



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et Technologie
Département de Génie Electrique

MEMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Filière électronique
Spécialité : Réseau et télécommunication

Présenté et soutenu par :
BOUGUERROU Rabia

Le : dimanche 7 juillet 2019

ETUDE ET SIMULATION D'UNE CHAINE DE TRANSMISSION DVB-S SOUS MATLAB ®

M.	MAGHERBI Mohammedlarbi	MCB	Université de Biskra	Encadreur
Pr.	BENAKCHA Abdelhamid	Pr	Université de Biskra	Président
M.	HENDAOUI Mounira	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2018 - 2019

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : électronique

Option : Réseau et télécommunication

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

**ETUDE et SIMULATION D'UNE CHAINE DE
TRANSMISSION DVB-S SOUS MATLAB ®**

Présenté par :

Bouguerrou Rabia

Avis favorable de l'encadreur :

Magherbi Mohammed Larbi signature

Avis favorable du Président du Jury

Président :

A.BENAKCHA

Signature

Examineur :

M.HENDAWI

Signature

Cachet et signature

2018/2019

Remerciements

*D'abord et avant tout, je remercie dieu tout puissant pour la patience , la force , la foi et la confiance qu'il ma donnée pour accomplir ce modeste travail , et je remercie beaucoup mon encadreur de mémoire **Mr M.L.MEGHERBI** qui a supervisé ce travail avec intérêt et activité , ainsi mes profonds respects et remerciements vont également au membres de jury **Mr A.BENAKCHA** et **Mr M.HENDAWOUI** pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail .*

*Je les remercie également pour leurs efforts et leur générosité au cours des années passée Sans oublier le professeur **Mr S.AMEID** pour ses efforts et ses précieux conseils.*

*Enfin, je voudrais remercier tous les professeurs j'ai eu et qui ont eu un grand crédit pour moi pendant toute la période d'études , y compris le professeur de mathématiques **Mr H.HOUHOUN** et le professeur de génie électrique de*

Mr M.MACHKOURI .

Dédicace :

*Je voudrais remercier tous les membres de ma famille,
le premier d'entre eux, mes chères parents , **ma mère et mon père** ,
qui m'ont beaucoup soutenu physiquement et moralement,
ainsi que toutes mes sœurs*

***Samira, Sabrina, Moufida** et mes frères **Seif-eddine et Ramzi** ,
mes cousines **Hanane , Rima , Souad et Basma** .*

Sans oublier mes petites chères

***Maria, Oussama, Yasmin, Nermin** qui dieu les protèges.*

*Je le dédie à mes collègues **Iman, Amina , Sofia ,Amel ,Hanane**
de classe **Master 2 RT** .*

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont soutenu,
Encouragé et ont contribué au bon déroulement de ce mémoire
, mes amis **Zahira ,Widad ,Hadher** .*

Rabia Bouguerrou

Résumé :

La diffusion vidéo numérique est basée sur plusieurs étapes, chacune ayant un rôle à jouer, notamment la transmission par fils, **câbles** et autres transmissions **terrestres** pour recevoir et transmettre des signaux dans le canal de transmission, la **diffusion mobile** et non fixe utilisant les technologies **3G et 4G, Satellites**.

L'objectif principal de ce projet est d'étudier le canal de transmission vidéo numérique et la transmission par satellite via une antenne parabolique.

Le canal de transmission se compose de plusieurs étapes pour améliorer la vision de l'image et du son et garantir l'accès à toutes les données nécessaires à la transmission de cette vidéo numérique.

Et pour augmenter la fiabilité afin d'éviter toute erreur dans le mode de transmission, en utilisant les modifications nécessaires pour transmettre la vidéo et coder les données sur le canal du convoyeur afin d'utiliser le codage interne (**Convolutif**) et le codage externe (**Reed-Solomon**) pour détecté et corriger les erreurs et augmenter la protection due au faible rapport signal / bruit L'accès du canal au canal découle de l'édition et du décodage, ce qui ajoute de la redondance à la séquence de bits et au codage externe, éliminant ainsi le bruit et la distorsion en réduisant l'espace libre.

Mais plus tard, la vidéo numérique par satellite a été développée dans une seconde version, répondant aux besoins actuels grâce à l'utilisation d'autres codecs tels que le code (**LDCP**) et le code (**BCH**), et la transmission est devenue plus précise pour détecté et corriger les erreurs.

Le simulateur de chaine de transmission avec l'environnement Matlab a été émulé et envoyé pour traduction sous forme de courbes graphiques.

Mots clés : DVN, DVN-S, DVN-S2, codes correcteurs d'erreurs, TEB

Summary:

Broadcast digital video on TV screen depends on many steps each one has a role.

each broadcasts through wires and cables, the other broadcasts through ground for receiving signals and converting into transmitter series , mobile and non-static broadcast by using third and fourth techniques , and finally broadcast via satellite .

The main objective of this project is to study digital video transmission and broadcasts it through satellite by satellite dish.

This series consists from many stages : improve image visibility and sound , ensure the access of all the necessary data to broadcast this digital video to transmit through Provide the necessary safety and increase reliability to avoid any errors in the way of transmission and that for using necessary adjustments to transfer the video and encodes data Across the conveyor chain So that internal and external encoding is used and this for correct errors and for increase protection because of Low signal to noise ratio When they reach the series they are drawn from the adjustment and decode the icon And decode the icon that adds the frequency in the external encoding sequence Thus eliminating noise and distortion by reducing free spaces .

But later the digital video broadcast was developed via satellite by second copy where it fulfilled the current needs through Using other encodings special for the second copy and the broadcast becomes with high quality and more accurate to capture errors and correct them .

The embodiment of the transport chain simulation with MATLAB environment and send it to be translated in the form of graphs.

KEYWORDS: *DVB, DVB-S, DVB-S2, error corrector code, BER*

-

ملخص :

يعتمد بث الفيديو الرقمي في شاشة التلفاز على عدة مراحل كل منها له دور , منها البث عبر الأسلاك والكوابل وأخرى البث عبر الأرضي لاستقبال إشارات و تحويلها في سلسلة الإرسال , البث المتحرك و الغير ثابت باستخدام تقنيات الجيل الثالث و الرابع , و أخيرا البث عبر الأقمار الصناعية .

و الهدف الأساسي لهذا المشروع هو دراسة قناة نقل الفيديو الرقمي و بثه عبر الأقمار الصناعية بواسطة طبق الأقمار الصناعية و تتكون سلسلة النقل من عدة مراحل لتحسين رؤية الصورة و الصوت و ضمان وصول جميع البيانات اللازمة لبث هذا الفيديو الرقمي و يتم الإرسال من خلال توفير الأمان اللازم و زيادة الموثوقية و ذلك لتفادي وقوع أي أخطاء في طريق الإرسال و ذلك باستخدام التعديلات الضرورية لنقل الفيديو و القيام بتشفير البيانات عبر السلسلة الناقله بحيث يتم استخدام ترميز داخلي و ترميز خارجي و ذلك لتصحيح الأخطاء و لزيادة الحماية بسبب انخفاض نسبة الإشارة إلى الضوضاء و عند وصولها للسلسلة يتم لاستخلاص من التعديل و فك الترميز الذي يضيف التكرار في تسلسل البتات و الترميز الخارجي و بذلك نتخلص من الضوضاء و التشوهات بواسطة تقليص المساحات الحرة , لكن لاحقا تم تطوير بث الفيديو الرقمي عبر الأقمار الصناعية بنسخة ثانية حيث لبت الاحتياجات الحالية وذلك من خلال استعمال ترميزات أخرى خاصة بالنسخة الثانية و أصبح البث ذات جودة عالية و أكثر دقة لالتقاط الأخطاء و تصحيحها .

تم تجسيد محاكاة سلسلة النقل مع بيئة الماتلاب و إرسالها لترجمتها على شكل منحنيات بيانية .

كلمات مفتاحية : بث الفيديو الرقمي , بث الفيديو الرقمي عبر الأقمار الصناعية , نسخته الثانية , ترميزات تصحيح الأخطاء , معدل الخطأ الثنائي .

Sommaire :

<i>Remerciement</i>	3
<i>Dédicace</i>	4
<i>Résumer</i>	5
<i>Introduction générale</i>	17

Chapitre 1 : généralités sur le système de diffusion vidéo DVB-S

<i>1.1. Introduction</i>	21
<i>1.2. Historique de DVB</i>	21
<i>1.3. Présentation Généralités sur la norme DVB</i>	21
<i>1.3.1. Le standard de diffusion numérique DVB-T</i>	23
<i>1.3.1.1. Schéma bloc du standard DVB-T</i>	24
<i>1.3.2. Le sous standard DVB-H</i>	25
<i>1.3.3. Le sous standard DVB-C</i>	26
<i>1.3.4. Définition Transmission par satellite DVB-S</i>	27
<i>1.3.4.1. caractéristiques d'une transmission satellite</i>	29
<i>1.4. Les Avantages Et Inconvénients</i>	29
<i>1.4.1. Les principaux avantages de la télévision par satellite sont</i>	29
<i>1.4.2. La télévision par satellite peut poser problème puisqu'elle</i>	30
<i>1.5. Parabole satellite</i>	30
<i>1.5.1. Présentation</i>	30
<i>1.5.2. Installation parabole satellitaire</i>	30
<i>1.5.2.1. La parabole peut être placée indifféremment en hauteur ou sur le sol</i>	30
<i>1.5.3. types de satellites</i>	30
<i>1.6. conclusion</i>	31

Chapitre 2: La chaîne de transmission de DVB-S/DVB-S2

<i>2.1. Introduction</i>	32
<i>2.2. La chaîne de transmission de DVB-S</i>	32
<i>2.3. Principaux paramètres d'une chaîne d'émission/réception DVB-S</i>	33
<i>2.3.1. Codage Reed Solomon</i>	35
<i>2.3.2. L'entrelaceur</i>	36
<i>2.3.3. Le Codeur Convolutifs</i>	36
<i>2.3.4. Modulation Phase- Shift Keying (PSK)</i>	37
<i>2.3.4.1. Modulation Binary phase- Shift Keying (BPSK) ou PSK- 2</i>	37
<i>2.3.4.2. La modulation Quadrature-Phase Shift Keying (QPSK) ou PSK- 4</i>	38
<i>2.3.4.2.1. Émission</i>	38

2.3.4.2.2. Calcul du débit utile	39
2.3.5. Codage des canaux	40
2.3.6. Canal à bruit additif, blanc et gaussien (AWGN)	40
2.3.6.1. Rappels sur la Capacité	40
2.3.7. Décodeur Viterbi	43
2.3.7.1. L'algorithme de viterbi	44
2.4. Le standard DVB-S et la norme MPEG-2	45
2.4.1. La pile protocolaire DVB-S	45
2.4.2. la norme MPEG-2	45
2.5. Le standard DVB-S2	46
2.5.1. Introduction	46
2.5.2. Caractéristiques de DVB-S2	47
2.5.3. La chaine de transmission de DVB-S2.....	47
2.5.3.1. Bloc d'adaptation	48
2.5.3.1.1. Adaptation du Streaming	49
2.5.3.2. Encodeur FEC	50
2.5.3.3. BBFRAME	50
2.5.3.4. Codes BCH	51
2.5.3.4.1. Caractéristiques générales de ces code	51
2.5.3.5. Code LDPC	51
2.5.3.6. Entrelacement de bits	53
2.5.3.7. FEC Frame	53
2.5.3.8. Mappage des modulations QPSK, PSK-8 , 16-APSK , 32-APSK en constellation.....	54
2.5.3.8.1. Mappage de Modulation QPSK	54
2.5.3.8.2. Mappage de Modulation PSK-8	55
2.5.3.8.3. Mappage de Modulation 16-APSK	56
2.5.3.8.4. Mappage de Modulation 32-APSK	57
2.5.3.9. PL FRAME (Physical Layer Framing)	58
2.5.3.10. Filtre BB (bande de base)	59
2.5.4. Bénéfices de DVB-S2	59
2.5.5. Différents entre DVB-S et DVB-S2	60
2.5.5.1. Techniques de modulation	60
2.5.5.2. Encodage	60
2.5.5.3. FEC	60
2.6. Conclusion	60

