	1/32, 1/16, 1/4, 1/8	1/128, 1/32, 1/16, 1/4, 1/8, 19/256 et 19/128
Mode OFDM	2K, 8K	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Codage interne	Code convolutif	LDPC
Codage externe	Reed-Solomon	BCH
Transport	Single transport stream TS	Multiple transport stream et Generic Stream Encapsulation (GSE)
Compression	MPEG-2	MPEG-4, HEVC 265

Tableau 3: Comparaison entre DVB-T et DVBT-2 [22].

5 La chaîne de transmission DVB-S

L'évolution croissante des télécommunications par satellite a mené à la standardisation de la norme DVB-S, devenue essentielle dans le domaine de la diffusion télévisuelle. Fondée sur l'échange de données au format MPEG-2 via une liaison satellitaire, cette norme représente une méthode fiable et efficace pour la distribution mondiale de contenus audiovisuels à travers le globe.

Le schéma illustré dans la figure 11 décrit les principaux composants de la chaîne d'émission-réception satellitaire.

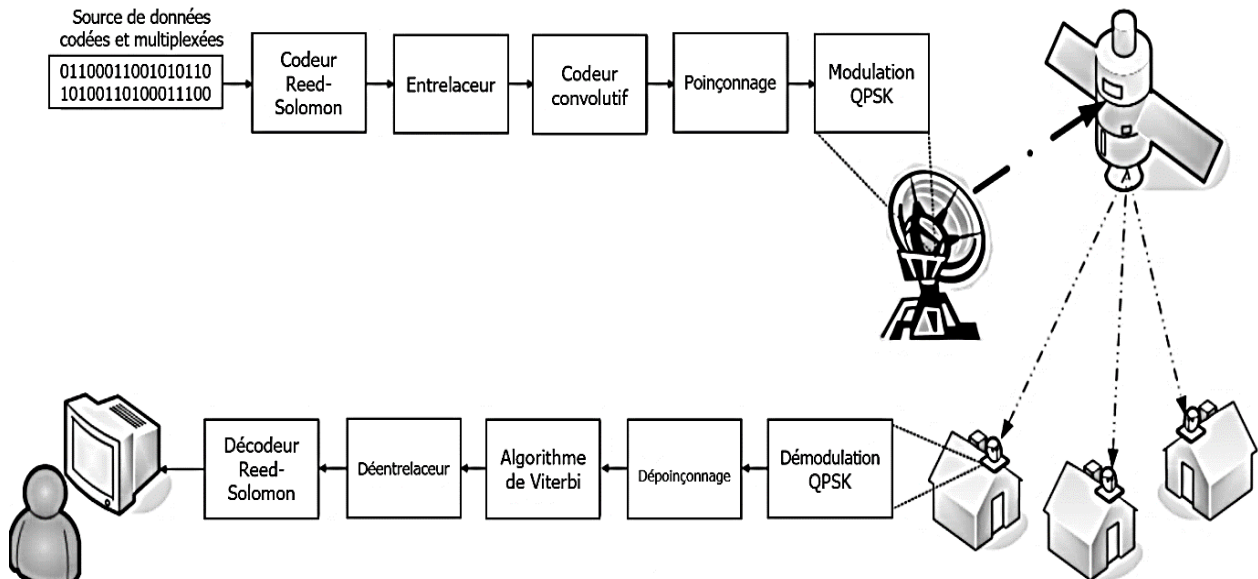


Figure 11: Chaîne simplifiée d'émission et de réception DVB-S [23].

5.1 Paramètres de la chaîne DVB-S

La norme de transmission satellitaire repose sur les mêmes étapes que la transmission terrestre, les seules différences consistent en le changement de la technique de modulation pour mieux s'adapter au canal de transmission ainsi que les antennes de réception.

Ce tableau résume les paramètres de la chaîne DVB-S, configurés pour garantir la continuité de la transmission des signaux, avec une meilleure robustesse face au canal bruité.

Paramètres d'une chaîne DVB-S	
Codage vidéo	MPEG-2
Codage audio	MPEG-1
Longueur de paquets transportés	188 octets
Polynôme de brassage	$1 + X^{14} + X^{15}$
Codeur de Reed-Solomon	204,188, T=8
Entrelacement convolutif	12 blocs
Codeur convolutif	171, 133
Modulation	QPSK
Largeur de canal	De 26 à 36 MHz
Débit	23,7 à 41,5 Mb/s

Tableau 4: Principaux paramètres d'une chaîne DVB-S [23].

5.1.1 Modulation QPSK

Les signaux transmis par satellite doivent parcourir de longues distances à travers l'espace, ce qui peut entraîner des atténuations importantes et des distorsions.

La modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) est choisie en raison de sa robustesse face à ces perturbations permettant ainsi une récupération plus fiable des signaux.

Pour transporter l'information, la QPSK ou la 4-PSK module la phase de la porteuse. Son principe repose sur l'encodage de deux bits de données par symbole, offrant ainsi quatre valeurs

de phases. Les symboles sont disposés sur un cercle, ce qui garantit une énergie identique pour transmettre chaque symbole.

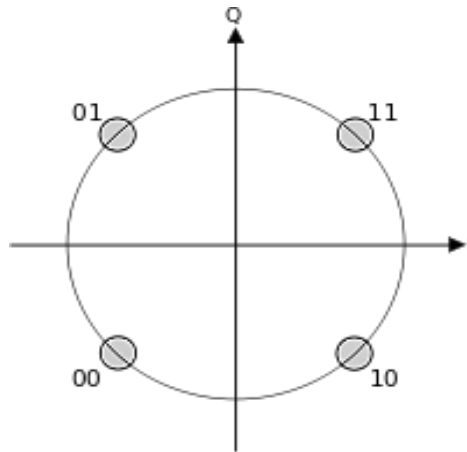


Figure 12 : Diagramme de constellation QPSK.

6 DVB-S2

Créé dans les débuts des années 2000, le DVB-S2 est une amélioration de la génération précédente de la transmission de la vidéo numérique via satellite. Les performances de cette norme sont très proches des valeurs théoriques, nous permettant ainsi une meilleure efficacité de la bande passante, de la qualité d'image et du son et une résistance plus optimale pour les changements de météo (pluie, orages, vent...).

Le DVB-S2 nous permet l'introduction de nouvelles applications notamment l'accès internet et la diffusion des formats haute définition.

Les principales modifications apportées sont :

- Codages avancés : le DVB-S2 utilise une concaténation de code BCH et du code LDPC.
- Modulations : QPSK, 8-PSK, 16-APSK et 32-APSK.
- Plusieurs formats de données : la norme DVB-S2 supporte des formats MPEG-4 et des formats génériques comme IP, permettant ainsi la transmission des données sous leurs formats naturels, sans besoin de les encapsuler dans des trames MPEG [24].
- FEC : 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 2/3, 3/5, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 et 9/10.

7 Comparaison entre DVB-S et DVB-S2

La comparaison entre les deux normes DVB-S et DVB-S2 se résume dans le tableau 6.

Standard	DVB-S	DVB-S2
Codage	Viterbi, Reed-Solomon	LDPC, BCH
Modulation	QPSK	QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK
Compression	MPEG-2	MPEG-2, MPEG-4
Débit binaire	23,7 à 41,5 Mb/s	36 à 51Mb/s

Tableau 5: Comparaison entre DVB-S et DVB-S2 [17].

8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les différentes normes du DVB utilisées en Algérie, montrant leur fonctionnement avec des chaines de transmission et leurs caractéristiques techniques distinguées. Ainsi nous avons fait des comparaisons entre chaque norme et sa version améliorée.

Chapitre III : Modélisation d'une chaîne DVB-T

1 Introduction

Ce chapitre est basé sur la modélisation et la simulation de la chaîne de transmission DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial). Dans la première partie, nous allons d'abord nous intéresser au logiciel MATLAB/SIMULINK, ainsi que la description des différents blocs utilisés pour simuler la chaîne DVB-T. La deuxième partie sera consacrée à la discussion et interprétation des résultats de la simulation.

2 Présentation du logiciel MATLAB/SIMULINK

MATLAB, abréviation de MATrix LABoratory qui est un logiciel de calcul matriciel et de programmation, permettant l'analyse des données, le développement et l'exécution des algorithmes et la création des modèles.

Il est développé par l'entreprise Math Works en 1984, écrit en c, c++, fortran et java et disponible dans plusieurs environnements tels que linux, Unix, Mac OS et Windows.

Matlab est utilisé dans les domaines d'apprentissage automatique, le traitement du signal, la vision par ordinateur, les communications, la conception de contrôleurs, la finance computationnelle et bien plus.

SIMULINK, est l'extension graphique de Matlab permettant la modélisation, la simulation et l'analyse des systèmes dynamiques à partir des schémas ou des modèles en blocs.

➤ Pour démarrer SIMULINK

Dans l'espace HOME de MATLAB, il faut cliquer sur New et choisir Simulink model.

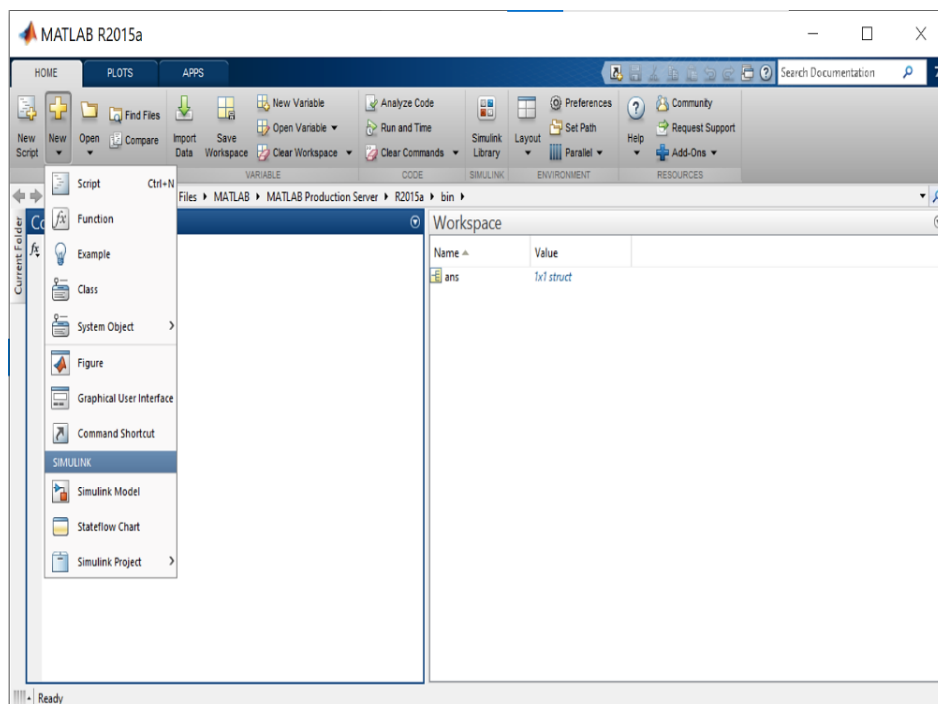


Figure 13: Espace de travail de MATLAB.

La fenêtre Simulink va s'ouvrir tel que représente sur la figure 14.