Chapitre 3: Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

3.1. Introduction	63
-------------------------	----

3.2. <i>LA Notion de taux d'erreur binaire dans une chaine de transmission</i>	63
3.2.1. <i>Principe de taux d'erreur binaire</i>	64
3.2.1.1. <i>Facteurs affectant le taux d'erreur binaire, BER</i>	66
3.3. <i>La notion de code correcteur d'erreurs</i>	66
3.3.1. <i>Les codes détecteurs et correcteurs d'erreurs</i>	68
3.3.2. <i>Les Codes en blocs linéaires</i>	69
3.4. <i>Code Reed-Solomon</i>	70
3.5. <i>L'Origine de code RS</i>	70
3.4.1. <i>Paramètres du codeur RS</i>	70
3.4.2. <i>Le codage et le décodage de RS</i>	71
3.4.3. <i>Etude du codage RS pour la détection et la correction des erreurs de transmission</i>	73
3.5. <i>Code Convolutif</i>	75
3.5.1. <i>Principe du codage convolutif</i>	75
3.5.2. <i>Paramètres de code convolutif</i>	76
3.5.3. <i>Décodage convolutif</i>	77
3.5.3.1. <i>L'algorithme de viterbi</i>	77
3.5.4. <i>Représentations graphiques des codes convolutifs</i>	78
3.5.4.1. <i>Diagramme en arbre</i>	79
3.5.4.2. <i>Diagramme en treillis</i>	79
3.5.4.3. <i>Diagramme d'états</i>	80
3.6. <i>Conclusion</i>	81

Chapitre 4: Simulation et Résultats

4.1. <i>Introduction</i>	83
4.2. <i>Présentation du logiciel Matlab/Simulink</i>	83
4.2.1. <i>Historique</i>	83
4.2.2. <i>Description de MATLAB / Simulink</i>	83
4.2.3. <i>configuration de Simulink</i>	85
4.3. <i>Modélisation de la chaine de modulation BPSK en AWGN</i>	85
4.4. <i>Modélisation de la chaine de modulation QPSK en AWGN</i>	89
4.5. <i>Simulation de code Convolutif avec modulation QPSK en AWGN</i>	95
4.6. <i>Simulation de code Reed-Solomon avec modulation QPSK en AWGN</i>	97
4.7. <i>Modélisation de la chaine de transmission complète de DVB-S</i>	98
4.8. <i>Conclusion</i>	99

Conclusion générale100

Bibliographie101

Liste des figures :

Figure 1.1 : Les Supports de Diffusion Numérique	22
Figure 1.2 : Schéma à blocs fonctionnels du standard DVB-T	24
Figure 1.3 : Système de transmission DVB-H	26
Figure 1.4 : SYSTEME DE TRANSMISSION DVB-C	27
Figure 2.1 : Aperçu de la chaîne de codage du DVB-S	32
Figure 2.2 : LA CHAINE DE TRANSMISSION DVB-S	33
Figure 2.3 : Mot-code de Reed Salomon	36
Figure 2.5 : diagramme de constellation pour BPSK	38
Figure 2.6: Diagramme de constellation pour QPSK (codage gray binaire)	39
Figure 2.7 : Modèle de canal gaussien	43
Figure 2.8 : fonctionnement de l’algorithme Viterbi	44
Figure 2.9 : Pile de protocole DVB	45
Figure 2.10: Système de transmission DVB-S2	48
Figure 2.11 : Bloc d’adaptation	49
Figure 2.12 : Trame BBFRAME	49
Figure 2.13: structure d’un BBFRAME	50
Figure 2.14 : principe des codes LDPC	52
Figure 2.15 : structure d’un FECFRAME	54
Figure. 2.16 : Constellation de modulation QPSK	55
Figure 2.17: mappage de Bit dans 8PSK constellation	55
Figure 2.18 : Standard 4+12 APSK constellation	56
Figure 2.19: mappage de Bit dans 32-APSK constellation	57
Figure 2.20 : structure de trame PL	58
Figure 3.1 : chaîne de transmission simplifiée de l’émetteur et réception	64
Figure 3.2 : la hiérarchie des codes correcteurs	68

Figure 3.3 : système de codage RS par bloc	71
Figure 3.4 : Synchronisation d'une transmission par paquet.....	75
Figure 3.5 : Le principe de codage convolutif	76
Figure 3.6 : l'algorithme de viterbi	78
Figure 3.7 : Représentation générique d'un codeur convolutif	78
Figure 3.8 : diagramme en arbre	79
Figure 3.9 : diagramme en treillis	80
Figure 3.10 : diagramme d'états	81
Figure 4.1 : fenêtre de la bibliothèque Simulink Library browser	84
Figure 4.2 : Configuration d'un modèle Simulink	86
Figure 4.3 : la modélisation d'une chaîne de canal AWGN avec de modulation BPSK	86
Figure 4.4 : taux d'erreur binaire d'une chaîne de modulation BPSK	87
Figure 4.5 : la constellation de modulation BPSK (Entrée / Sortie)	88
Figure 4.6 : le signal d'entrée de canal AWGN	88
Figure 4.7 : Signal de sortie de canal AWGN	89
Figure 4.8 : Signal sortie de modulation BPSK	89
Figure 4.9 :Modélisation d'une chaîne de modulation QPSK sans correcteur d'erreur	90
Figure 4.10 : la constellation de modulation QPSK (Entrée / Sortie)	90
Figure 4.11 : taux d'erreur d'une chaîne de modulation QPSK	91
Figure 4.12 : Signal avant de modulation QPSK	92
Figure 4.13 : signale d'entrée d'un filtre de transmis	92
Figure 4.14 : signale sortir d'un filtre de transmis	93
Figure 4.15 : le signale sortir d'un canal AWGN et l'entrée d'un filtre recievre	93
Figure 4.16 : le signale sortir d'un filtre recievre	94
Figure 4.17 : le signale après d'un démodulation QPSK	94
Figure 4.18 : modèle de simulation de modulation QPSk avec code convolutif	95
Figure 4.19 : taux d'erreur binaire d'une chaîne de code convolutif	95

Figure 4.20 : le signale d'entrée de décodeur convolutif	96
Figure 4.21 : le signale sortir de décodeur convolutif	96
Figure 4.22 : modèle de simulation d'une chaine de AWGN avec code RS	97
Figure 4.23 : taux d'erreur binaire de différents valeurs de code RS	98
Figure 4.24 : modèle de simulation d'une chaine de transmission de DVB-S	98
Figure 4.25 : taux d'erreur binaire d'une chaine de transmission DVB-S	99

Liste des Tableaux :

Tableau 1.1 : DVB Standard Family	23
Tableau 1.2 : Evolution du standard de communication par satellite	29
Tableau 2.1 : Principaux paramètres d'une chaîne DVB-S	34
Tableau 2.1 : Codage paramètres pour normal FECFRAMEndpc=64800 / FECFRAMEndpc=16200	53
Tableau 2. 2 : Modulation et taux de codage utilisés	54
Tableau 2.3 : Paramètres De La Constellation Optimale À 16apsk	56
Tableau 2.4 : rapports de rayon de constellation optimaux γ_1 et γ_2 (canal linéaire) pour 32 APSK.....	58
Tableau 4.1 : montre la relation entre le rapport E_b / N_0 et le TEB en canal AWGN	87
Tableau 4.2 : montre la relation entre le rapport E_b / N_0 et le TEB avec modulation QPSK ..	90
Tableau 4.3 : montre la relation entre le rapport E_b / N_0 et le TEB avec code convolutif	96
Tableau 4.4 : montre la relation entre le rapport E_b / N_0 et le TEB avec code RS	97

Liste des abréviations :

HDTV : High Définition Télévison

DVB : Digital Video Broadcasting

MPEG-2 : Moving Pictures Experts Group 2

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying

OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

HD OU SD : Haut Diffusion Ou Super Diffusion

TV : Television

FSS : Fixed-Satellite Service

BSS : Broadcasting Satellite Service

DTH : Direct To Home

IRD : L'institut De Recherché Pour Le Développement .

SMATV : Satellite Master Antenna Television

RS : Code Reed-Solomon

DVB-T : Digital Video Broadcasting-Terrestre

DVB-T2 : Digital Video Broadcasting-Terrestre Version 2

DVB-C : Digital Video Broadcasting-Cable

DVB-H : Digital Video Broadcasting- Terrestre Pour Des Appareils Mobiles/Portables

DVB-S : Digital Video Broadcasting-Satellite

DVB-S2: Digital Video Broadcasting-Satellite Version 2

COFDM : Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

QAM : Quadrature Amplitude Modulation

SNR : Signale Noise Ratio

IIS : Interférence Inter-Symbole

A/D : Conversation Analogique Digitale

IFFT : Inverse Fast Fourier Transforme

T-Dmb : Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting

L'ISDB-T : Integrated Services Digitale Broadcasting-Terrestrial

3G ET 4G : 3eme Et 4eme Génération

ETSI : European Telecommunications Standards Institute

CENELEC : Comité Européen De Normalisation En Electronique Et En Electrotechnique

TNT : Télévision Numérique Terrestre

MPEG-4 AVC OU H.264 : Moving Pictures Experts Group 4 Advanced Video Coding

AAC : Advanced Audio Coding

HE-AAC : High-Efficiency Advanced Audio Coding

HE-AAC V2 : High-Efficiency Advanced Audio Coding Version 2

LNB : Low Noise Blockconverter

DVB-CI : Digital Video Broadcasting-The Common Interface

FEC : Forward Error Correction

CCM ET ACM : Constant Coding And Modulation Et Adaptive Coding And Modulation

LDPC : Low-Density Parity-Check Code

BCH : Bose, Ray-Chaudhuri Et Hocquenghem

AWGN : Additive White Gaussian Noise

CNN : Cable News Network

DVB -RCS : Digital Video Broadcasting- Return Channel System

GW : Giga Watt

ST1 ET ST2 : Supplement Transport 1 Et Supplement Transport 2

MPEG-2 TS : Moving Pictures Experts Group 2 Transport Stream

DVD : Digital Versatile Disc

PSK : Phase Shift Keying

BPSK : Binary Phase Shift Keying

DPSK : Differential Phase Shift Keying

TEB : Taux D'erreurs Par Bit

DQPSK : Differential Quadrature Phase Shift Keying

IP : Internet Protocol

ISO/CEI 1,2 ET 3 : International System Organization / Commission Électrotechnique Internationale 1,2 Et3

SVCD : Super Video Cd

RF : Radar Fixe Ou Radio-Fréquence .