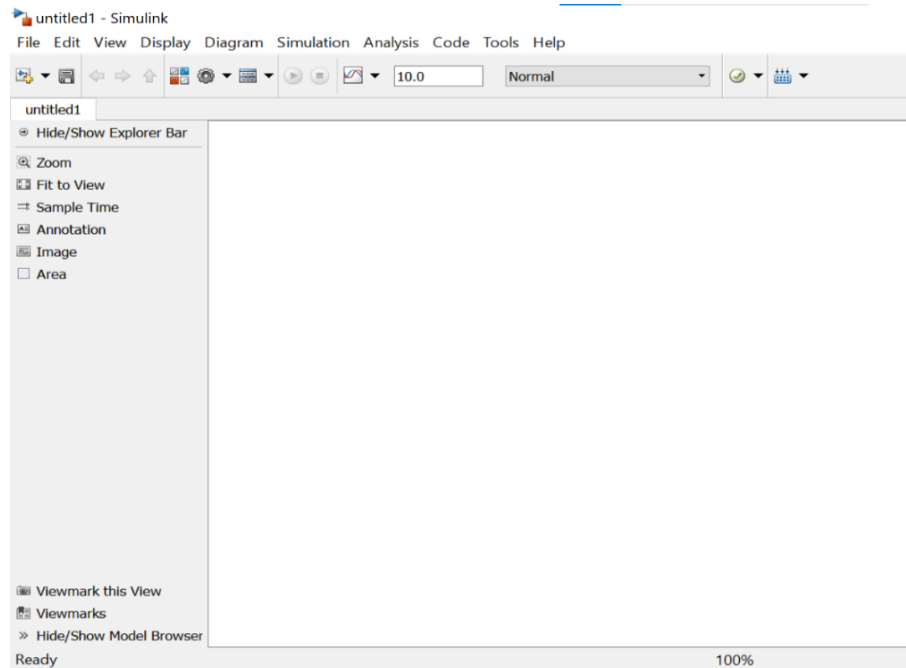



Figure 14 : Fenêtre Simulink.

MATLAB Simulink propose une bibliothèque nommée Simulink Library Browser, accessible en cliquant sur l'icône suivante . Cette bibliothèque permet la recherche des différents blocs que nous avons utilisés dans ce travail.

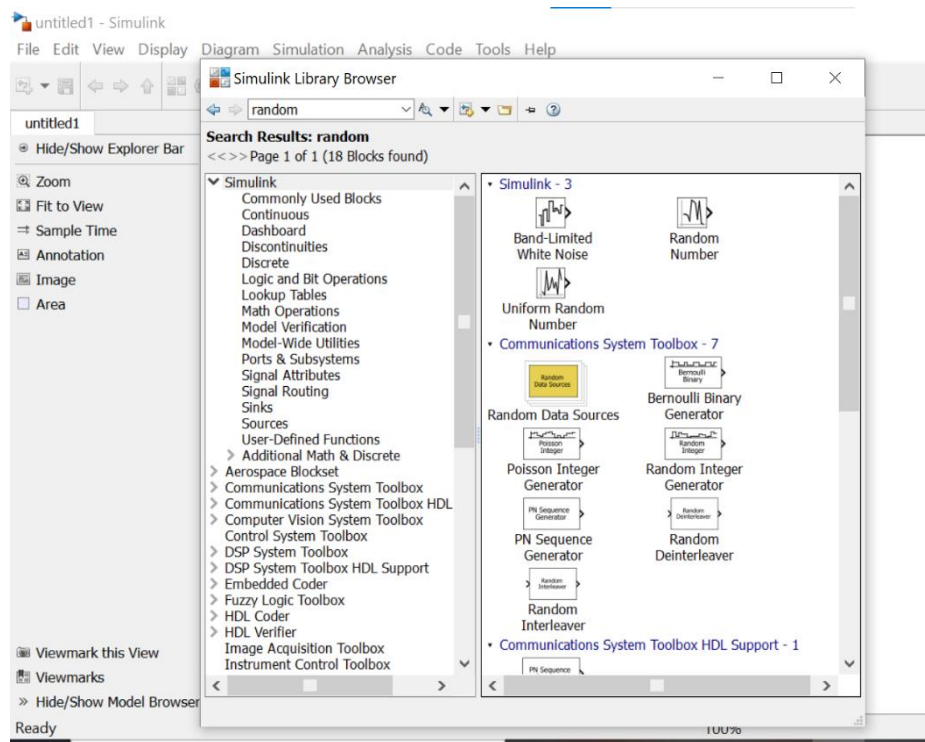


Figure 15: Bibliothèque Simulink.

3 Modèle Simulink de la chaîne de transmission DVB-T

La réalisation d'une simulation pour la norme DVB-T consiste à assembler des blocs et chaque bloc réalise une fonction. La figure 16 représente un modèle de la chaîne DVB-T réalisée sous Simulink.

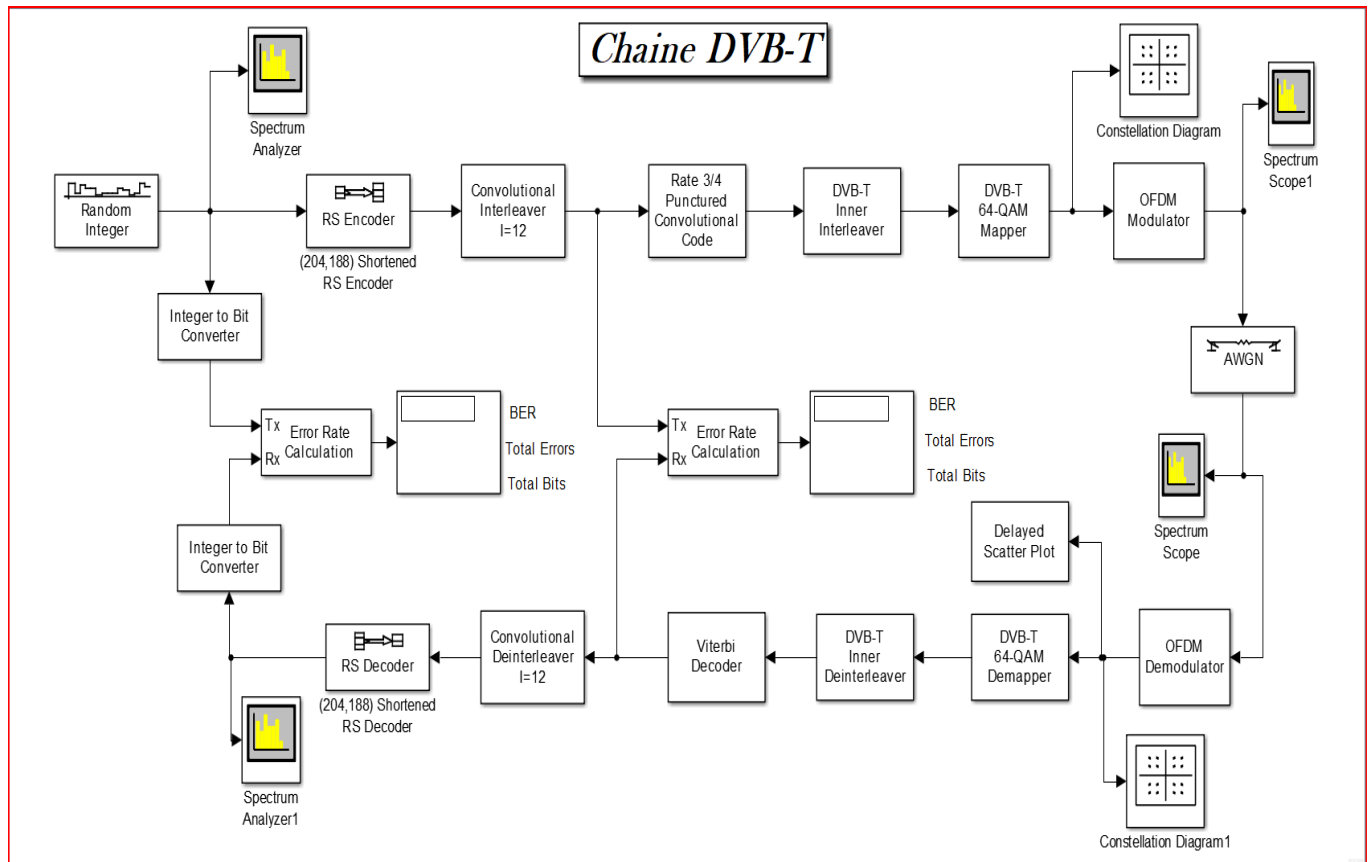


Figure 16: Chaîne DVB-T sous Simulink.

Les différents blocs de ce modèle sont décrits ci-dessous :

3.1 Emission

3.1.1 Random integer

Le bloc générateur Random Integer, génère des entiers aléatoires uniformément distribués dans une plage spécifique.

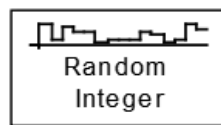


Figure 17 : Bloc Random Integer.

3.1.2 RS Encoder

Le bloc RS Encoder permet d'encoder les données à l'aide du code Reed-Solomon qui est utilisé pour protéger les données contre les erreurs de transmission en ajoutant des bits de redondances.

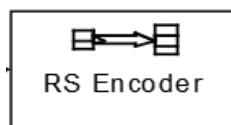


Figure 18: Bloc RS Encoder.

3.1.3 Convolutional encoder

3.1.3.1 Convolutional interleaver

Le bloc Convolutional Interleaver ou entrelaceur, est un composant qui permet de réorganiser les données avant qu'elles ne soient transmises ou stockées, afin de renforcer leur robustesse contre les erreurs de transmission ou d'interférence. Il fonctionne en entrelaçant les données suivant un processus prédéfini, de manière à minimiser les effets des erreurs sur des bits consécutifs.

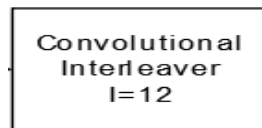


Figure 19: Bloc Convolutional Interleaver.

3.1.3.2 Punctured Convolutional Code

Punctured Convolutional Code est un bloc utilisé pour encoder les données à l'aide de codes convolutifs avec perforation. Ces derniers sont une extension des codes convolutifs traditionnels, où certains bits de sortie de l'encodeur sont retirés (punctured) afin de réduire la redondance et d'améliorer l'efficacité.

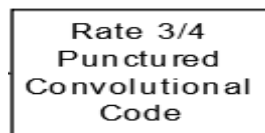


Figure 20: Bloc Punctured Convolutional Code.

3.1.4 DVB-T Inner Interleaver

Le DVB-T Inner Interleaver, ou entrelaceur interne, est un composant essentiel du standard de diffusion numérique DVB-T, permettant de réorganiser les données pour améliorer la robustesse du système contre les erreurs et interférences. Dans Simulink, cet entrelaceur est implémenté en utilisant des blocs de traitement du signal.



Figure 21: Bloc DVB-T Interleaver.

3.1.5 DVB-T 64-QAM Mapper

Le bloc modulateur 64-QAM module le signal d'entrée en utilisant la modulation d'amplitude en quadrature avec 64 symboles possibles. La sortie est une représentation en bande de base du signal modulé.

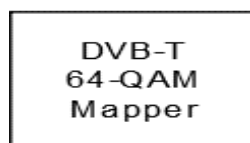


Figure 22 : Bloc DVB-T 64-QAM Mapper.

3.1.6 OFDM Modulator

Le bloc modulateur OFDM module un signal dans le domaine fréquentiel à l'aide de la méthode de multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM) qui sert à gérer efficacement les interférences et à offrir une bonne résistance aux distorsions du canal.



Figure 23: Bloc OFDM Modulator.

3.2 AWGN Channel

Le bloc AWGN Channel ajoute un bruit blanc gaussien à un signal réel ou complexe. Il est souvent adopté dans les communications numériques pour évaluer la robustesse des systèmes de transmission face au bruit.

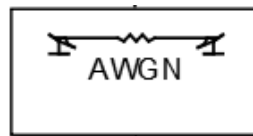


Figure 24: Bloc AWGN Channel.

3.3 Réception

3.3.1 OFDM Demodulator

Le bloc démodulateur OFDM démodule le signal OFDM reçu pour extraire les données originales.

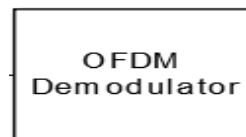


Figure 25: Bloc OFDM Demodulator.

3.3.2 DVB-T 64-QAM Demapper

Le bloc DVB-T 64-QAM Demapper permet de démoduler le signal modulé en 64-QAM reçu et ainsi récupérer le signal de base transmis.

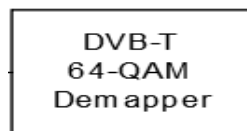


Figure 26: Bloc DVB-T 64-QAM Demapper.

3.3.3 DVB-T Inner Deinterleaver

DVB-T Inner Deinterleaver permet de désentrelacer le signal d'entrée.

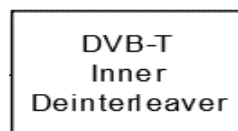


Figure 27: Bloc DVB-T Inner Deinterleaver.

3.3.4 Décodeur Viterbi

Le bloc Viterbi Decoder décode les données reçues qui ont été précédemment codées à l'aide le code convolutif, en utilisant l'algorithme de décodage de Viterbi.



Figure 28: Bloc Viterbi Decoder.

3.3.5 Convolutional Deinterleaver

Le bloc Convolutional Deinterleaver récupère le signal qui a été entrelacé à l'aide du bloc Convolutional Interleaver. Les paramètres des deux blocs doivent avoir les mêmes valeurs.

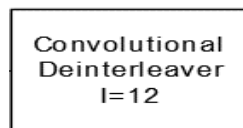


Figure 29: Bloc Convolutional Deinterleaver.

3.3.6 RS Decoder

Le bloc RS Decoder décode les données reçues à partir de bloc RS encoder. Pour un décodage correct, les valeurs des paramètres de ce bloc doivent correspondre à celles des paramètres du codeur.

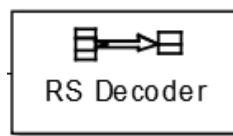


Figure 30: Bloc RS Decoder

3.4 Bocs d'affichage et de calculs

3.4.1 Spectrum Scope

Ce bloc affiche le spectre en fréquence d'un signal en temps réel. Il montre comment l'énergie du signal est répartie dans différentes fréquences à un instant donné.

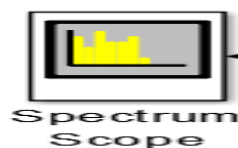


Figure 31: Bloc Spectrum Scope.

3.4.2 Error Rate Calculation

Le bloc de calcul du taux d'erreur compare les données transmises avec les données reçues et compte le nombre d'erreurs qui se sont produites pendant la transmission. Ensuite, il calcule le taux d'erreur en divisant le nombre total d'erreurs par le nombre total de bits transmis.

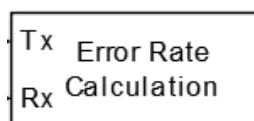


Figure 32: Bloc Error Rate Calculation.

3.4.3 Display

Le bloc Display affiche la valeur des données d'entrée. Dans ce cas, il est utilisé pour afficher les résultats du calcul du taux d'erreur binaire (BER).

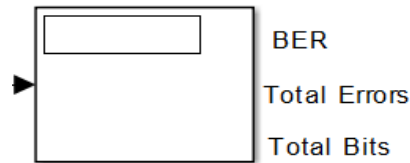


Figure 33: Bloc Display.

3.4.4 Delayed Scatter Plot

Ce bloc nous permet de visualiser le comportement du signal en utilisant des nuages de points, tout en tenant compte d'un décalage temporel entre les variables.



Figure 34: Bloc Delayed Scatter Plot.

3.4.5 Constellation Diagram

Le bloc "Constellation Diagram" permet de visualiser la constellation d'un signal modulé qui est la représentation graphique des symboles. Le digramme obtenu sert à établir des analyses de qualité et de quantité pour déterminer l'efficacité de la transmission.

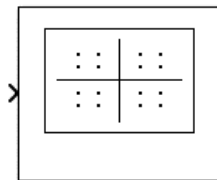


Figure 35: Bloc diagramme de constellation.

4 Résultats et interprétations

4.1 Diagramme de constellation de la modulation 64-QAM

Le but est de voir l'effet de bruit sur la modulation 64-QAM. Il suffit donc de brancher le bloc Constellation Diagram après le bloc DVB-T 64-QAM mapper et avant le bloc DVB-T demapper. Ceci nous permettra de visualiser les deux diagrammes de constellation de la 64-QAM avant et après le canal AWGN.

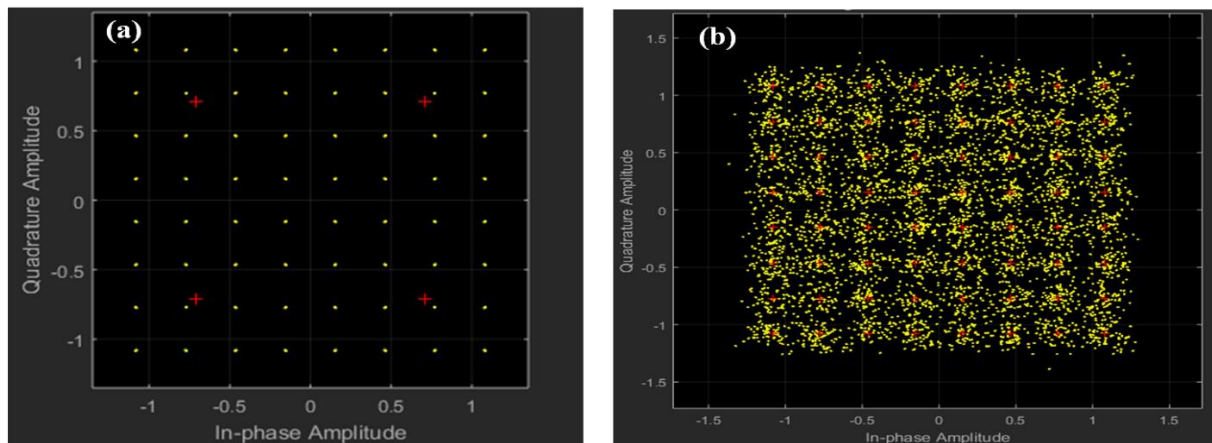


Figure 36: Diagramme de constellation, (a) avant le passage par le canal AWGN et (b) après le passage par le canal AWGN.

Le premier diagramme (a) montre les symboles modulés qui sont représentés par des points clairement définis et repartis, où chaque point est concentré autour de sa position théorique et se caractérise ainsi par sa valeur d'amplitude en phase (In) et en quadrature (Q).

Dans le deuxième diagramme (b), les points de constellation ne sont plus concentrés mais dispersés. Cette dispersion est due à l'ajout du bruit blanc gaussien, ce qui augmente le taux d'erreurs de bit (BER).

4.2 Densité spectrale de puissance

Pour observer l'effet du bruit sur la qualité de notre signal, on utilise le bloc Spectrum Analyzer que nous avons connecté avant et après le canal AWGN.

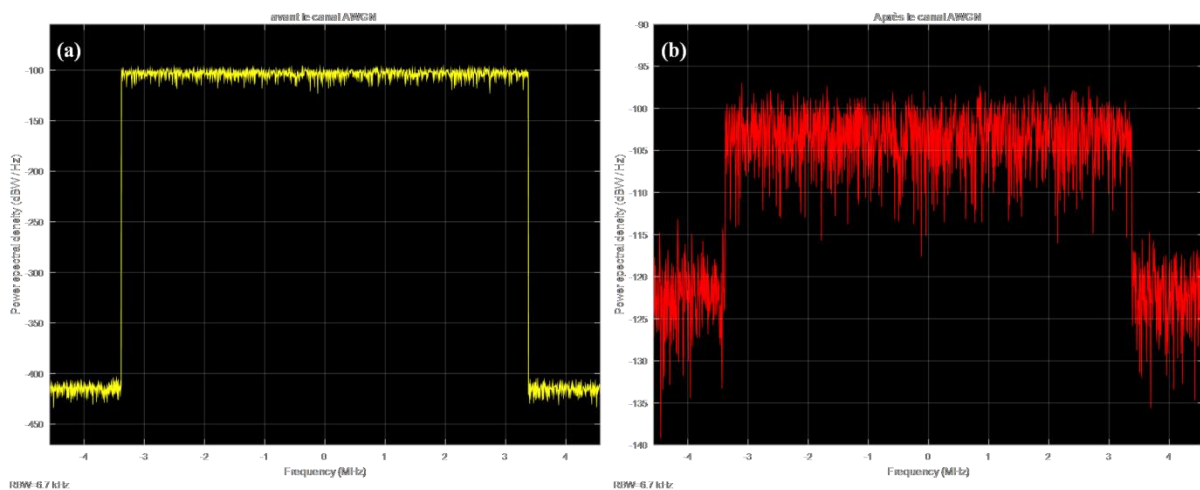


Figure 37: La densité spectrale de puissance, (a) : avant le passage par le canal AWGN et (b) : après le passage par le canal AWGN.

Avant le canal AWGN, le signal est bien défini avec une densité de puissance constante (autour de -100 dBW/Hz) sur une certaine bande de fréquence qui est à peu près de 8 MHz.

Après le passage par le canal AWGN, nous observons une augmentation significative du bruit sur toute la bande occupée, la densité de puissance varie plus largement, avec des niveaux allant de -95 dBW/Hz à environ -140 dBW/Hz.

Le bruit introduit par le canal AWGN risque de perdre une partie significative de signal utile cela se traduit par la diminution du rapport signal sur bruit SNR.

Le canal AWGN est souvent adopté dans les communications numériques pour évaluer la robustesse des systèmes de transmission face au bruit.

4.3 Signal transmis et signal reçu

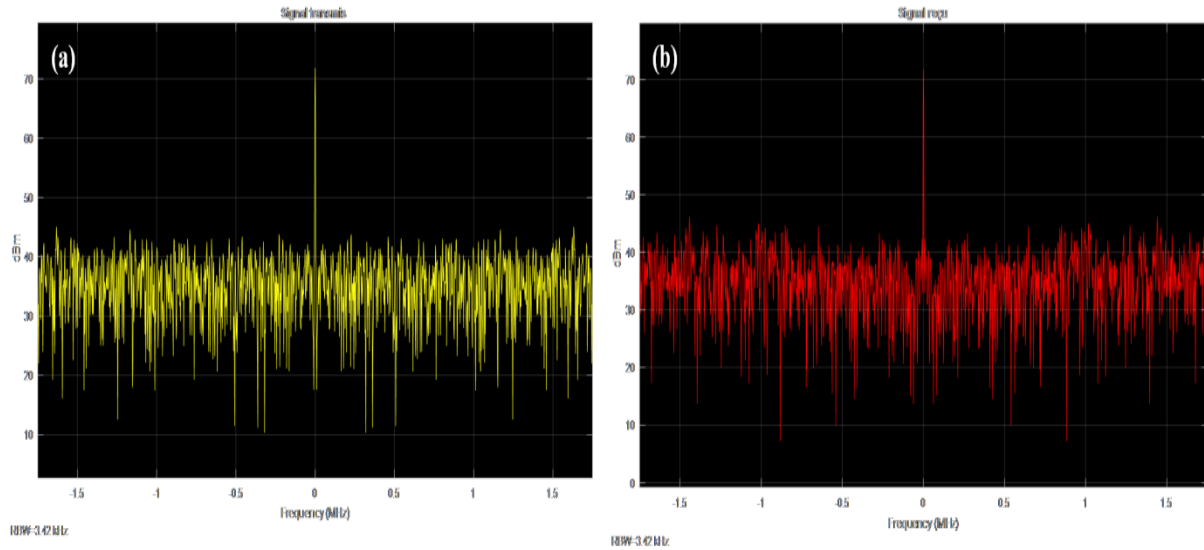


Figure 38 : (a) : le signal transmis et (b) : le signal reçu après RS décodeur.

De la même manière, nous allons visualiser les signaux émis et reçus. Le spectre représenté sur la figure (a) montre un signal OFDM propre avec une puissance relativement constante entre 30 dBm et 40 dBm sur toute la bande et nous voyons clairement la sous porteuse pilote.

Dans la figure b, nous remarquons que le spectre de puissance de signal reçu est globalement similaire à celui de signal transmis mais avec un léger changement dans sa qualité et quelques dégradations dus à la présence du bruit et aux interférences comme dans les conditions réelles, mais ceci n'affecte que légèrement sur la qualité de l'image perçue par l'humain.

Nous pouvons conclure que malgré les perturbations subit durant la transmission, le signal reste cohérent grâce à la technique de modulation OFDM et aux mécanismes de corrections d'erreurs utilisés dans la chaîne DVB-T comme le code RS et le code convolutif.

4.4 BER (Bit Error Rate)

Pour évaluer la robustesse du système de transmission DVB-T face au bruit, on fait varier le paramètre SNR dans le canal AWGN et on visualise la valeur du BER obtenue grâce au bloc Display.

Le logiciel Matlab nous permet de réaliser le graphe BER en fonction du SNR avec la fonction `semilogy (SNR, BER)`.