CRC : Cyclic Redundancy Check

BBFRAME : Base Bande Frame

RSB : Rapport Signal Sur Bruit

DFL : Data Field

MSB ET LSB : Most Significant Bit Et Least Significant Bit

BER : Binary Error Rate

CNR OU C/N : Carrier To Noise Ratio

PI : Physical Layer

Mdp : Mécanisme Pour Un Développement Propre

Ecc : Error Correcting Code

Taz : Tout A Zéro

DMH : Distance Minimale De Hamming

Introduction

générale

Les procédés de télécommunication ont évolué, et sont devenus plus de plusieurs milliers de kilomètres de la vitesse de transmission et de réception d'informations et de données de vitesse et sans les tracas pour déplacer dans la transmission lorsque la technologie dépassait la technologie de diffusion analogique, et était remplacée par la diffusion numérique, ce qui présente de nombreux avantages par rapport à la diffusion analogique. Une meilleure diffusion d'image et de son, avec une possibilité de transférer de nombreux canaux et données dans les mêmes bandes de fréquences et de réduire ainsi le coût de transmission du facteur 5 au 8, aussi il peut aussi transférer une grande quantité de données associée aux programmes.

Deux grandes normes majeures ont été élaborées à partir de cette diffusion numérique: la première en Amérique appelée HDTV (télévision à haute diffusion) et la seconde appelée DVB (diffusion vidéo numérique ou digital vidéo broadcasting en anglais).

La vidéo numérique est diffusée sur plusieurs modes de diffusion: la diffusion terrestre, la diffusion par câble, la diffusion spéciale pour les systèmes Mobiles/ portables et la diffusion par satellite, cette dernière est celle dont nous allons discuter dans le cadre de notre projet actuel et à travers laquelle, nous allons étudier sa chaîne de transmission. Selon notre étude du modèle OSI uniforme des systèmes de communication automatisés et des systèmes de télécommunication du modèle de transmission et de réception de données, il est composé de « codage et décodage Reed-Solomon et code interne convolutif, entrelacement / d'entrelacement, Modulation/démodulation de QPSK, décodage **viterbi** et canal AWGN ». Ces codages correcteurs des erreurs inévitables dans le processus de transmission, et sont considérés comme négatifs pour la diffusion numérique. Nous les évaluons et les traiterons en calculant le taux d'erreur binaire dans le canal et le rapport signal/bruit pour cela nous nous appuyons sur l'incorporation de la chaîne de transmission dans le programme de simulation Matlab.

Le développement DVB-S de la diffusion vidéo numérique par satellite a introduit une nouvelle technologie appelée DVB-S2 (diffusion vidéo numérique par satellite dans la deuxième génération) , caractérisée par une meilleure qualité de diffusion des images et du son en mode **HD** (haute diffusion) et capture d'erreurs.

nous avons répartie ce projet en quatre (04) chapitres:

Première Chapitre : nous allons étudier sur les généralités des systèmes de diffusion, les types de diffusion vidéo numérique, les caractéristiques et les généralités des satellites.

Deuxième Chapitre : Nous allons étudier la chaîne de transmission et certains de ses concepts et relations mathématiques .

Troisième Chapitre : Nous allons étudier les performances du codage Reed-Solomon et du codage Convolutif sur un canal AWGN .

Quatrième Chapitre : Nous allons étudier le programme Matlab, dans lequel nous allons étudier la simulation des chaînes de transmission de DVB-S (la diffusion numérique par satellite) et les résultats graphiques.

***Chapitre 01 : Généralités sur le
Système de
diffusion vidéo DVB-S***

Chapitre 01 : Généralités sur le Système de diffusion vidéo DVB-S

1.1. Introduction :

Par télévision numérique, on entend la diffusion de programmes télévisés sous forme numérique, commençant avec la transformation des images en flux de données numériques. Par rapport au mode analogique, la télévision numérique offre une qualité d'image et de son nettement meilleure.

La diffusion de programmes télévisés en Europe, comme dans la plupart des autres pays du monde, passe par la norme **DVB**, qui, en plus des programmes radio, offre des informations et services supplémentaires. [1]

1.2. Historique de DVB :

Le projet DVB a commencé la première phase de son travail en 1993¹ à la même période où en Amérique du Nord, le forum "Grand Alliance" organise également le même type de développements, avec en ligne de mire, la télévision numérique puis Haut Diffusion (HD).

Il faut souligner que certains acteurs impliqués participent à la fois aux deux forums concurrents mais dont les objectifs sont similaires, notamment les Européens Philips Consumer Electroniques et Thomson Consumer Electroniques. Cette double implication favorise successivement l'adoption de plusieurs normes parmi lesquelles, le MPEG-2, les modulations QPSK et OFDM ainsi qu'une série de brevets dont les licences sont pratiquement mises en commun.

Le projet DVB exploite également l'expérience acquise par les mêmes acteurs pour le développement, le lancement et l'exploitation des normes analogiques de télévision améliorée en Europe : le D2 Mac, le HD Mac ainsi que les accès conditionnels Euro Crypt (Philips, France Télécom), Video crypt (Thomson Consumer Electronics) ou SECA (Canal+). [2]

1.3. Présentation Généralités sur la norme DVB :

DVB définit comment une norme pour transmettre des données au format **MPEG-2** [3], désigne la retransmission vidéo numérique et caractérise, d'un point de vue technique, les procédés pour la retransmission de contenus numériques (télévision, radio, plusieurs canaux son, dolby sur round, des services interactifs) comme on les connaît déjà par l'Internet et le télétexte. [1].

Chapitre 01 : Généralités sur le Système de diffusion vidéo DVB-S

le système de modulation et de codage de canal (appelé "système") pour les services de télévision multiprogramme numérique (TV) / télévision haute définition (TVHD) par satellite à utiliser pour la distribution primaire et secondaire dans le service fixe par satellite (FSS) et le service de radiodiffusion par satellite (BSS) bandes.

Le système est destiné à fournir des services de diffusion directe (DTH) au décodeur de récepteur intégré (IRD) grand public, ainsi qu'à des systèmes à antenne collective (SMATV) et à des têtes de télévision par câble, avec une probabilité de modulation.

Le système utilise une modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) et une stratégie de protection contre les erreurs concaténées basées sur un code de convolution et un code de Reed Solomon (RS) raccourci.

Le système convient à une utilisation sur différentes largeurs de bande de transpondeurs de satellites. [4]

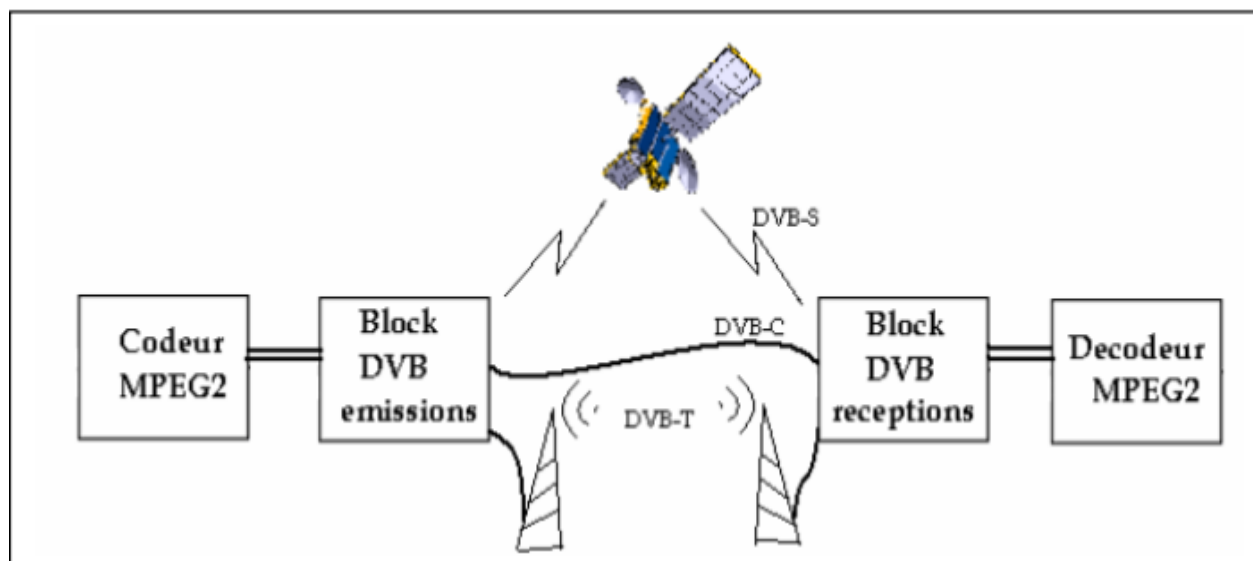


Figure 1.1 : Les Supports de Diffusion Numérique [5]

La technique numérique donne libre cours à une plus grande variété des médias et permet, dans un futur proche, la convergence de la télévision, de l'Internet ainsi que des téléphones mobiles, et cela non seulement au niveau technique mais de plus en plus au niveau du contenu.

Comme pour la télévision analogique, plusieurs possibilités de retransmission pour la télévision numérique sont possibles, en partant de la même norme DVB avec ses différentes variantes :

Chapitre 01 : Généralités sur le Système de diffusion vidéo DVB-S

DVB-T (terrestre) , DVB-C (câble) , DVB-S (satellite) , DVB-H (terrestre pour des appareils mobiles/portables). [1]

DVB Family	Modulation	Channel Bandwidth	Data Rate
DVB-S (satellite)	QPSK	33 MHz	38 Mbit/sec
DVB-C (Cable)	64 QAM	8 MHz	38 Mbit/sec
DVB-T (Terrestrial)	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	5, 6, 7 or 8 MHz	22 to 25 Mbit/sec

Tableau 1.1: DVB Standard Family

1.3.1. Le standard de diffusion numérique DVB-T :

DVB-T est la diffusion vidéo numérique par terrestre ou (Digital Video Broadcasting – Terrestrial en anglais) est une norme de diffusion de la télévision numérique par liaisons hertziennes terrestres. Il s'agit de l'une des normes de la famille DVB qui comprend des normes de diffusion de la télévision numérique par différents moyens.

Le DVB-T définit la méthode de transmission des services télévisés (audio, vidéo et données) ;

Il utilise une modulation OFDM avec une concaténation du codage de canal en COFDM. [6]

La norme DVB-T permet de mettre en place des réseaux iso fréquence synchrones, ce qui permet d'économiser les fréquences en utilisant la même fréquence pour des émetteurs qui couvrent des zones adjacentes. pour offrir de bonnes performances en prenant en compte les contraintes d'une transmission hertzienne : [6]

1. bande disponible réduite : 8 MHz par multiplex TV
2. atténuation forte au niveau du récepteur
3. le rapport signal / bruit (SNR) est limité à 18,6 dB environ

Chapitre 01 : Généralités sur le Système de diffusion vidéo DVB-S

4. interférence avec les canaux adjacents ;
5. Interférence Inter-Symbole (IIS) importante liée à des multi trajets longs (distance et temps de propagation importants) .

Le DVB-T est utilisé par tous les pays d'Europe, au proche et Moyen-Orient, dans la zone pacifique ainsi que dans certains pays d'Asie, d'Afrique et d'Amérique. Le format destiné à succéder au DVB-T est le DVB-T2. [6]

1.3.1.1. Schéma bloc du standard DVB-T :

Après un générateur de données, le bloc **MPEG-2** est utilisé pour la compression de l'image et du son.

Par la suite, il y a le bloc mapper qui effectue la modulation numérique en bande de base afin de placer les symboles numériques dans la constellation. Le bloc **A/D** est un convertisseur.

Il effectue la conversion d'un nombre entier en un mot binaire. Nous passons ensuite au bloc **OFDM** qui applique la **IFFT**. Le bloc « **Guard Interval Insertion** » a pour but d'insérer un intervalle de garde entre les symboles.