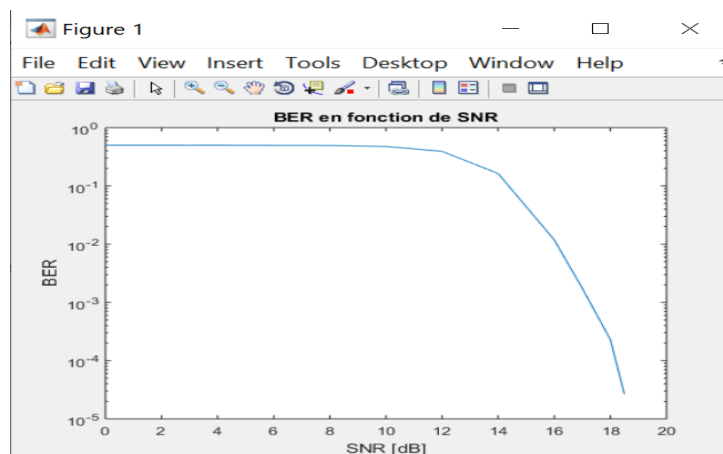


Figure 39: BER en fonction du SNR.

Nous remarquons que plus le rapport SNR augmente, plus le BER diminue. Cela démontre l'importance d'un bon rapport signal sur bruit pour assurer la qualité de la transmission des données et l'efficacité des systèmes de correction d'erreurs.

5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents blocs d'une chaîne de transmission DVB-T ainsi que les paramètres spécifiques de chaque bloc. Par la suite, nous avons fait des interprétations aux différents résultats que nous avons obtenus. L'analyse des diagrammes de constellation, de la densité de puissance et les signaux émis et reçus, nous ont permis de mieux comprendre les performances du système DVB-T.

Nous pouvons conclure que malgré les perturbations subies durant la transmission, le signal reste cohérent grâce à la technique de modulation OFDM et aux mécanismes de corrections d'erreurs utilisés dans la chaîne DVB-T comme le code RS et le code convolutif.

Chapitre IV : Exploitation des normes DVB-T et DVB-S par la TDA

1 Introduction

Nous avons eu l'opportunité de mettre en pratique nos connaissances théoriques sur les chaînes de transmission DVB-T et DVB-S, abordées dans les chapitres précédents, en réalisant notre projet de master au sein de la Télédiffusion d'Algérie (TDA). Au cours de notre travail, nous avons exploré de près les éléments du système DVB-T à la direction régionale centre de TDA, ainsi que ceux du système DVB-S au téléport spatial de Bouchaoui relevant de la direction d'exploitation.

Dans ce chapitre, nous allons examiner en détail et de manière pratique les différents composants des chaînes de transmission DVB-T et DVB-S, ainsi que leur fonctionnement tel qu'ils sont exploités par la TDA, tout en évaluant leurs capacités et performances.

2 Présentation de l'organisme d'accueil : la Télédiffusion d'Algérie TDA

La Télé Diffusion d'Algérie (TDA) est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC), placé sous la tutelle du Ministère de la Communication. Elle est créée après la réorganisation de la RTA (Radiotélévision Algérienne) en juillet 1986, qui a été divisée en quatre entreprises :

- La Télévision Algérienne (EPTV).
- La Radio Algérienne (EPRS).
- La Télédiffusion d'Algérie (TDA).
- La Production Audiovisuelle (ENPA).

Sa mission principale est la transmission et la diffusion des programmes télévisuels et radiophoniques algériennes à travers le pays et vers l'étranger via des réseaux terrestres et satellitaires. TDA assure à titre exclusif l'exploitation des émetteurs et la diffusion des programmes des 57 radios (nationales et locales) et des 9 chaînes de télévision publiques en Algérie et à l'étranger, elle commercialise également les prestations suivantes :

- Débit Internet.
- Hébergement des sites web.
- Hébergement d'équipements Data des opérateurs.
- Colocalisation des équipements techniques, prestations de transmission par satellites.

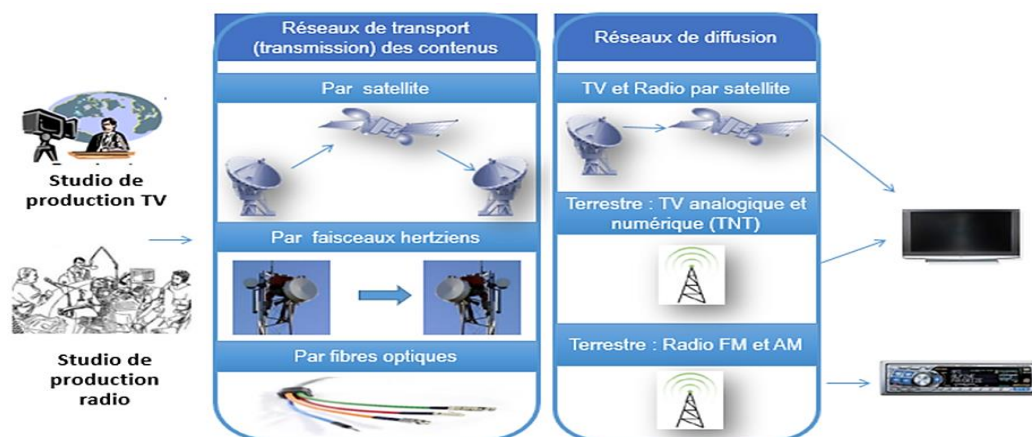


Figure 40: Schéma global du cœur de métier de TDA.

La TDA est structurée en huit (08) directions centrales et six (06) directions régionales comme suit :

Directions centrales

- Direction des finances et de la comptabilité.
- Direction des ressources humaines et de la formation.
- Direction des affaires juridiques et de la coopération.
- Direction de la gestion du matériel et des approvisionnements.
- Direction de l'exploitation.
- Direction des projets et de l'équipement.
- Direction des études et de développement.
- Direction de la promotion des produits et services.

Directions régionales

- Direction régionale Centre, Bordj el Bahri, Alger.
- Direction régionale Est, Constantine.
- Direction régionale Ouest, Sidi bel Abbès.
- Direction régionale Sud-Est, Ouargla.
- Direction régionale Sud-Ouest, Bechar.
- Direction régionale Grand Sud, Tamanrasset.

La Télédiffusion d'Algérie est également membre actif dans plusieurs organismes spécialisés notamment de l'Union Internationale de Télécommunications (UIT), de l'Union Européenne de Radiodiffusion (UER), de l'Union des Radios Télévisions Arabes (ASBU), de l'Union Africaine des Radiodiffusions (UAR) et de l'Union des Radiodiffusions Islamiques (URI).

Depuis les années 2000, la Télédiffusion d'Algérie a connu une croissance technologique significative, répondant à des exigences à la fois nationales et internationales. Consciente de son rôle et de son importance, l'entreprise est au cœur d'une communication stratégique et essentielle pour le pays. L'année 2010 a coïncidé avec l'explosion du numérique en général et de la télévision numérique en particulier. La couverture télévisuelle numérique (TNT) a atteint 85% de la population sur le territoire national. Cependant la TDA reste à l'afflux de nouvelles technologies et ne lésine pas sur les moyens pour offrir aux citoyens algériens où qu'ils soient la meilleure couverture.

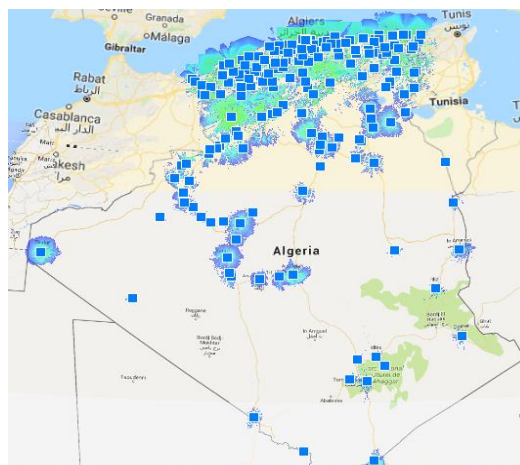


Figure 41: Carte de couverture des émetteurs TNT à travers le territoire national.

2.1 Direction Régionale Centre

Le siège de la Direction Régionale Centre est située dans la commune de Borj el-Bahri, à 20 km à l'est d'Alger. Cette direction est chargée notamment de l'installation, l'exploitation et la maintenance des équipements de transmission et de diffusion à travers des stations et des centres de diffusion implantés dans son ressort de compétence sur 13 wilayas du centre.

2.2 Centre Téléport Spatial de Bouchaoui

Le centre Téléport spatial de Bouchaoui, appartenant à la Direction d'Exploitation, est situé dans la commune d'Ouled Fayet, wilaya d'Alger. Ses missions ont été définies afin d'assurer l'installation, l'exploitation et la maintenance des stations terriennes érigées sur le site du centre pour la retransmission et la diffusion par satellite des programmes télévisuels et radiophoniques. L'objectif principal consiste en une présence des programmes algériens, le plus large possible dans le monde, en commençant par les régions privilégiées, comme l'Europe, le Monde Arabe, l'Afrique et l'Amérique du Nord. Et d'autre part assurer des services de contribution et d'échanges au profit des organismes nationaux comme EPTV et internationaux, tels qu'ASBU et UER. Les tâches principales du centre téléport sont :

- Diffusion satellitaire des programmes TV et radio des bouquets TDA sur les différents satellites de diffusion comme SES4 22°W.
- Réception satellitaire des programmes radio locales via le réseau VSAT sur SES4 22°W.
- Supervision et contrôle de la qualité de transmission et de diffusion des chaînes radio et TV.
- Transits occasionnels et échanges télévisuels de contenus entre divers organismes nationaux et internationaux tels que l'ENTV, l'ASBU, l'EUR, Etc.

3 Constitution des Multiplex des chaînes télévisuelles et radiophoniques

La TDA utilise diverses technologies de transmission et de diffusion pour garantir que les chaînes de télévision algériennes atteignent une large audience, que ce soit par des moyens terrestres, satellitaires ou via Internet.

Les chaînes de télévision produisent leurs contenus dans des studios. Ces contenus sont ensuite encodés et multiplexés dans des flux numériques appelés Multiplex ou Bouquets, permettant de diffuser plusieurs chaînes via une seule fréquence ou canal UHF.

Les services télévisuels et radiophoniques nationaux sont acquis au centre Tête de réseau de la TDA, situé au siège commun de la télévision et de la radio algériennes, puis retransmis au centre Téléport spatial de Bouchaoui et les centres émetteurs TV/FM via des supports de transmission FH ou fibres optiques en passant par le centre Nodal de Bouzareah.

Les chaînes de radio locales sont collectées en utilisant des stations VSAT installées dans les studios des radios locales, transmettant les signaux via le satellite Alcomsat-1 (24.8°W) pour être récupérés au centre Téléport de Bouchaoui via une station de réception satellitaire.

À partir des chaînes de télévision algériennes et des chaînes radiophoniques nationales et locales collectées au centre téléport, différents multiplex (Bouquets) ont été créés au niveau du ce dernier afin de les transporter vers les émetteurs terrestres et les satellites concernés pour la diffusion terrestre et satellitaire en utilisant des liaisons terrestres (fibre optique ou faisceau hertzien) ou par satellite.

Un multiplex de télévision numérique combine plusieurs services de données (vidéo, audio, données, etc.) en un seul flux de transmission. Ces services, multiplexés dans un seul flux de

transport MPEG-2 TS, sont ensuite transportés et diffusés par des réseaux d'émetteurs terrestres, satellite ou IP. Chaque service est identifié par un PID unique. Le flux MPEG-2 TS multiplexé est ensuite modulé selon la méthode de transmission (DVB-T pour la TNT, DVB-S pour le satellite, etc.) et transmis vers le réseau de diffusion.

Les récepteurs (téléviseurs numériques, décodeurs) reçoivent le signal multiplexé, le démodulent et utilisent les PIDs pour démultiplexer les flux individuels. Les flux vidéo et audio sont ensuite décodés et affichés.