A la réception, les techniques inverses sont appliquées pour reconstruire le signal original. [5]

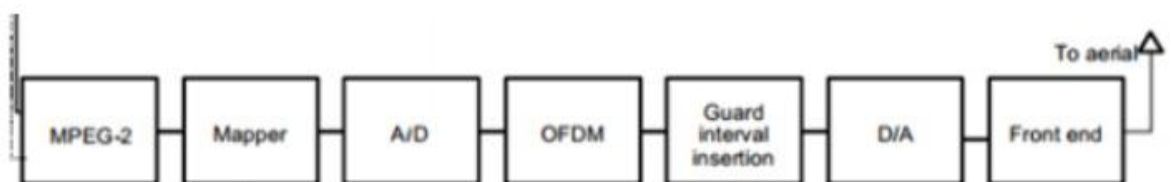


Figure 1.2 : Schéma à blocs fonctionnels du standard DVB-T.

En **DVB-T** est utilisé un codage canal utilisant un bloc de code et un code de **convolution**. En plus délais techniques de codage de canal sont également utilisées pour l'entrelacement des techniques afin d'éviter les erreurs dans les blocs de sortie au démodulateur . [5]

Chapitre 01 : Généralités sur le Système de diffusion vidéo DVB-S

1.3.2. Le sous standard DVB-H :

Le **DVB-H** (*Digital Video Broadcasting – Handheld* en anglais) et en français, **Diffusion vidéo numérique - mobile**) est un système de radiodiffusion numérique destiné à une réception de la télévision sur terminal mobile.

Les principales technologies concurrentes du **DVB-H** sont le **T-DMB** et l'**ISDB-T** et l'utilisation des réseaux mobiles 3G et 4G pour recevoir les chaînes de télévision.

DVB-H est un standard de transmission vidéo élaboré par le projet **DVB** et édités par l'**ETSI** et le **CENELEC** en 2004.

DVB-H est une adaptation du **DVB-T**, le système pour la télévision terrestre numérique (**TNT**), aux exigences des récepteurs de poche.

DVB-H offre un canal descendant à haut débit utilisable tel quel ou en complément des réseaux de télécommunication mobiles.

Le codec vidéo utilisé est le **MPEG-4 AVC**. Les codecs audio possibles sont **AAC**, **HE-AAC**, **HE-AAC v2**.

La modulation numérique **COFDM** permet de résister aux échos et ainsi renforcer la réception mobile.

La technique de multiplexage par intervalle de temps permet de réduire la consommation électrique pour les petits terminaux, la partie réception radio n'ayant à fonctionner que pendant l'intervalle de temps dévolu au programme sélectionné.

Chaque intervalle de temps inclut des datagrammes IP qui peuvent contenir jusqu'à **2 Mbits** de données (incluant les éléments de contrôle d'un code de Reed-Solomon). [7]

Chapitre 01 : Généralités sur le Système de diffusion vidéo DVB-S

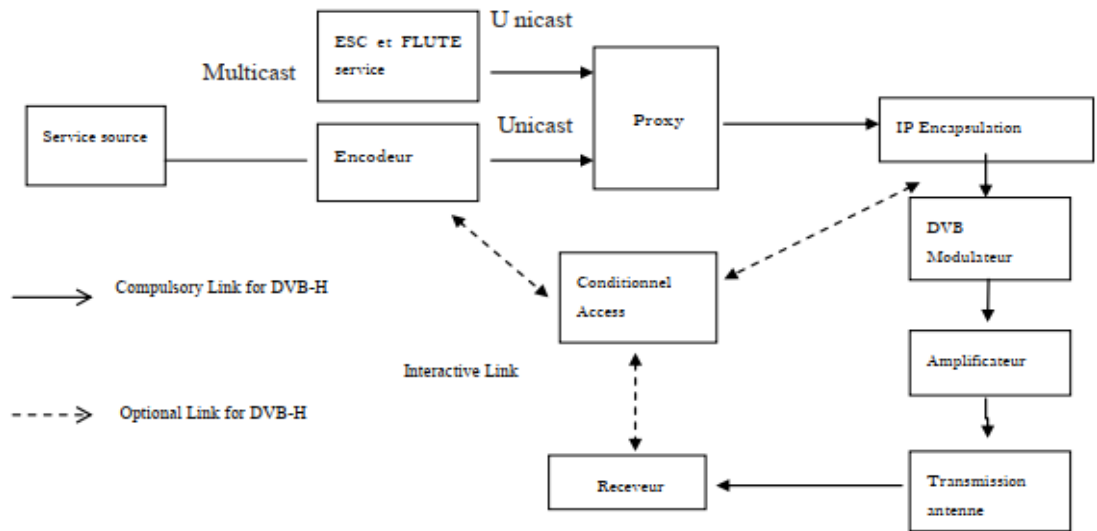


Figure 1.3 : Système de transmission DVB-H [5]

1.1.1. Le sous standard DVB-C :

C'est un standard pour la diffusion de vidéo numérique par câble. A l'origine, le DVB-C a été conçu pour assurer la continuité des émissions par satellite, maintenant, il a un large domaine d'application.

Le câble coaxial, la fibre optique et les techniques mixtes de câblage se prêtent bien à l'acheminement des signaux de télévision.

Le câble est un milieu bien protégé mais à bande réduite.

Donc la modulation choisie est une modulation à efficacité maximale, c'est-à-dire transportant un maximum de bits par symbole, c'est la modulation du type QAM, à 16, 32 ou 64 états. Le développement d'autres modulations plus performantes, comme le QAM-128 et la QAM-256, est actuellement à l'ordre du jour.

Un décodeur sera équipé d'un circuit correcteur d'échos afin de compenser des échos courts liés à des désadaptations dans la connectique ou les éléments passifs.

Chapitre 01 : Généralités sur le Système de diffusion vidéo DVB-S

La largeur des bandes d'un canal en matière de transmission sur câble est de l'ordre de 7 à 8MHz.

Cette faible largeur constitue l'une des difficultés les plus importantes en ce qui concerne la transmission des signaux numériques de télévision. [8]

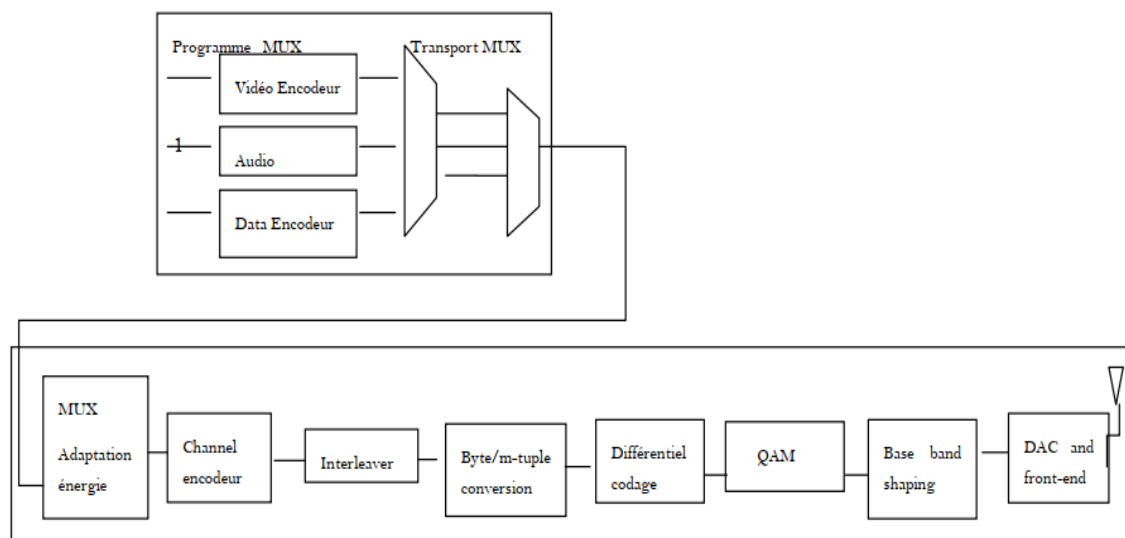


Figure 1.4 : SYSTEME DE TRANSMISSION DVB-C [5]

1.3.3. Définition Transmission par satellite DVB-S :

DVB-S (**D**igital **V**ideo **B**roadcasting-**S**atellite) est la variante pour la diffusion de DVB par satellite (par exemple ASTRA, Eutelsat).

Cette variante est la plus utilisée. Grâce à l'éventail large bande, la plupart des chaînes radio et télé ainsi que des services supplémentaires y sont diffusés. Les satellites ASTRA par exemple, transmettent à eux seuls plus de 1500 programmes radio et télé, quelques 200 programmes sont non codés .

Le DVB-S peut partiellement figurer comme fournisseur de données pour les câblodistributeurs ou pour les réseaux DVB terrestres.

Chapitre 01 : Généralités sur le Système de diffusion vidéo DVB-S

L'antenne parabolique nécessaire pour la réception des programmes diffusés par satellite au Luxembourg doit avoir un diamètre d'au moins 50 à 60 cm. Pour une réception optimale des signaux numériques, on recommande un diamètre de 80 à 90 cm.

D'autre part, un convertisseur **LNB** (**L**öw **N**oise **B**lock converter) est indispensable, fonctionnant dans la bande de fréquences 10,7-12,75 GHz. [1]

La norme **DVB-S** (Digital Video Broadcasting - Satellite) est l'application de la norme **DVB** aux transmissions par satellite.

Le développement de la norme s'est fait de 1993 à 1997 avec une première version émise en 1994. La première application commerciale a été mise en place par **Canal+** pour la France, permettant ainsi la diffusion de la télévision numérique par satellite au grand public.

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

Des fabricants commercialisent en Europe des télévisions avec *tuners* DVB intégrés mixtes (**DVB-T/DVB-S**). Ces appareils permettent aux téléspectateurs de recevoir directement sans récepteur externe les chaînes de TV en clair (ou cryptées avec l'interface commune DVB-CI), par satellite, en **MPEG 4 AVC** ou **MPEG 2**, en HD ou SD.[9]

On utilise pour cela le **FEC** (*Forward Error Correction*). C'est-à-dire que l'émetteur envoie, avec signal, des informations pour la correction d'erreurs, dans le but de permettre au récepteur de reconstituer le flot de bits (si des erreurs se produisent).

Le **FEC** utilisé avec la modulation **QPSK** comporte deux formes de correction d'erreurs. [5]

Chapitre 01 : Généralités sur le Système de diffusion vidéo DVB-S

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

Tableau 1.2 : Evolution du standard de communication par satellite.[5]

1.3.3.1. caractéristiques d'une transmission satellite :

1. La bande disponible est relativement large : de 26 à 36 MHz,
2. Le canal est de type **AWGN** (*Additive White Gaussian Noise*),
3. Le signal est fortement atténué et dominé par le bruit,
4. La transmission est en ligne directe. ...[9]

1.4. Les Avantages Et Inconvénients :

1.4.1. Les principaux avantages de la télévision par satellite sont :

- la possibilité d'apprendre des langues étrangères et de découvrir d'autres cultures, grâce à sa grande variété de chaînes étrangères ;
- vous pouvez voir ce qu'il se passe dans les autres pays ou connaître le point de vue adopté sur un événement (par exemple, regarder la réaction de la CNN après la catastrophe du 11 septembre 2001) ;
- elle dispose d'un grand choix de chaînes gratuites.

Chapitre 01 : Généralités sur le Système de diffusion vidéo DVB-S

1.4.2. la télévision par satellite peut poser problème puisqu'elle :

- nécessite de la place pour installer l'antenne ;
- peut se brouiller avec le mauvais temps. [10]

1.5. Parabole satellite :

1.5.1. Présentation :

La parabole pour la télévision par satellite est essentielle pour la réception des programmes de télévision par satellite.

Elle est équipée d'une tête universelle qui permet la réception des signaux analogiques et numériques émis par un satellite.