4 Chaîne de transmission DVB-T

Dans le cadre de notre projet, nous avons travaillé sur la chaîne de transmission DVB-T installée au sein du centre émetteur TV/FM, localisé au siège de la direction régionale centre de la TDA à Bordj El Bahri, dans la wilaya d'Alger. Ce centre est équipé d'un émetteur TNT d'une puissance de 1,5 KW, assurant la couverture en télévision numérique terrestre des parties Centre et Est d'Alger, ainsi que certaines zones des wilayas de Boumerdes et Blida.

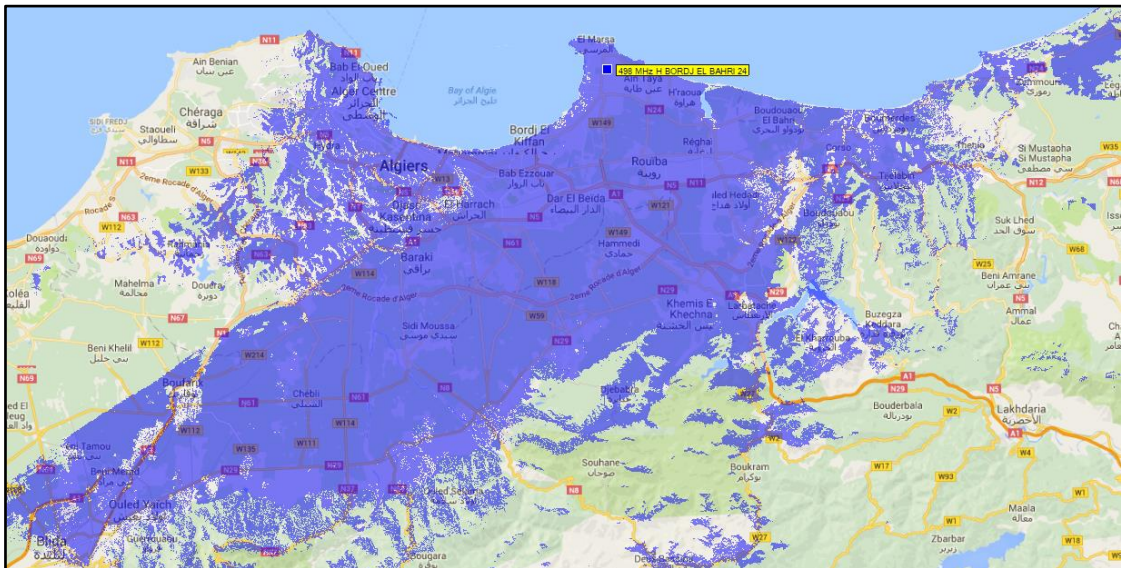


Figure 42: Carte de couverture de l'émetteurs TNT de Bordj El Bahri, 1.5 KW, Canal 24 (498.166 MHz).

4.1 Architecture de la chaîne de transmission DVB-T

La figure 43 illustre le schéma synoptique de la chaîne d'émission DVB-T installée au sein du centre émetteur TV/FM, situé au siège de la direction régionale centre de Bordj-El-Bahri. Ce schéma montre le chemin du signal depuis sa source jusqu'à la diffusion par l'antenne UHF, en passant par les différents traitements qu'il subit en cours de sa route.

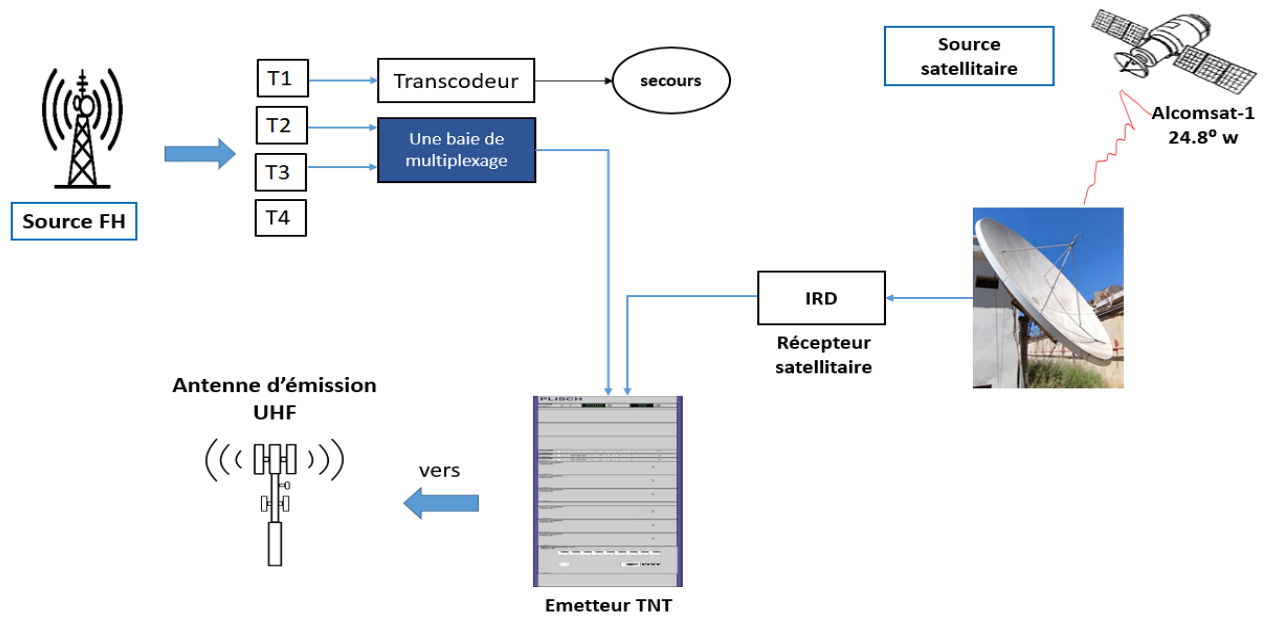


Figure 43: Schéma synoptique de la chaîne d'émission DVB-T installée au centre émetteur TV/FM de la DRC.

4.2 Composants de la chaîne de transmission DVB-T

Les principaux composants de la chaîne d'émission DVB-T du centre émetteur TV/FM de la DRC sont décrits ci-après.

4.2.1 Source de contenu

Le multiplex TNT diffusé par la chaîne DVB-T du centre émetteur TV/FM de la DRC est un bouquet de six chaînes TV publiques en format SD. Le multiplex est diffusé sur le canal 24 (498.166 MHz) avec une largeur de bande de 8 MHz.



Figure 44: Multiplex (Bouquet) à diffuser par l'émetteur TNT de Bordj El Bahri.

L'acquisition du multiplex TNT s'effectue à travers deux sources (supports) :

4.2.1.1 Source FH (Faisceau Hertzien)

Le signal transportant le multiplex TNT est acheminé du centre Nodal de TDA à Bouzareah vers le centre TV/FM de la DRC via une liaison de transmission FH fonctionnant dans la bande de fréquence de 4 GHz.



Figure 45 : Antenne de réception FH installée sur la tour au siège de la DRC.

Cette liaison de transmission FH est constituée des équipements de la société NEC. Elle a une capacité de transmission bidirectionnelle de 140 Mb/s utilisant la technologie PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). Ce flux numérique de 140 Mb/s est divisé en quatre trains, chacun ayant un débit de 34 Mb/s.

Le premier train contient le multiplex TNT, incluant les six chaînes TV publiques. Les trains deux et trois sont identiques, transportant des flux de chaînes TV et Radio, tandis que le quatrième train est dédié au flux Internet.



Figure 46: Les quatre trains de 34 Mb/s reçus à travers la liaison FH.

- **Train 1** : Le premier train contenant le multiplex TNT de six chaînes TV publiques, est converti en un signal ASI (Asynchronous Serial Interface) par un transcodeur, afin d'être exploitable par l'émetteur TNT. Cette source est utilisée comme secours.
- **Train 2 et 3** : Le deuxième et troisième train sont acheminés vers une baie de multiplexage pour extraire le bouquet de 6 chaînes TV.

Le principe de fonctionnement de la baie de multiplexage est comme suit :

- Chaque flux de 34 Mb/s est converti en signal ASI par un transcodeur.
- Chaque flux ASI est injecté à l'entrée d'un remultiplexeur, Ce remultiplexeur est utilisé pour extraire les six chaînes TV publiques et former le multiplex TNT.
- Les deux bouquets résultants sont ensuite transmis vers un commutateur, ce dernier permet de basculer entre les deux flux en cas de problème avec l'un d'eux.
- Le flux de sortie du commutateur est transmis vers une entrée de l'émetteur TNT.



Figure 47: Une baie de multiplexage SODIELEC.

4.2.1.2 Source satellitaire

Au centre téléport spatial de Bouchaoui, relevant de la direction d'exploitation de TDA, des bouquets de chaînes TV et radios algériennes sont composés et ensuite transmis vers les satellites Alcomsat-1 à 24.8°W et SES à 22°W pour être rediffusés dans leurs zones de couverture. Ces bouquets peuvent être utilisés par les émetteurs TV et/ou FM pour la diffusion des chaînes concernées.

Les bouquets algériens diffusés par les deux satellites sont présentés comme suit.

- Pour le satellite Alcomsat-1 :
 - Bouquet TV SD : contient 6 chaînes TV en définition standard.
 - Bouquet TV HD : contient 7 chaînes TV en haute définition.
 - Bouquet Radios : contient 57 chaînes radiophoniques nationales, internationales et locales, ainsi qu'un flux de données APS (Agence Presse Service).
- Pour le satellite SES4 :
 - Bouquet contient 6 chaînes TV SD et 57 chaînes radiophoniques nationales, internationales et locales.

Les signaux émis par les satellites ALCOMSAT-1 et SES-4 sont captés par des récepteurs satellitaires IRD (Integrated Receiver Decoder) à travers des antennes paraboliques orientées vers ces deux satellites.



Figure 48: Antenne parabolique orientée vers le satellite ALCOMSAT-1 24.8°W.



Figure 49: Antenne parabolique orientée vers le satellite SES4 22°W.

L'IRD recevant le signal d'Alcomsat-1 est configuré pour fournir un multiplex en format ASI, comprenant le bouquet des 6 chaînes TV SD exploitable directement par l'émetteur TNT. Par contre, le flux fourni par l'IRD recevant le signal SES4 est acheminé à travers un remultiplexeur pour extraire uniquement le multiplex des 6 chaînes TV SD destiné à l'émetteur TNT.



Figure 50: Les deux IRD utilisés pour démoduler les signaux provenant d'ALCOMSAT et de SES-4.

4.2.2 Emetteur TNT

Il existe plusieurs types d'émetteurs TNT avec différentes puissances, caractéristiques et marques exploités par la TDA. Le centre TV/FM de Bordj El Bahri dispose de deux émetteurs TNT, un émetteur principal de marque PLISH pour la diffusion, et un émetteur secondaire de marque Egatel utilisé en cas de secours.

4.2.2.1 Emetteur TNT de marque PLISH

L'émetteur TNT PLISCH, d'une puissance de 1,5 KW, comprend une armoire d'équipements composée de six amplificateurs, deux excitateurs et une unité de commande et contrôle CCU, ainsi qu'une armoire de gestion et de contrôle.



Figure 51: Un émetteur TNT de marque PLISCH.

a. L'unité d'affichage de puissance PDU 3000

Elle affiche la puissance, de l'émetteur en W et de la perte de retour en dB, fournie à la sortie de l'émetteur TNT.



Figure 52 : Unité d'affichage de puissance PDU 3000.

b. L'unité de commande du système SCU 3000

La SCU surveille et contrôle l'ensemble du système. Elle permet la commutation automatique entre les deux excitateurs en cas de problèmes.

Le système dispose d'une interface utilisateur intégrée (Web control panel) permettant de configurer, exploiter et surveiller l'ensemble du système via l'unité de commande avec un ordinateur équipé d'un navigateur Web.



Figure 53: L'unité de commande du système SCU 3000.

c. Excitateur vidéo numérique DVE 3130

Il comprend tous les équipements nécessaires pour la transmission des signaux d'entrée en bande de base (multiplex TNT), notamment le modulateur.



Figure 54 : Les deux excitateurs vidéo numérique DVE 3130.