La parabole peut aussi être motorisée afin de pouvoir capter des programmes émis par différents satellites. [11]

1.5.2. Installation parabole satellitaire :

L'antenne satellite de type parabole se fixe généralement sur un tube parfaitement vertical pour faciliter son orientation.

L'installation de la parabole ne se résume pas seulement à l'antenne, mais aussi à son câblage et à son orientation, sans oublier le décodeur ; il est donc préférable d'avoir recours à un antenniste.

La parabole peut être placée indifféremment en hauteur ou sur le sol.

La seule restriction est qu'il n'y ait pas d'obstacle dans son champ de réception. L'orientation se fait à l'aide d'une boussole, vers le sud, et le pointage précis de l'antenne (élévation et azimut) se fait en fonction du ou des satellites que l'on souhaite recevoir. [11]

1.5.3. types de satellites :

• Les satellites transparents : ce type de satellite permet la propagation du signal sur la voie descendante sans aucun traitement supplémentaire. La conversion du signal DVB-RCS en DVB-S2

Chapitre 01 : Généralités sur le Système de diffusion vidéo DVB-S

s'effectue donc au sol dans la GW, ce qui implique un double bond pour effectuer une transmission ST à ST (ST1 à satellite à GW, GW à satellite à ST2).

- Les satellites avec traitement à bord : ce type de satellite possède une charge utile capable de faire un traitement et conversion du signal à bord, donc une capacité de communication de ST à ST en un seul bond (ST1 à satellite à ST2). [12]

1.6. conclusion :

Nous avons parlé dans ce chapitre sur **DVB** est un standard de communication définit comment transmettre des données au format **MPEG-2** en utilisant le satellite (**DVB-S**), le câble (**DVB-C**) et la diffusion terrestre (**DVB-T**) et la diffusion terrestre pour des appareils mobiles/portables (**DVB-H**),

mais nous sommes basés dans ce chapitre sur **DVB-S**. Ce standard a attiré l'intérêt des opérateurs et des chercheurs dans le domaine de communications en vu de sa bande large et des contraintes non strictes par rapport aux autres supports de transmissions.

L'évolution de **DVB-S** est une nouvelle version **DVB-S2** (Digital Video Broadcasting - Satellite 2) qui vient pour répondre à ces besoins actuels dans le domaine de communication. existe depuis maintenant quelques années, elle est beaucoup utilisée pour les transmissions HD. Les récepteurs **DVB-S2** sont compatibles avec les émissions **DVB-S**, mais pas l'inverse. [9]

Chapitre 02 :

La chaine de transmission de DVB-S / DVB-S2

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

2.1. Introduction :

Le satellite membre de la famille **DVB**, **DVB-S**, est défini dans la norme européenne EN 300 421. Il décrit notamment le système de modulation et de codage de canal pour les services de télévision numérique multiprogramme (**TV**) / télévision haute définition (**HDTV**) par satellite: utilisé pour la distribution primaire et secondaire dans les bandes du service fixe par satellite (**FSS**) et du service de radiodiffusion par satellite (**BSS**).

DVB-S est destiné à fournir des services de diffusion directe (DTH) aux décodeurs de récepteurs intégrés grand public (IRD), ainsi qu'aux systèmes d'antennes collectives et aux stations d'accès tête de la télévision par câble. DVB-S est compatible avec différentes largeurs de bande de transpondeurs de satellites et est compatible avec les services de télévision codés MPEG 2 (Moving Picture Experts Group 2). [13]

2.2. La chaîne de transmission de DVB-S :

Une fois le flux MPEG-2 TS créé, celui-ci est traité pour être émis vers le satellite par la couche DVB-S. Ce niveau est en constante évolution suite aux nombreux progrès technologiques tels que les turbo-codes ou l'apparition du DVB-S 2.

Si l'on reste sur les dernières normes DVB-S, les flux MPEG-2 TS sont traités par la chaîne de codage suivante (Figure 2.1).

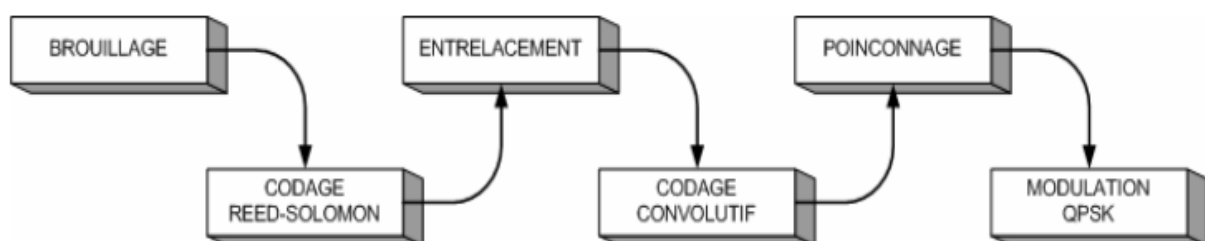


Figure 2.1 : Aperçu de la chaîne de codage du DVB-S

cette partie se contente de retracer les étapes principales du codage physique [7] [12] [14]

• **Le brouillage** : aussi appelé dispersion d'énergie, il permet d'éviter une trop longue succession

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

de 1 ou de 0 qui aurait comme impact la création d'une raie à forte énergie. Le signal est multiplié par la sortie d'un générateur pseudo aléatoire.

- **Le codage Reed-Solomon** : ce codage rajoute un code de 16 octets à la fin du paquet MPEG-2 TS, permettant de corriger au maximum 8 octets défectueux.

- **L'entrelacement** : ce mélange des données permet d'éviter les suites consécutives d'erreurs, plus difficiles à corriger, en entrelaçant les octets de plusieurs paquets.

- **Le code convolutif** : code en treillis, il ajoute de la redondance au signal à raison de 2 bits pour 1 (décodage Viterbi).

- **Le poinçonnage** : il permet d'améliorer le rendement du code convolutif en éliminant certains bits (on parle de Forward Error Code pour ce rendement).

- **La modulation QPSK** : elle permet de moduler le signal sans faire de modulation d'amplitude puisque le signal est très bruité par le travail en saturation des transpondeurs. Le débit symbole de la chaîne de transmission est 27,5Mbit/s de 106 symboles par seconde, pour un transpondeur de 35 MHz, d'où un débit utile de 38 Mbit/s pour un **FEC** de $\frac{3}{4}$. [15]

2.3. Principaux paramètres d'une chaîne d'émission/réception DVB-S

Le tableau 1 résume les principales caractéristiques d'une chaîne d'émission-réception DVB-S comme celle présentée schématiquement sur la figure 2.2 .

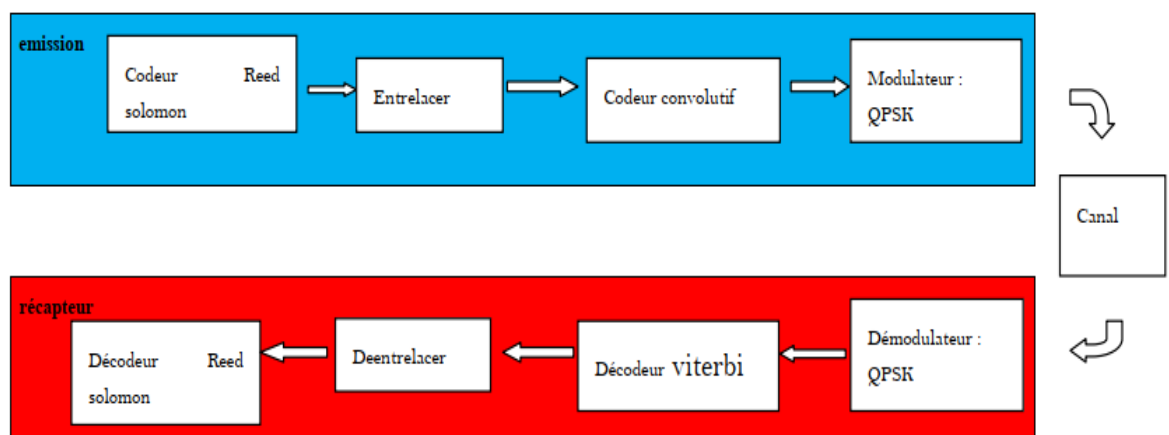


Figure 2.2 : LA CHAINE DE TRANSMISSION DVB-S

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

la chaîne de transmission fait apparaître le code correcteur d'erreur en mode bloc, Reed-Solomon (codage externe ou sortir code) avec des tailles de bloc avant codage de 188 octets et 204 octets après. L'entrelacement a pour objectif d'étaler sur une plus longue période de temps les rafales d'erreurs introduites par le canal. Le codage convolutif (ou codage interne, inner code) appliqué par la suite corrige d'autres types d'erreurs et permet d'atteindre des seuils de taux d'erreurs binaires inférieurs à 10^{-10} (Quasi Error Free).

Toutefois, il introduit une forte redondance des données réduisant par la même l'efficacité spectrale du canal. La norme prévoit le choix entre plusieurs taux de codage 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 et 7/8 dans le but de s'adapter à différentes conditions de transmissions et fournir plusieurs débits pouvant atteindre 43 Mbit/s de débit théorique utile.

Toutefois, un seul code doit être sélectionné ne donnant ainsi qu'une seule chaîne de transmission.

La seule modulation prévue par la norme est une modulation de phase à quatre états, QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) avec une réponse en fréquence en cosinus surélevé (Roll-off) de 0,35.

[16]

Paramètres d'une chaîne DVB-S	
Codage vidéo	MPEG-2
Codage Audio	MPEG-1
Longueur des paquets transportés	188 octets
Polynôme de brouillage	$1+X^{14}+X^{15}$
Codeur de Reed-Solomon	204, 188, T=8
Entrelacement convolutif	12 blocs
Codeur convolutif	171, 133
Modulation	QPSK
Roll-off	0,35
Largeur du canal	de 26 à 36 MHz
Débit	23,7 à 41,5 Mb/s

Tableau 2.1 : Principaux paramètres d'une chaîne DVB-S.

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

2.3.1. Codage Reed Solomon:

Les codes Reed-Solomon sont des codes de correction d'erreurs basés sur des blocs, destinés à un large éventail d'applications dans les communications et le stockage numériques. Il est vulnérable aux erreurs aléatoires mais fort aux erreurs en rafale. Par conséquent, il a de bonnes performances dans les canaux qui ont plus d'erreurs en rafale.

En théorie de codage, les codes de Reed – Solomon (RS) sont des codes de correction d'erreur cycliques inventés par Irving S. Reed et Gustave Solomon [6]

Ils ont décrit une méthode systématique de construction de codes permettant de détecter et de corriger plusieurs erreurs de symbole aléatoires.

En ajoutant t des symboles de contrôle aux données, un code RS peut détecter toute combinaison jusqu'à t symboles erronés, et corrigez jusqu'à $\lfloor t / 2 \rfloor$ symboles.

En tant que code d'effacement, il peut corriger jusqu'à des effacements connus, ou il peut détecter et corriger des combinaisons d'erreurs et d'effacements.

Les codes Reed-Solomon sont utilisés pour corriger les erreurs dans de nombreux systèmes, notamment: [17]

- Périphériques de stockage (y compris bandes, disques compacts, DVD, codes à barres, etc.)
- Communications sans fil ou mobiles (y compris téléphones cellulaires, liaisons hyperfréquences, etc.)
- Communications par satellite
- Télévision numérique / DVB

Le code de Reed-Solomon est un code détecteur et correcteur. Ce code est basé sur les corps de Galois dont le principe est de construire un polynôme formel à partir des symboles à transmettre et de le sur-échantillonner. Le résultat est alors envoyé, au lieu des symboles originaux. La redondance du sur-échantillonnage permet au récepteur du message encodé de reconstruire le polynôme même s'il y a eu des erreurs pendant la transmission. Ces codes ont une propriété importante, ils sont linéaires et font partie des codes **BCH**. Le codeur prend k symboles de donnée (chaque symbole contenant s bits) et calcule les informations de contrôle pour construire n symboles, ce qui donne $n-k$ symboles de contrôle. Le décodeur peut corriger au maximum t symboles, ou $2t=n-k$. [2] [5]

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

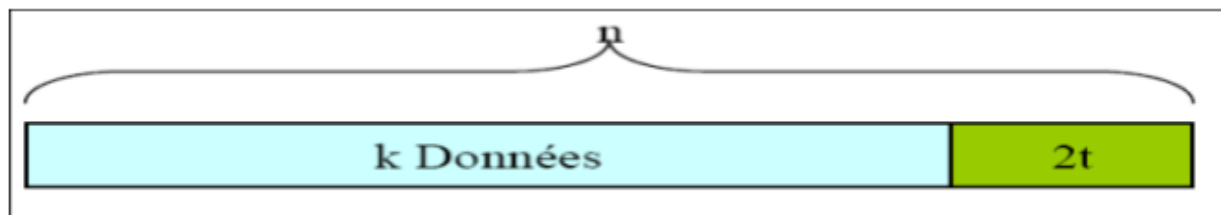


Figure 2.3 : Mot-code de Reed Salomon

2.3.2. L'entrelaceur

L'entrelacement est une technique très utilisée dans un grand nombre de systèmes de communications numériques. En fait, un entrelaceur prend une séquence de symboles en entrée et reproduit la même séquence à la sortie mais dans un ordre temporel complètement différent. On peut dire alors qu'un entrelaceur est un système qui permute les éléments d'une séquence, sans bien sûr, aucune répétition. La combinaison de deux codeurs RSC et un entrelaceur a permis de créer un code avec de meilleures propriétés de distance de Hamming. [18]

A l'émission, les octets d'un paquet sont répartis dans d'autres paquets, ce qui permet d'éviter d'avoir à corriger une longue suite de bits (ou octets) faux consécutifs. L'entrelacement permet de répartir les erreurs sur plusieurs paquets, facilitant ainsi la détection et la correction d'erreurs du décodeur RS.

Le principe de l'entrelaceur convolutif utilise plusieurs registres à décalages qui vont induire un retard. L'entrelaceur utilise deux paramètres : le nombre de branches K et la profondeur T (en octet) du registre à décalage de base. [5]

2.3.3. Le Codeur Convolutifs :

Les codes convolutifs, peuvent être considérés comme un cas particulier des codes en bloc linéaires, mais un point de vue plus large nous fera découvrir que la structure convolutif additionnelle munit le code linéaire de propriétés favorables qui facilitent à la fois son codage et améliorent ses performances.

Les codes convolutifs forment une classe extrêmement souple et efficace de codes correcteurs d'erreurs. Ce sont les codes les plus utilisés dans les systèmes de télécommunications fixes et mobiles.

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

Théoriquement, ils ont les mêmes caractéristiques que les codes en blocs sauf pour la valeur de leur dimension et leur longueur.

Les codes convolutifs s'appliquent sur des séquences infinies de symboles d'information et génèrent des séquences infinies de symboles codés.[19]

2.3.4. Modulation Phase- Shift Keying (PSK) :

Le phase-shift keying (ou **PSK**, soit « modulation par changement de phase₁ ») désigne une famille de formes de modulations numériques qui ont toutes pour principe de véhiculer de l'information binaire via la phase d'un signal de référence (porteuse), et exclusivement par ce biais.

Comme pour toute technique de modulation numérique, la phase en question ne peut prendre qu'un nombre fini de valeurs. Chacune de ces valeurs représente un unique nombre binaire, dont la taille (et donc la quantité d'information transmise) dépend du nombre de valeurs possibles pour la phase. Généralement, pour une modulation **PSK** donnée, les nombres binaires représentés sont tous de même taille.

Les formes de **PSK** les plus utilisées sont la **BPSK** (ou **2-PSK** : deux valeurs de phase possibles), la **QPSK** (ou **4-PSK** : quatre valeurs de phase possibles) et la **DPSK** (différentiel-PSK : où l'information est contenue non pas dans une valeur absolue de phase, mais dans le déphasage entre deux signaux successifs). [20]

2.3.4.1. Modulation Binary phase- Shift Keying (BPSK) ou PSK- 2 :

BPSK est la forme la plus simple du **PSK**. Elle utilise deux phases qui sont séparées de 180° ; on l'appelle également **2-PSK**. Cette modulation est la plus robuste de toutes les **PSK** car il faut une grande déformation du signal pour que le démodulateur se trompe sur le symbole reçu.

Cependant on ne peut moduler qu'un seul bit par symbole (voir le schéma), ce qui est un inconvénient pour les applications qui nécessitent un débit binaire élevé.

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

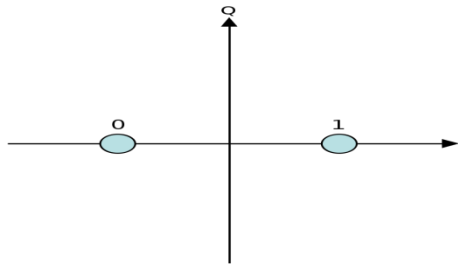


Figure 2.5 : diagramme de constellation pour BPSK.

Le taux d'erreur binaire du **BPSK** peut être calculé ainsi :

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (\text{eq 2.1})$$

Comme il y a un bit par symbole, cela correspond également au taux d'erreur de symbole. [20]

2.3.4.2. La modulation Quadrature-Phase Shift Keying (QPSK) ou PSK- 4 :

La transmission satellite demande des codes de corrections puissants et une modulation la moins sensible possible aux distorsions de phase et d'amplitude.

En effet la transmission est énormément bruitée, et les tubes des transpondeurs travaillant en saturation, il est hors de question de travailler avec une information modulée en phase.

2.3.4.2.1. Émission

Le principe de la modulation **QPSK** est de grouper l'envoi de bits deux par deux.

On peut considérer l'envoi de chaque symbole comme étant composé de deux porteuses simultanées et combinées (les voies **I** et **Q**). Les porteuses étant indépendantes, on obtient donc un **TEB** égal à celui d'une modulation **BPSK** (avec l'utilisation d'un code de Gray), c'est-à-dire :

$$TEB = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (\text{eq 2.2})$$

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

2.3.4.2.2. Calcul du débit utile:

Pour revenir à des considérations pratiques, nous allons calculer le débit utile en sortie de multiplexeur, en fonction de la largeur du canal satellite.

La largeur d'un canal satellite à -3 dB est de 36 MHz. On a vu que, de part le filtrage de Niquyst, le débit du signal binaire que l'on va pouvoir transporter est égale à :

$$D_{\text{binaire}} = \frac{\text{largeur Canal Satellite}}{(1 + \alpha)} \quad (\text{eq 2.3})$$

Avec

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{2}} \right) \quad (\text{eq 2.4})$$

(*erfc* est la fonction d'erreur associée à la densité de probabilité Gaussienne), *E_b* l'énergie d'un bit et *N₀* la puissance du bruit

Le débit utile, en sortie de multiplexeur, est égale à: Débit utile= débit brute x rendement du code Reed Solomon x rendement du code convolutif. Le rendement du code Reed Solomon est égale à 188/204 Le rendement du code convolutif est égale au **FEC**. [21]

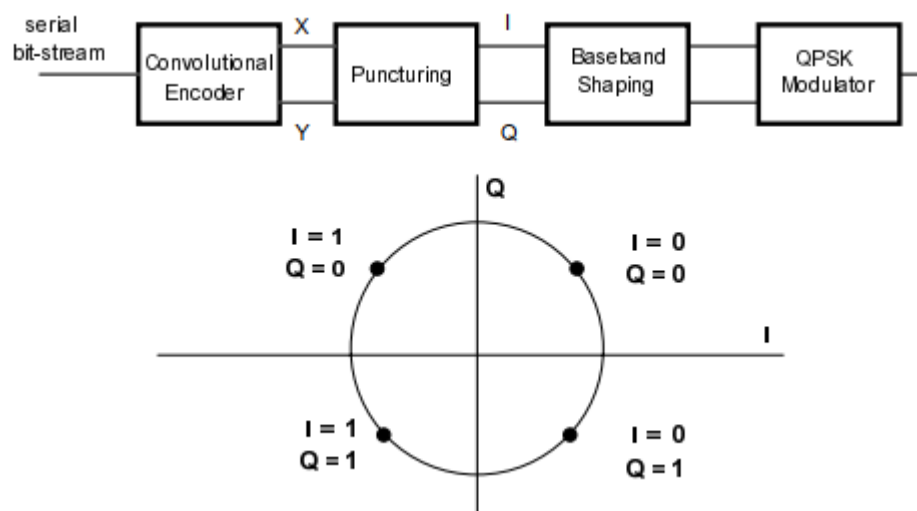


Figure 2.6: Diagramme de constellation pour QPSK (codage gray binaire).

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

Le filtre square root raised cosine de la bande de base doit avoir une fonction théorique définie par l'expression suivante:

Ou : $\mathbf{H}(f) = 1$ pour $|f| < f_n (1 - \alpha)$

$$\mathbf{H}(f) = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2f_0} \left[\frac{f_n - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2}$$

$\mathbf{H}(f) = 0$ pour $|f| > f_n (1 - \alpha)$ (eq 2.5)

$$F_N = \frac{1}{2T_0} \frac{R_0}{2} \quad \text{(eq 2.6)}$$

F_n : Nyquist frequency

α : facteur de roll-off ou décroissance

2.3.5. Codage des canaux :

Puisqu'il s'agit d'une transmission par satellite, il faut une bonne protection contre les erreurs. C'est pourquoi il utilise un codage **FEC** (Forward Error Correction) pour ajouter de la redondance afin de pouvoir effectuer une correction d'erreur au niveau du récepteur. [22]

2.3.6. Canal à bruit additif, blanc et gaussien (AWGN) :

2.3.6.1. Rappels sur la Capacité :

En 1948 Shannon [3] a démontré un théorème prouvant que l'on pouvait transmettre des données à un débit R_b (bits/sec) sur un canal de taille W (Hz) avec un taux d'erreurs aussi faible que l'on désire à condition de ne pas dépasser la capacité C (bits/sec) du canal. Shannon a déterminé la capacité C d'un canal additif gaussien blanc (AWGN). Cette capacité s'écrit :

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{B} \right) \quad \text{(eq 2.7)}$$

Le rapport $\frac{S}{B}$ représente le rapport signal sur bruit.

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

En général on préfère utiliser directement le rapport $\frac{E_b}{N_0}$ Or, si on transmet à un débit R_b égal à la capacité C , la puissance du signal utile P_s s'écrit :

$$P_s = R_b \cdot E_b = C \cdot E_b \quad (\text{eq 2.8})$$

la puissance de bruit P_b dans la bande W s'écrit :

$$P_b = N_0 \cdot W \quad (\text{eq 2.9})$$

le rapport signal sur bruit devient donc :

$$\frac{S}{B} = \frac{C \cdot E_b}{W \cdot N_0} \quad (\text{eq 2.10})$$

La formule de la capacité de Shannon devient alors :

$$\frac{C}{W} = \log_2 \left(1 + \frac{C \cdot E_b}{W \cdot N_0} \right) \quad (\text{eq 2.11})$$

Le terme $\frac{C}{W}$ représente la capacité normalisée par la bande de fréquence et s'exprime en bits/sec/Hz.