Le modulateur module le flux de transport ASI fourni à l'entrée de l'émetteur en un signal COFDM DVB-T. Cette norme régleme l'utilisation de la correction d'erreurs directe FEC sur la base de Reed-Solomon et Viterbi et du schéma de modulation OFDM. Puis ce signal sera converti en signal RF pour le diffuser à travers l'antenne d'émission.



Figure 55: Modulateur.

L'excitateur a également la fonction de transmettre les paramètres de fonctionnement du système à l'unité de contrôle.

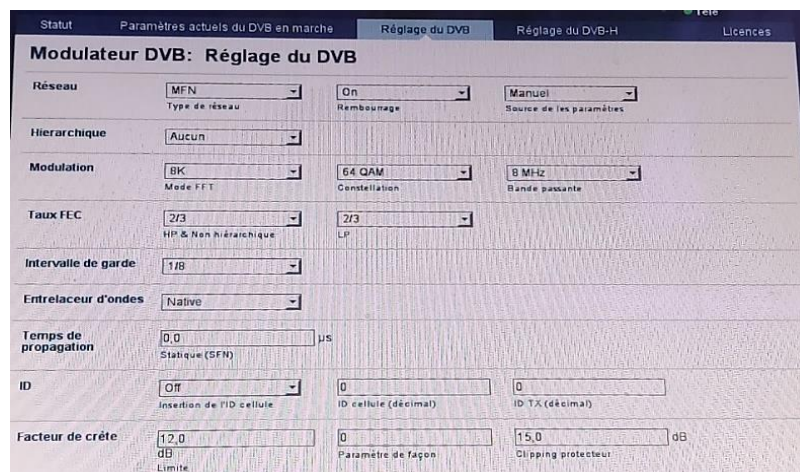


Figure 56: Paramètres de système DVB-T.

d. Amplificateur de puissance RF PAU 3100

L'amplificateur de puissance a pour rôle d'amplifier le signal RF généré par l'excitateur à un niveau adéquat afin de le transmettre sur de longues distances et de couvrir une large zone de population.



Figure 57: Les six amplificateurs de puissance RF PAU 3100.

Les signaux de sortie des amplificateurs sont combinés en un seul signal à l'aide d'un combinateur, ensuite ce signal passe à travers un filtre passe-bande pour extraire le signal TNT à la fréquence UHF 498.166 MHz (canal 24) avec une largeur de bande de 8 MHz et éliminer les harmoniques indésirables.

Ensuite, le signal RF amplifié est acheminé vers l'antenne UHF d'émission à travers un feeder (guide d'ondes) approprié pour la diffusion terrestre.

4.2.2.2 Emetteur TNT de marque EGATEL

L'émetteur TNT de la série TE9301 600W DD d'Egatel est équipé de deux excitateurs, un principal et un autre pour le secours, une unité de commande et de contrôle (CCU), deux amplificateurs, chacun d'une puissance de 300W, ainsi qu'un filtre et une batterie pour garantir une alimentation de secours en cas de panne électrique.



Figure 58: Emetteur TNT EGATEL de la série TE9301 600W DD.

4.2.3 Antenne UHF

Le dernier élément de la chaîne d'émission TNT est l'antenne UHF, utilisé pour diffuser dans l'air le signal RF amplifié et filtré en provenance de l'émetteur TNT.



Figure 59: Panneaux d'antennes UHF.

4.2.4 Réception de la télévision numérique terrestre

Pour recevoir la télévision numérique terrestre (TNT), il est nécessaire d'effectuer les actions suivantes :

- a. **Vérifier l'équipement de réception TNT** : La plupart des téléviseurs modernes sont dotés d'un tuner TNT intégré. Consulter le manuel d'utilisation ou les spécifications

techniques du téléviseur pour vérifier cette compatibilité. Si le téléviseur ne supporte pas la TNT, il faut l'équiper d'un décodeur TNT externe.

- b. Installer l'antenne** : Pour garantir une réception optimale, en particulier si on est éloigné d'un émetteur TNT, l'utilisation d'une antenne UHF extérieure est nécessaire. Dans les endroits proches d'un émetteur TNT, une antenne intérieure amplifiée sera généralement suffisante.
- c. Connecter l'antenne** : Brancher le câble coaxial de l'antenne à l'entrée appropriée sur le téléviseur ou le décodeur TNT.
- d. Rechercher les chaînes TNT** : Accéder au menu des paramètres du téléviseur ou du décodeur TNT et lancer une recherche automatique ou manuelle des chaînes.
- e. Ajuster en cas de mauvaise réception** : Si la qualité de la réception est insuffisante, réorienter l'antenne et relancer la recherche des chaînes.

Ces étapes permettront de recevoir et de visualiser les chaînes TNT disponibles avec une qualité optimale.



Figure 60: Réception du multiplex TNT, diffusé par l'émetteur TNT du centre TV/FM de Bordj El Bahri, sur le Canal 24 (498.166 MHz)

5 Chaîne de transmission DVB-S

Au centre téléport spatial de Bouchaoui, nous avons examiné uniquement la chaîne de transmission DVB-S diffusant sur le satellite SES4. Les stations terriennes de diffusion par satellite Alcomsat-1 sont sous l'autorité de l'Agence spatiale algérienne (ASAL), tandis que la composition des bouquets TV et radios se fait au niveau du téléport de TDA. Ces bouquets sont ensuite acheminés vers l'ASAL en utilisant la fibre optique et les liaisons FH.

5.1 Architecture de la chaîne de transmission DVB-S

Ce schéma synoptique représente la chaîne d'émission DVB-S établie au sein de téléport de Bouchaoui. Il explique comment le signal est acheminé depuis la source, en passant par les traitements nécessaires, vers l'antenne parabolique d'émission SES-4.

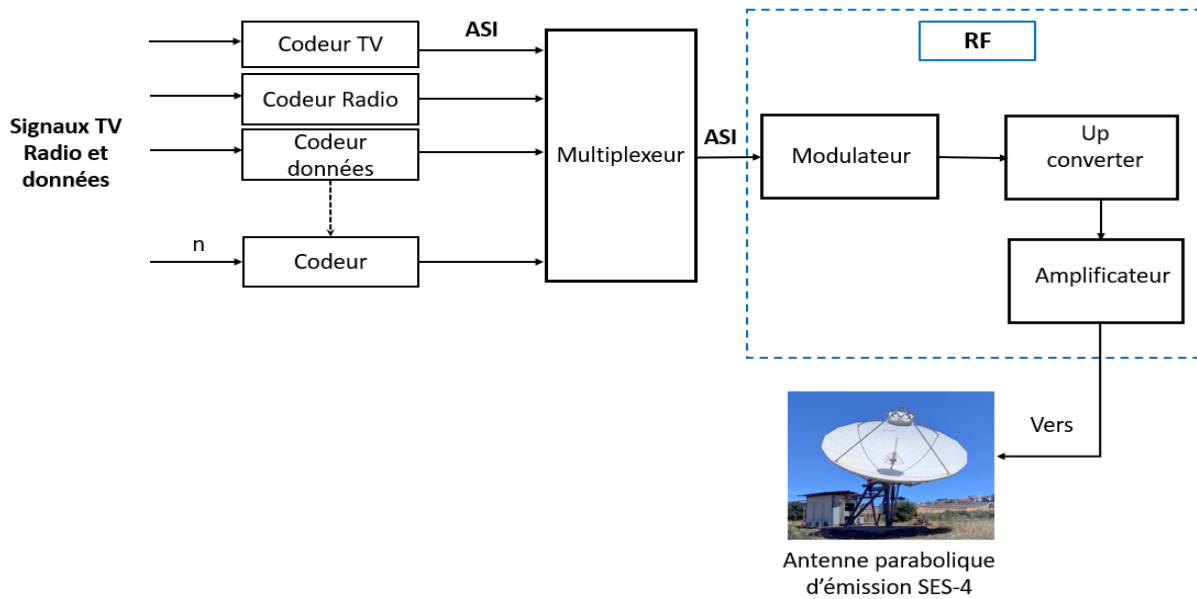


Figure 61: Schéma synoptique de la chaîne d'émission DVB-S au niveau du téléport de Bouchaoui.

5.2 Composants de la chaîne de transmission DVB-S

Les principaux composants d'une chaîne d'émission DVB-S traitée dans le Centre Téléport Spatial de TDA sont décrits ci-après.

5.2.1 Source de contenu

L'acquisition des chaînes TV au centre téléport de Bouchaoui se réalise à travers deux sources:

- Source FH (Liaisons Faisceau Hertzien entre centre Nodal à Bouzareah et centre téléport de Bouchaoui).
- Source FO (Fibre optique).

5.2.2 Les codeurs

Chaque chaîne TV est acheminée vers un codeur. Celui-ci sert à compresser le signal TV au format ASI permettant ainsi une réduction significative du débit du signal brut de la chaîne TV.



Figure 62: Codeur ERICSSON.

5.2.3 Le multiplexeur

Dans cette étape les chaînes TV sont regroupées pour former le bouquet à transmettre. Le multiplexeur combine les flux compressés ASI générés par les codeurs en un seul flux, le signal multiplexé est ensuite acheminé vers le modulateur installé à l'extérieur dans un Shelter à côté de l'antenne parabolique d'émission via une liaison de fibre optique.



Figure 63: Multiplexeur THOMSON.

5.2.4 Le modulateur

Il transforme le signal ASI en un signal RF en utilisant la modulation QPSK.



Figure 64 : Modulateur Newtec.

5.2.5 Up converter

L'Up converter permet d'augmenter la fréquence du signal RF fourni par le modulateur en bande L à la bande Ku (autour de 12GHz) afin de le transmettre vers le satellite, qui le rediffusera par la suite.



Figure 65: Up converter Newtec.

5.2.6 Amplificateur de puissance

Le HPA (High Power Amplifier) amplifie la puissance du signal fourni par l'Up converter pour prévenir toute atténuation lors de son émission. Une fois amplifié, le signal est acheminé vers l'antenne d'émission à travers un guide d'onde, où il sera transmis vers le satellite.



Figure 66: Amplificateur de puissance (HPA).

5.2.7 Antenne parabolique d'émission

L'antenne parabolique d'émission est orientée vers le satellite SES-4 positionné dans une orbite géostationnaire à une longitude de 22 degrés ouest.

Le téléport de Bouchaoui utilise le satellite SES-4 pour distribuer le bouquet des chaînes TV et radios vers les satellites de diffusion destinés au grand public. Il distribue également les chaînes TV et radios vers les émetteurs TNT et FM répartis sur le territoire national.



Figure 67 : Antenne parabolique de 7.6 m de diamètre, orientée vers le satellite SES4.

5.2.8 Réception satellitaire de la télévision numérique

Pour recevoir un bouquet de télévision numérique algérien diffusé par le satellite Alcomsat-1, il est nécessaire de suivre ces étapes :

- a. **Acquisition du matériel nécessaire** : Une antenne parabolique adaptée, ainsi qu'un récepteur satellite (décodeur) compatible.
- b. **Installation de l'antenne parabolique** : Placer l'antenne parabolique à un emplacement approprié, en veillant à ce qu'elle soit correctement fixée et orientée vers la position du satellite Alcomsat-1, à savoir $24.8^{\circ}W$.
- c. **Connexion du matériel** : Connecter l'antenne parabolique au récepteur satellite à l'aide d'un câble coaxial. Puis, connecter le récepteur au téléviseur à l'aide d'un câble HDMI ou RCA.
- d. **Configuration du récepteur satellite** : Configurer le récepteur satellite en sélectionnant le satellite Alcomsat-1 et en lançant la recherche des chaînes. Suivre les instructions fournies avec le récepteur pour effectuer cette configuration.
- e. **Réglages et tests** : Une fois que le récepteur a trouvé les chaînes du bouquet algérien désiré, effectuer des tests pour assurer que la réception est bonne et que toutes les fonctionnalités fonctionnent correctement.

En suivant ces étapes, nous pourrions recevoir et regarder des chaînes de télévision numérique algériennes diffusées par le satellite Alcomsat-1.



Figure 68 : Réception du bouquet de 6 chaînes SD algériennes, diffusé par le satellite Alcomsat-1 (Fréquence : 12231 MHz).