On obtient alors :

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{\frac{C}{W} - 1}{\frac{C}{W}} \quad (\text{eq 2.12})$$

pour $\frac{C}{W} = 1$, on trouve : $\frac{E_b}{N_0} = 1$ (0dB)

$$\frac{E_b}{N_0} = e^{\left(\frac{C}{W} \ln(2) - \ln\left(\frac{C}{W}\right) \right)} \quad (\text{eq 2.13})$$

le rapport $\frac{E_b}{N_0}$ croît donc exponentiellement lorsque $\frac{C}{W} \rightarrow \infty$

pour $\frac{C}{W} \rightarrow 0$, on trouve :

$$\frac{E_b}{N_0} = \lim_{\frac{C}{W} \rightarrow 0} \frac{2^{\frac{C}{W}} - 1}{\frac{C}{W}} = \ln(2) = (-1.6 \text{ dB}) \quad (\text{eq 2.14})$$

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

la courbe de capacité va donc présenter une asymptote à $\frac{E_b}{N_0} = -1.6 \text{ dB}$

La courbe ci-dessous présente la courbe de capacité de Shannon et un certain nombre de performances de modulations.

L'optimisation de la capacité est un point extrêmement important dans la mise au point de systèmes de communications par satellite.

Les marges des bilans de liaison sont en général très faibles et les points de fonctionnement, en terme de rapport $\frac{E_b}{N_0}$, sont très bas.

Les modulations utilisées sont très souvent du type **QPSK** ou **DQPSK**. La tendance actuelle est d'utiliser des filtrages avec des roll-off très faibles (jusqu'à 0.15) et de tolérer un léger chevauchement des porteuses (espacement de 0.1 temps symbole).

De manière générale, la comparaison de toute solution avec la courbe de capacité de Shannon permet de savoir si l'on peut encore gagner en capacité, soit donc en nombre d'utilisateurs du système, ou si on est déjà à la limite d'occupation de la bande de fréquence considérée. [23]

Le premier modèle est le plus utilisé en théorie. Il s'agit du bruit blanc gaussien et additif (**AWGN**).

Ce modèle implique que le bruit du canal est une variable aléatoire n qui s'additionne au signal modulé transmis (figure 2.7).

Dans ce cas, la variable n est gaussienne, de moyenne nulle et de variance σ^2 . Ce bruit est avant tout un modèle basé sur les deux suppositions suivantes [2]:

1. Tous les bits ont même probabilité, quelle que soit leur position.
2. Les erreurs des différentes positions sont indépendantes.

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

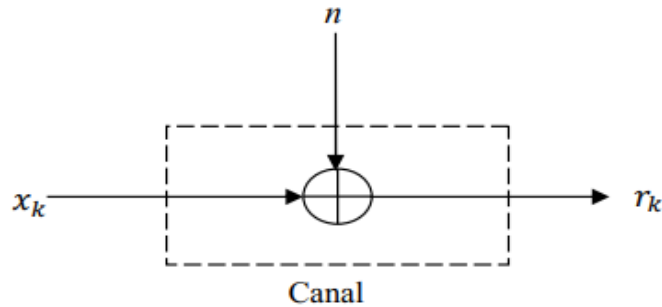


Figure 2.7 : Modèle de canal gaussien

Mathématiquement, nous pouvons écrire la densité de probabilité du bruit blanc gaussien et additif comme:

$$p(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{n^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{eq 2.15})$$

La densité spectrale de ce type de bruit est constante, symétrique et uniforme de valeur $1/2$. Si nous considérons la variable du signal modulé 2, il nous est possible de donner la sortie du canal comme :

$$r_k = x_k + n \quad (\text{eq 2.16})$$

$$p(r_k/x_k) = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} e^{-\frac{(r_k - x_k)^2}{N_0}} \quad (\text{eq 2.17})$$

Le modèle de bruit blanc gaussien et additif est très simple et très pratique, comme nous l'avons dit, pour les calculs théoriques.

Ce type de bruit ne reflète pas bien la réalité dans les communications spatiales. [15]

2.3.7. Décodeur Viterbi :

Le codage est une technique dans laquelle une redondance est ajoutée à la séquence originale de bits pour augmenter la fiabilité de la communication.

Permet de discuter un schéma simple binaire codage convolutif à l'émetteur et le Viterbi associé (maximum de vraisemblance) schéma de décodage au niveau du récepteur.

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

Ce poste d'écrit l'algorithme de décodage de Viterbi pour un simple code binaire convolutif avec un taux de 1/2, longueur de contrainte et ayant un polynôme générateur $[7,5]_8$.

Pour plus de détails sur le code de convolution binaire, se référer à la convolution. [24]

2.3.7.1. L'algorithme de viterbi :

L'algorithme de Viterbi permet à la réception d'un mot r de déterminer le mot de code v le plus proche (à maximum de probabilité) et un algorithme de programmation dynamique et prend en compte la structure répétitive du treillis. [25]

- ✦ A chaque instant, deux branches appartenant à deux chemins différents, convergent vers chaque nœud.
- ✦ De ces deux chemins, l'un est plus vraisemblable, c'est-à-dire se trouve à une distance plus petite de la séquence reçue, que l'autre chemin.
- ✦ Les distances étant additives, il est possible de ne conserver en chaque nœud que le chemin le plus vraisemblable, appelé **survivant**.

Si deux chemins sont aussi vraisemblables, un seul chemin est arbitrairement conservé. [26]

Émission des données dans un codeur convolutif avec un registre à décalage et des ou exclusifs

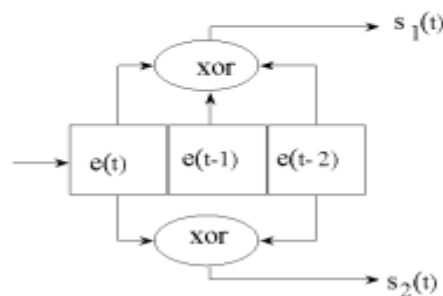


Figure 2.8 : fonctionnement de l'algorithme Viterbi

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

2.4. Le standard DVB-S et la norme MPEG-2 :

2.4.1. La pile protocolaire DVB-S :

Le DVB-S a été conçu avec la possibilité de transporter des données autres que l'audio et la vidéo. Ainsi lorsqu'un paquet IP, par exemple, doit être acheminé via satellite, une entité de niveau 3 doit être présente en bordure du système pour encapsuler et multiplexer les paquets IP en cellules MPEG-2 [1].

La pile protocolaire du standard DVB-S dont un aperçu est fourni par la figure 3.2 montre qu'aussi bien pour le plan utilisateur que pour le plan de contrôle et de gestion DVB-S s'appuie sur la norme MPEG-2.

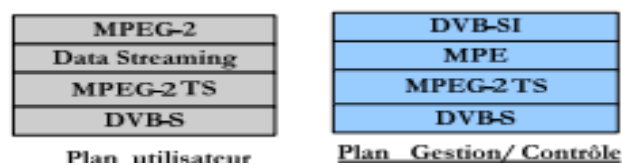


Figure 2.9 : Pile de protocole DVB

MPEG-2 joue donc un rôle prépondérant dans DVB-S aussi bien au niveau du traitement de données (compression, encapsulation, transmission) qu'au niveau de la signalisation. [16]

2.4.2. la norme MPEG-2 :

MPEG a été créé afin d'établir des normes internationales pour la codification audio et vidéo. Pour cette tâche, un certain nombre de normes ont été créées sous le nom MPEG-2. [11]

MPEG-2 est la norme de seconde génération (1994) du Moving Picture Experts Group qui fait suite à MPEG-1. MPEG-2 définit les aspects compression de l'image et du son et le transport à travers des réseaux pour la télévision numérique.

Les aspects Systèmes (synchronisation, transport, stockage) sont définis dans la norme ISO/CEI 13818-1 (Codage générique des images animées et du son associé - Partie Systèmes). Les aspects

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

compression, quant à eux, sont définis dans les normes ISO/CEI 13818-2 et 3 (Codage générique des images animées et du son associé - Parties vidéo, audio).

Ce format vidéo est utilisé pour les DVD et SVCD avec différentes définitions d'image. Ce format est également utilisé dans la diffusion de télévision numérique par satellite, câble, réseau de télécommunications ou hertzien (TNT).[27]

2.5. Le standard DVB-S2 :

2.5.1. Introduction :

Le DVB-S2 a été publié en mars 2005 par l'ETSI pour pallier les limites du standard DVB-S. On assistait depuis quelques années à une carence croissante des fréquences, accentuée par l'avènement de nouveaux services de diffusion à haute définition. Le DVB-S2 représente la solution pour accroître la capacité de transmission, en particulier celle de la télévision numérique haute définition par satellite.

Le système DVB-S utilise la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) en conjonction avec le codage de convolution interne RS (Reed-Solomon) et la correction d'erreur directe (FEC). Le système DVB-S2 utilise d'autres schémas de modulation en plus du kit QPSK.

QPSK et 8-PSK (8 touches de décalage de phase) sont utilisées pour la radiodiffusion sur des répéteurs de satellites non linéaires, tandis qu'il est utilisé lorsqu'un transpondeur hautement linéaire et un meilleur rapport C / N (carrier-to-noise) sont disponibles.

La correction d'erreur utilisée dans DVB-S2 utilise BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) avec LDPC (contrôle de parité à faible densité) codage interne, son rapport de codage étant 1/4, 1/3, 2 / 5, 1 / 2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 ou 9 / 10.[7] Très défavorable conditions avec rapport SNR inférieur à 0 dB - les rapports de code 1/4, 1/3 ou 2/5 avec schéma de modulation QPSK sont principalement utilisés.

Autre rapport de code 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 ou 9/10 SNR supérieur à 0 dB. [8]

Le DVB S2 avec algorithme de compression MPEG 4 délivre le HDTV (canaux TV haute définition) dans la même bande passante pour SDTV (canaux TV définition standard).[28] .

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

2.5.2. Caractéristiques de DVB-S2 :

- Un codage canal plus puissant LDPC (*Low Density Parity Check*) et BCH (Bose Chaudhuri Hocquenghem).
- Un mode adaptatif où la chaîne de transmission fait varier le débit utile en fonction des conditions de transmission.
- Un large éventail de codages et de modulations avec un total de 28 *ModCod* allant de QPSK $\frac{1}{4}$ à 32APSK 9/10, qui couvrent un grand intervalle de valeurs de signal sur bruit de -2 dB à +17 dB environ.
- Un format de trame ainsi qu'un schéma d'encapsulation plus efficace qui s'accommode d'une variété de sources d'entrée (flux continu, multiplex MPEG-TS, paquets IP...)
- La norme ne se restreint plus au seul standard de compression MPEG-2 (audio et vidéo). Elle s'adapte à un large éventail de schéma de compression et de codage, en particulier MPEG-4 et son option AVC, également standardisée par le groupe sous le nom de H.264.

Le DVB-S2 est une technologie relativement « jeune » si on considère les équipements industriels en vente sur le marché.