6 Configuration d'un bouquet de chaînes TV

Il existe plusieurs bouquets préétablis par la TDA, le logiciel TDC Client nous permet de créer d'autres si le besoin se présente. Nous pouvons créer un bouquet à partir de plusieurs sources (FH, satellites, ...etc.). Dans cet exemple, nous créons un bouquet à partir du satellite SES4.

Pour effectuer ce travail, nous avons besoin d'un remultiplexeur, de sources d'informations (des signaux satellitaires en format ASI), une interface de visionnage (le logiciel TDC Client) et un écran.

Nous injectons les signaux ASI dans le remultiplexeur et nous le relient avec un câble RJ-45 à notre écran d'affichage. Nous les configurons dans un seul réseau informatique en leurs attribuant des adresses IP pour pouvoir établir une communication puis nous suivons les étapes suivantes.



Figure 69: ReMultiplexeur utilisé de marque Ericsson.

- **Première étape :** ouvrir le logiciel et sélectionner notre remultiplexeur, et cliquer sur **inputs** pour sélectionner les entrées qui contiennent les satellites dont nous avons besoin.

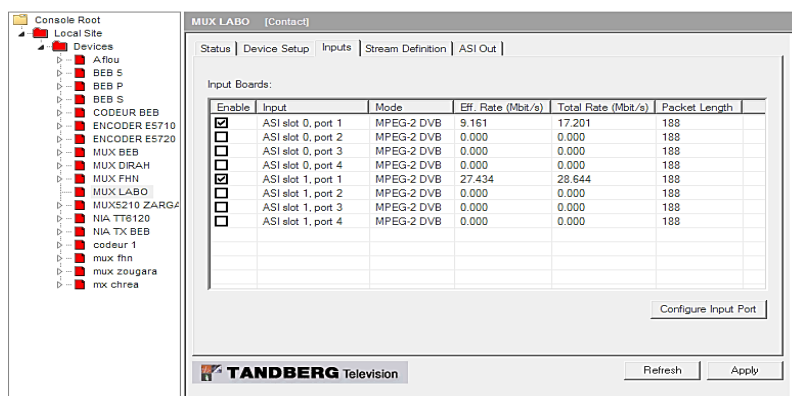


Figure 70: Sélection des deux entrées ALCOMSAT-1 et SES4.

- **Deuxième étape :** création et nomination du bouquet.

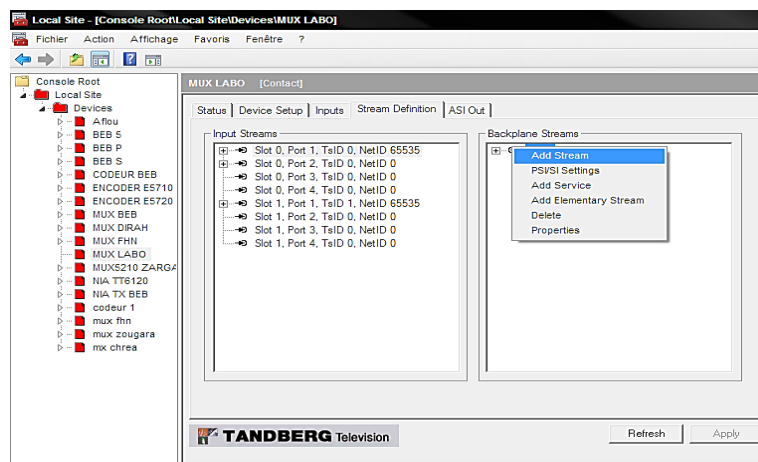


Figure 71: Création d'un bouquet.

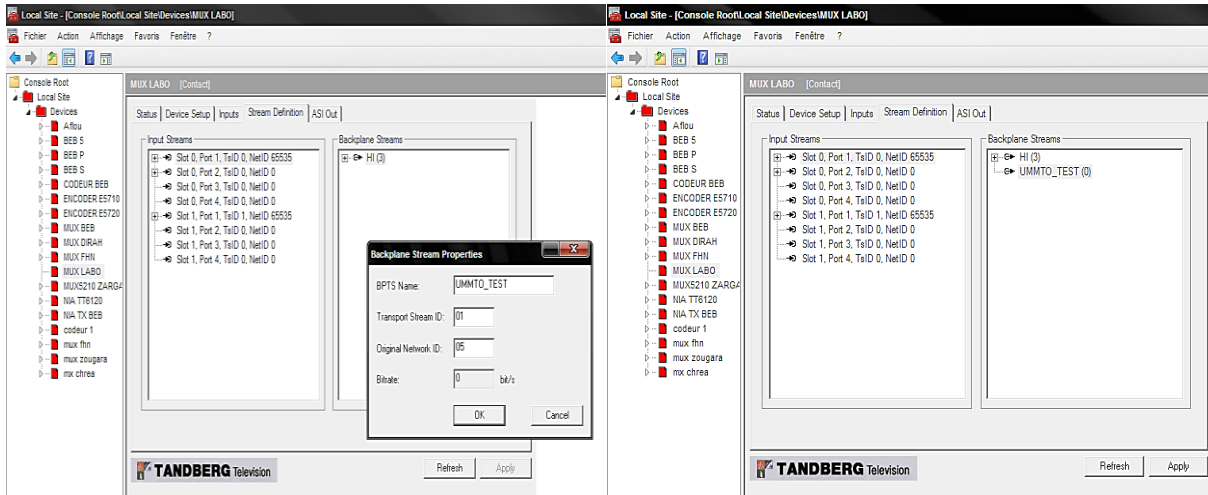


Figure 72: Nomination d'un bouquet "UMMTO TEST".

- Troisième étape : choisir les chaînes qui vont constituer notre bouquet.

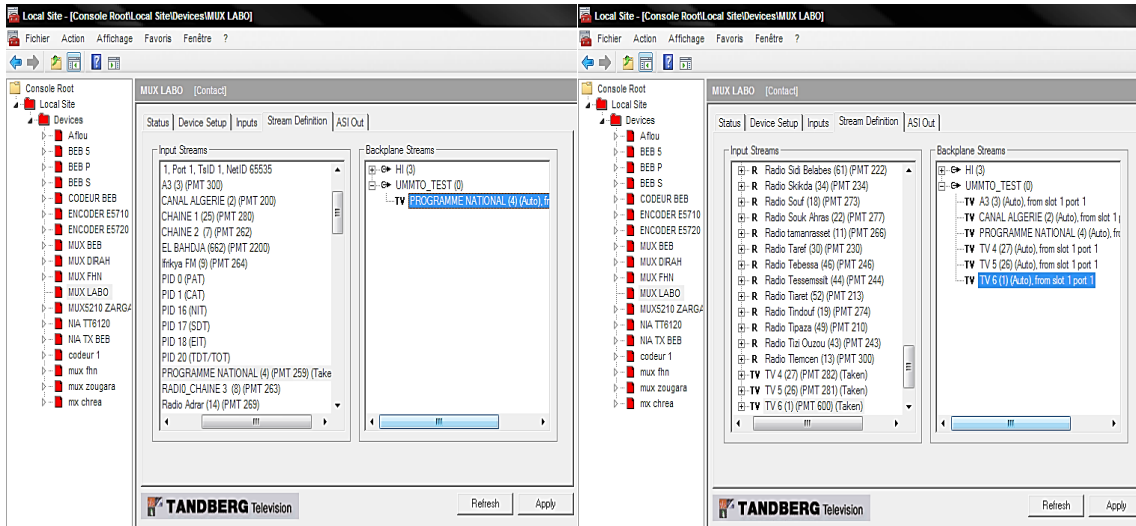


Figure 73: Remplissage du bouquet avec les chaînes TV.

On peut visualiser les propriétés des chaînes TV avec un clic droit sur la chaîne en question.

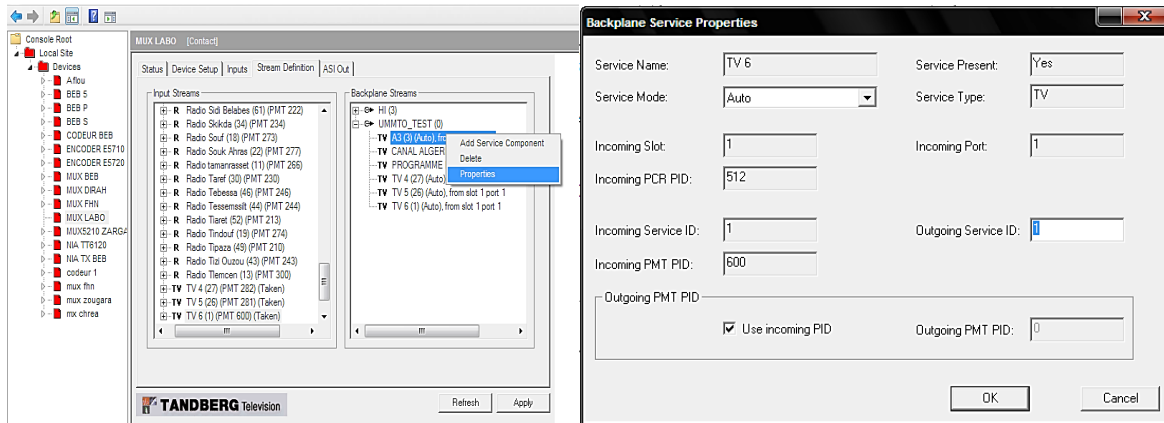


Figure 74: Propriétés de la chaîne TV6.

Chaque chaîne TV est constituée de trois services vidéo, audio et données, identifiés par des PIDs.

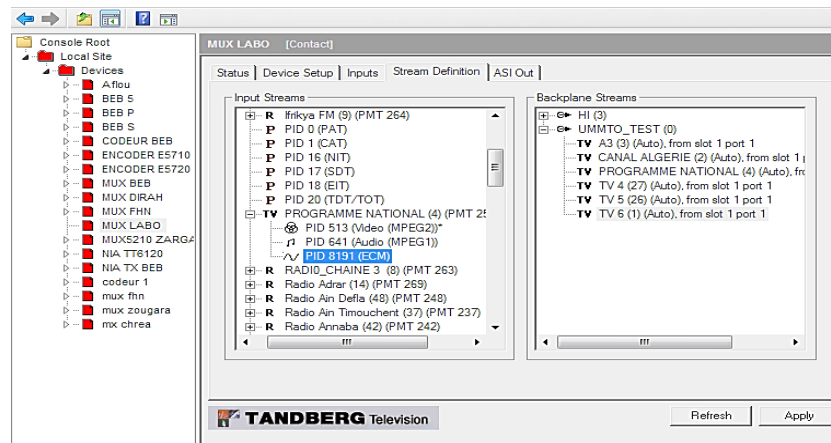


Figure 75: Les composantes d'une chaîne.

- **Quatrième étape :** vérification de la taille (débit) de notre bouquet en cliquant sur **ASI output**, pour l'ajuster aux capacités des canaux de transmission en enlevant si besoin certaines chaînes ou au contraire en ajoutant.

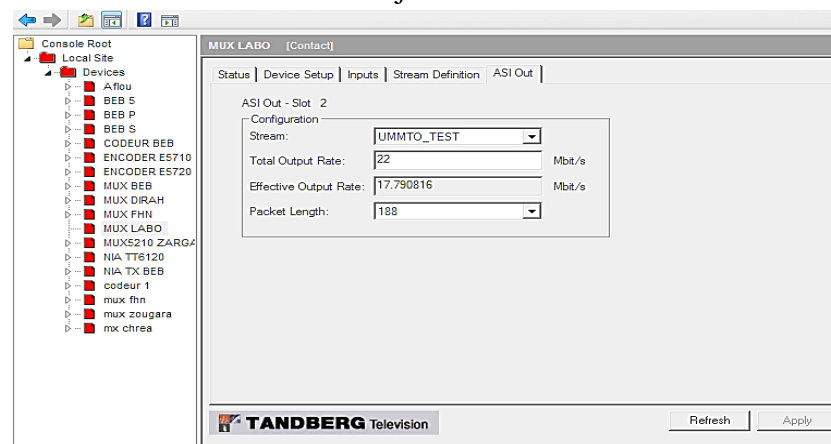


Figure 76: Vérification de la taille (débit) de notre bouquet.

7 Conclusion

Les chaînes de transmission DVB-T et DVB-S, bien que similaires dans leur structure de base, diffèrent principalement par leurs techniques de modulation et leurs méthodes de transmission. Le DVB-T utilise l'OFDM pour la transmission terrestre, tandis que le DVB-S utilise QPSK/8PSK pour la transmission par satellite. Ces différences permettent à chaque norme d'optimiser la transmission en fonction des contraintes et des besoins spécifiques de leurs environnements respectifs.

Conclusion générale

L'étude des systèmes de télévision numérique DVB-T et DVB-S a révélé des aspects essentiels de ces technologies de diffusion modernes, permettant de comprendre leurs principes de fonctionnement, leurs avantages, et leurs défis. À travers une étude théorique approfondie, la simulation sous MATLAB de la DVB-T, et des expérimentations pratiques, nous avons pu étudier et évaluer les performances de ces deux normes de diffusion.

La norme DVB-T se distingue par son efficacité spectrale et sa robustesse dans les environnements terrestres. Grâce à des techniques de modulation comme le QAM et l'OFDM, des schémas de codage d'erreur avancés, elle permet une qualité de service fiable pour la diffusion hertzienne. La simulation effectuée sous MATLAB a permis de modéliser les comportements du système DVB-T, confirmant les performances théoriques et mettant en évidence leurs forces et leurs faiblesses respectives.

Tandis que la norme DVB-S excelle dans les transmissions à longue distance grâce à des techniques de modulation telles que QPSK et 8PSK, ainsi qu'à des schémas de codage d'erreur qui augmentent sa robustesse et sa capacité à fournir des services de haute qualité même dans des conditions de signal défavorables.

Les expérimentations pratiques que nous avons effectuées ont validé les résultats de simulation et les études théoriques. Les tests ont démontré que les deux systèmes peuvent être déployés efficacement avec les équipements adéquats, mais nécessitent des configurations spécifiques pour optimiser leurs performances dans leurs environnements respectifs.

La télévision numérique continuera d'évoluer avec l'émergence de nouvelles technologies et l'augmentation des exigences des consommateurs. Les futurs travaux de recherche pourraient se concentrer sur :

- L'amélioration des algorithmes de codage et de modulation dans le but d'offrir des débits de données encore plus élevés et une meilleure robustesse.
- L'intégration de technologies émergentes telles que la diffusion par Internet (IPTV) et les services de streaming en ligne, qui complètent et augmentent les capacités des systèmes DVB-T et DVB-S.
- La gestion des ressources spectrales pour une utilisation plus efficace du spectre disponible, en tenant compte des besoins croissants en bande passante.

Cette étude apporte une contribution significative à la compréhension et à l'amélioration des systèmes de télévision numérique. Elle ouvre de nouvelles pistes de recherche pour continuer à innover dans ce domaine dynamique.

Références

- [1] Walter Fischer, Livre “Digital Video Broadcasting technology” A Practical Engineering Guide 4th edition: © Springer Nature Switzerland AG 2020.
- [2]<https://technopartage.jimdo.free.com/analyser-un-syst%C3%A8me-ou-objet-technique/traitement-du-signal-capteurs-actionneurs/> consulté le 26 /02/2024.
- [3] Arbouz Fedwa, Allali Khayra, “Etude et modélisation d'une chaine de transmission DVB, Mémoire de fin d'études Master, Université Aboubakr Belkaid,Tlemcen,2018.
- [4] <https://www.mpeg.org/> consulté le 04/01/2024.
- [5] Iulia Popovici, Cours « codage_canal ».
- [6] David Wood, « History of the DVB Project», dvb.org/wp-content/uploads/2019/12/History-of-the-DVB-Project.pdf, 2013 consulté le 06/02/2024.
- [7] Rakotoarisoa Lanja Fabrice, “Techniques et systèmes de transmission de la TNT ”, Mémoire de fin d'études Licence, Université d'Antananarivo, Madagascar, 2014.
- [8] Bouguerrou Rabia, “Etude et simulation d'une chaine de transmission DVB-S sous MATLAB ”, Mémoire de fin d'études Master , Université Mohamed Khider, Biskra, 2019.
- [9] Ousmail Zehor, Khiair Nawal, “Etude (et Conception de la partie pratique) de Système de Diffusion Numérique DVB-T (Télévision Numérique Terrestre)”, Mémoire de fin d'études Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-ouzou, 2013.
- [10] <https://www.cgv.fr/> consulté le 02/02/2024.
- [11] <https://www.satexpat.com/> consulté le 02/02/2024.
- [12] CHIKH Imane, YAHIAOUI Lynda, “Etudes d'une plateforme IPTV(Internet Protocol Television)”, Mémoire de fin d'études Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou ,2018.
- [13]<https://di.univ-blida.dz/xmlui/bitstream/handle/123456789/1406/017-2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y> consulté le 05/02/2024.
- [14] Boudjelil Kahina, Boussakou Nour El Houda, “Etude d'une chaine de diffusion en utilisant la norme DVB-S et DVB-S2 de TDA vers le satellite Alcomsat-1”, Mémoire de fin d'études Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2018.
- [15] <https://fr.wikipedia.org/wiki/DVB-C> consulté le 08/02/2024.
- [16] <https://en.wikipedia.org/wiki/DVB-C> consulté le 17/02/2024.
- [17] Abdelhamid Rabah, Adghar Sid Ali, “Etude 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 de fin d’études Master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2017.

[18] Sylvie Kalinowski, “La chaine DVB-T (Fonctions, Caractéristiques et Paramètres) ”, SP TTD 0347 SKA 2005- D1D2-80-0303.

[19] Fersadou Yasmina, “Etude et simulation d’une chaine DVB-T”, Mémoire de fin d’études Master, Université Saad Dahlab, Blida, 2012.

[20] Jurgen Lauterjung, Article « DVB-T, la nouvelle norme TV terrestre », Actualités de Rohde & Schwarz N° 155 (1997/ III).

[21] Johann Breton, “H.265 : zoom sur la nouvelle norme de codage vidéo une évolution sensible qui frappe à la porte”, www.lesnumeriques.com/videoprojecteur/h-265-zoom-sur-nouvelle-norme-codage-video-a1839.html, Publié le 01/06/14 à 14h00. consulté le 22/03/2024.

[22] Marcin Dabrowski et Jozef Modelski. Document de conférence IEEE “DVB-T2 versus DVB-T, qu'est-ce qui a changé et pourquoi ? 5967610 ”, 2008.

[23] Lilian Boussuet, Guillaume Ferre, Article “Etude et modélisation sous Simulink d’une chaine de transmission DVB-S”, ENSEIRB – Département Electronique 1, avenue du Dr Albert Schweitzer – BP 99 – 33402 TALENCE Cedex – France, 2008.

[24] <https://www.academia.edu/30834804> consulté le 01/03/2024.

Annexe 1

Signal bande de base : est un type de signal qui n'a pas été modulé ou multiplexé pour la transmission sur un support de transmission, comme une fibre optique, un câble coaxial ou une liaison radio. Au lieu de cela, il représente directement les données numériques ou analogiques dans leur forme originale. Utilisé dans une variété d'applications, de la transmission de signaux audio et vidéo à la transmission de données numériques dans les réseaux informatiques.

Le BER (taux d'erreur binaire en français) : est une mesure utilisée en télécommunications et en électronique pour évaluer la qualité d'une transmission de données numériques. Il représente le nombre de bits erronés reçus par rapport au nombre total de bits transmis, généralement exprimé sous forme de rapport ou de pourcentage.

Le SNR (rapport signal sur bruit) : est une mesure utilisée pour quantifier la qualité d'un signal en présence de bruit. Il est exprimé en décibels (dB) et représente le rapport entre la puissance du signal utile et la puissance du bruit qui l'accompagne. Un SNR plus élevé indique une meilleure qualité de signal.

Antenne VHF : Une antenne VHF est une antenne spécialement conçue pour la réception et la transmission de signaux dans la gamme des Très Hautes Fréquences. Cette gamme de fréquences s'étend de 30 à 300 MHz et est utilisée, entre autres, pour les radioamateurs, les radios commerciales, les émissions télévisées et autres services radiophoniques. Les antennes VHF sont disponibles dans différentes conceptions, telles que les antennes Yagi, dipôles ou plan de sol, chacune ayant des propriétés différentes en termes de directivité et de bande passante.

Antenne UHF : L'antenne UHF, ou ultra haute fréquence, est le principal type d'antennes permettant de capter les ondes TV. L'antenne UHF capte les fréquences d'ondes comprises entre 300 MHz et 3 GHz avec une bande télévision qui va de 470 à 783 MHz.

Signaux RF (Radio Frequency) : Les signaux RF désignent simplement les signaux qui sont transmis à l'aide d'ondes radio dans la gamme de fréquences appropriée. Ces signaux peuvent être utilisés dans une variété d'applications, notamment les communications sans fil, la diffusion radio, la télévision, les télécommunications mobiles, etc. Les signaux RF peuvent être modulés de différentes manières pour transporter des données, comme l'amplitude (AM), la fréquence (FM) ou la phase (PM) de la porteuse. Ils sont essentiels dans la plupart des technologies sans fil modernes, notamment le Wi-Fi, le Bluetooth, les téléphones mobiles, etc.

Signal PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) : est une technique de transmission de données utilisée dans les réseaux de télécommunications. Dans un réseau PDH, les données sont transmises à des vitesses constantes, mais ces vitesses ne sont pas synchronisées

exactement avec une horloge de référence. Cela signifie que les signaux entrants et sortants peuvent ne pas être parfaitement synchronisés, d'où le terme "plesiochronous". Les niveaux de hiérarchie PDH, tels que le E1 (2,048 Mbps) et le E3 (34,368 Mbps), sont largement utilisés dans les réseaux de télécommunications. Ils sont utilisés pour transporter des données vocales et des données numériques, et sont souvent utilisés dans les réseaux de téléphone fixe, de transmission de données et d'autres applications.

Signal ASI (Asynchronous Serial Interface) : est un type de signal utilisé dans les systèmes DVB. Il est largement utilisé dans l'industrie de la télévision par satellite, de la télévision numérique terrestre (TNT) et d'autres applications de diffusion vidéo. Le signal ASI transporte généralement des flux vidéo et audio compressés conformes aux normes telles que MPEG-2 ou MPEG-4. Il transporte ces flux sur des réseaux numériques avec une bande passante constante et une compatibilité avec une gamme d'équipements de diffusion.

Décodeur IRD : Un IRD (Integrated Receiver Decoder), est un équipement essentiel dans les systèmes de diffusion audiovisuelle, chargé de recevoir, décoder et préparer les signaux audio et vidéo numériques pour la distribution ultérieure dans des équipements de production ou de diffusion.

ALCOMSAT-1 : Le satellite Alcomsat-1 est un satellite de télécommunications lancé le 11 Décembre 2017 à 00:41 AM (heure locale) depuis la Chine et mis en orbite géostationnaire le 18 Décembre 2017 à 36 000 Km d'altitude, à la position orbitale 24.8 Ouest. Il est caractérisé par un poids total de 5225 Kg (poids au lancement) et d'une durée de vie estimée à 15 années. Il fournit des services de diffusion des programmes TV et Radio, Internet et services VSAT en bande de fréquence Ku et Ka ainsi que d'augmentation de la précision du signal GPS, SBAS.

SES-4 : SES-4 a été lancé avec succès depuis le cosmodrome de Baïkonour au Kazakhstan à bord d'une fusée ILS Proton Breeze M le 15 février 2012. SES-4 remplace le satellite NSS-7 à 338 degrés de longitude est et fournit une capacité de remplacement et d'extension sur cette position orbitale de SES bien établi au-dessus de l'océan Atlantique. SES-4 est un satellite de 20 kilowatts doté de 52 répéteurs en bande C et de 72 répéteurs en bande Ku, basé sur la plateforme Space Systems/Loral 1300 qui a fait ses preuves en vol. Il est doté de faisceaux en bande C qui desservent l'hémisphère est de l'Europe et de l'Afrique et couvrent l'ensemble du continent américain, ainsi que d'un faisceau mondial en bande C pour desservir les clients mobiles et maritimes.

Annexe 2

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 satellites

Tableau 6 : Bandes des fréquences et leurs services [14].