Toutefois, les performances qui se profilent des évaluations théoriques ainsi que des premières expérimentations sont largement meilleures que ce que présentait le DVB-S. [29]

2.5.3. La chaîne de transmission de DVB-S2:

Le système de transmission DVB-S2 est formé par des blocs pratiques qui assurent l'adaptation entre les flux d'entrées qui peuvent être des flux de transport MPEG ou des sources de données génériques et le signal RF à la sortie. Comme c'est montré dans la figure (2.10) , la chaîne de transmission est formée des séquences de bloc que nous allons les décrire ci dessous. [9]

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

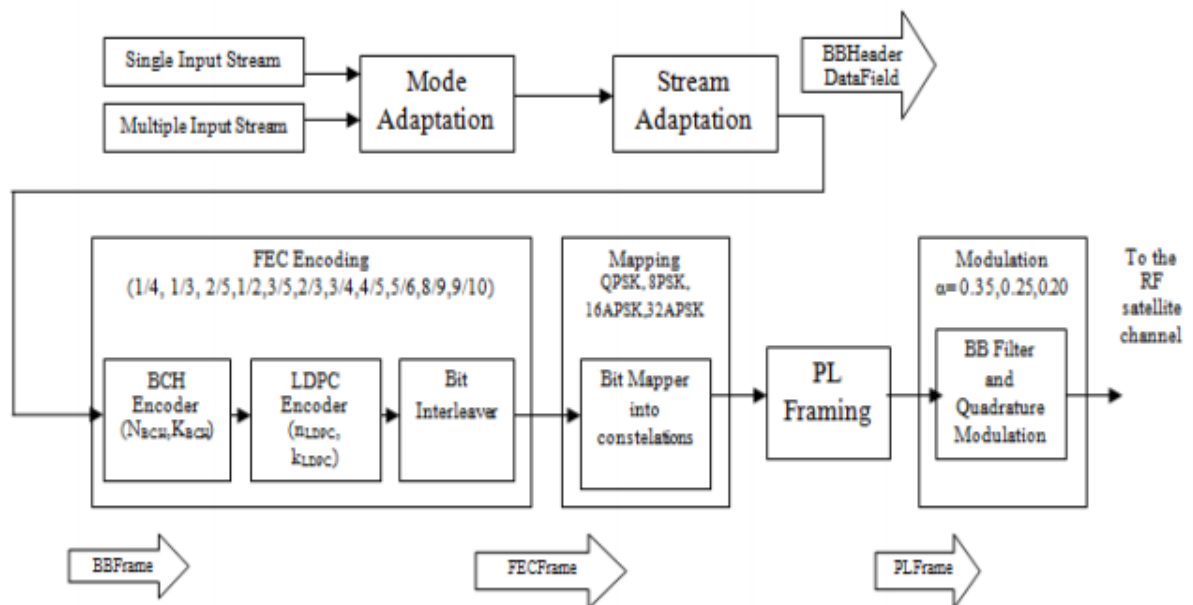


Figure 2.10: Système de transmission DVB-S2

2.5.3.1. Bloc d'adaptation :

C'est une interface d'entrée qui assure l'adaptation et la synchronisation des flux entrants. Il donne comme sortie des paquets de longueurs fixes $UPL=188 \times 8$ bits (User Packet Length).

L'adaptation passe par plusieurs étapes dont la première étape est la synchronisation. Cette étape a pour but d'assurer un débit constant.

La deuxième étape est la suppression des paquets nuls du flux MPEG après identification, ce qui permet de réduire le taux des données et d'augmenter le taux de protection. Les paquets nuls supprimés seront insérés dans leurs positions d'origine dans le récepteur.

Ensuite, l'information passe par un codeur pour la détection d'erreur CRC-8 (Cyclic Redundancy Check). Les différentes étapes du bloc d'adaptation sont présentées par la figure 2.11.[6]

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

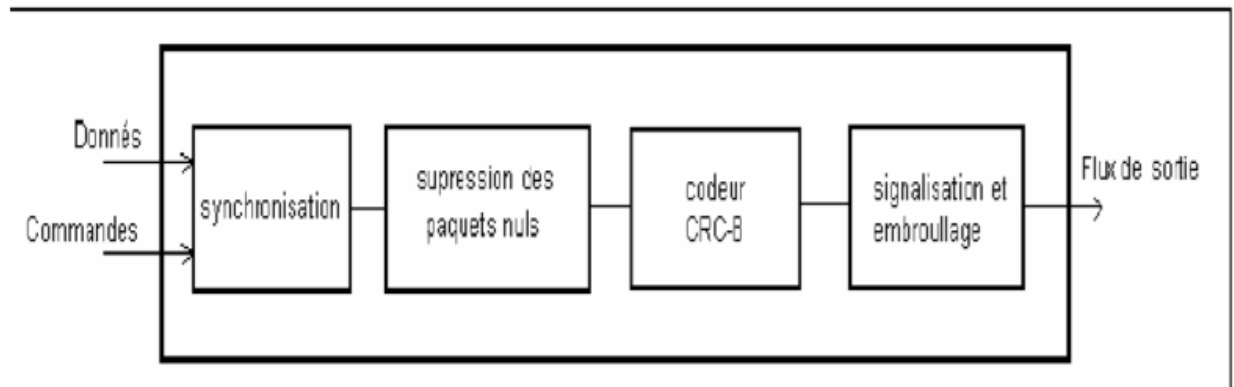


Figure 2.11 : Bloc d'adaptation

2.5.3.1.1. Adaptation du Streaming :

Dans le but de répondre au problème de variabilité de la bande passante des réseaux, un système de transmission doit adapter son taux de transmission au débit de transmission dicté par les conditions du réseau. Deux types d'adaptations ont été proposés dans la littérature, l'un est dit statique et l'autre est dit dynamique. [3]

Les données sont, ensuite, regroupées dans des champs plus grands : DF (Data Field), pour les quelles nous ajoutons des informations de signalisation de longueur fixe (80 bits) pour obtenir la trame **BBFRAME** (Base Band Frame), comme c'est montré dans la figure 13. [6]

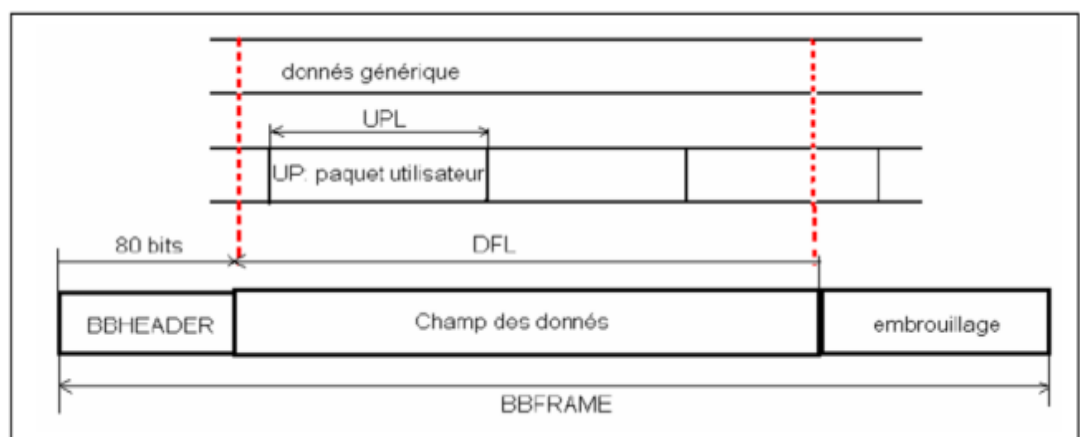


Figure 2.12 : Trame BBFRAME.

Les principales améliorations des systèmes DVB-S2 sont les suivantes:

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

mise en œuvre du code adaptatif et de la modulation (ACM) et utilisation de systèmes FEC plus efficaces proches de la limite de Shannon en théorie (réduction du rapport signal sur bruit de 1 dB) [3].

En pratique, les études ont montré que pour une réception acceptable, le seuil de RSB minimal est d'environ 1,6 dB et augmente les performances globales du système de 30%. La figure (2.12) présente le schéma fonctionnel du traitement de l'émetteur DVB-S2. [31]

2.5.3.2. Encodeur FEC :

La correction d'erreur directe (FEC) est une technique de traitement du signal numérique utilisée pour améliorer la fiabilité des données. Pour ce faire, il introduit des données redondantes, appelées codes de correction d'erreur, avant la transmission ou le stockage des données. La FEC offre au récepteur la possibilité de corriger les erreurs sans canal inversé pour demander la retransmission des données. [32]

2.5.3.3. BBFRAME :

La sortie du générateur de source de paquets est mise en mémoire tampon pour créer une trame de bande de base (**BBFRAME**). La taille de cette trame est liée au taux de codage utilisé, égale à la taille d'entrée du codeur **BCH**. Les bits d'information ou appelés Data Field (**DFL**) peuvent être calculés comme indiqué dans la formule ci-dessous:

$$\text{DataField} = \text{Kbch} - 80$$

Où **Kbch** correspond à la taille de l'entrée **BCH** du codeur **FEC** externe et 80 à la taille de l'entête **BBFrame**. La structure d'un **BBFRAME** est illustrée à la figure (2.13) . [33]

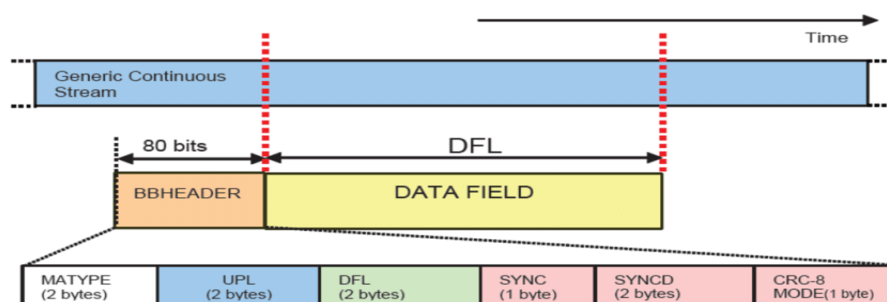


Figure 2.13: structure d'un BBFRAME

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

2.5.3.4. Codes BCH :

Le code BCH (Bose, Chaudhuri, Hocquenghem) est un code correcteur. Il reprend les initiales de ses inventeurs Bose, Ray-Chaudhuri et Hocquenghem.

Il est utilisé pour corriger des erreurs aléatoires suivant un certain taux de correction. Il est à plusieurs niveaux, cyclique et à longueur variable.

Il est difficile de calculer le taux de correction d'un code cyclique mais il est toutefois possible de garantir la minoration de la distance d'un code, et, à la suite de cela, une minoration du taux de détection d'erreur.

Il est possible de construire des codes avec un taux de correction choisi, mais pour ce faire il faut parvenir à trouver une racine primitive adéquate à ce dernier. [34]

2.5.3.4.1. Caractéristiques générales de Code BCH :

Soit $m \geq 3$. Les codes BCH binaires sont des codes possédant les caractéristiques suivantes :

- Longueur du code : $n = 2^m - 1$.
- Dimension du code : k
- Nombre de bits de vérification : $n - k \leq mt$ avec $t < 2^{m-1}$
- Distance minimum : $d_{\min} \geq 2t + 1$

On pourra donc détecter un maximum de $2t$ erreurs et corriger un maximum de t erreurs. [35]

2.5.3.5. Code LDPC :

Les codes LDPC (low density parity check) sont des codes en blocs dont la matrice de parité comporte un faible nombre de 1 [6] ; ils ont été bien étudiés d'un point de vue théorique depuis leur redécouverte en 1995 [7], et les problèmes posés par leur intégration matérielle commencent à être abordés. Le choix d'un code LDPC pour la norme DVB-S2 rend le sujet de très grande actualité. [36]

En 2003, un code LDPC a été préféré à six Turbo Codes pour devenir le code de correction d'erreur retenu dans le nouveau standard **DVB-S2** pour la transmission par satellite de la télévision numérique.

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

En 2008, LDPC a été choisi plutôt qu'un système de Turbo Codes comme système de correction d'erreurs (FEC) pour la norme ITU-T G.hn. G.HN a choisi LDPC plutôt que les turbo-codes en raison de leur complexité de décodage plus faible (surtout quand ils fonctionnent à des débits de données de près de 1 Gbit/s). [37]

Peut être défini par un graph bipartite :

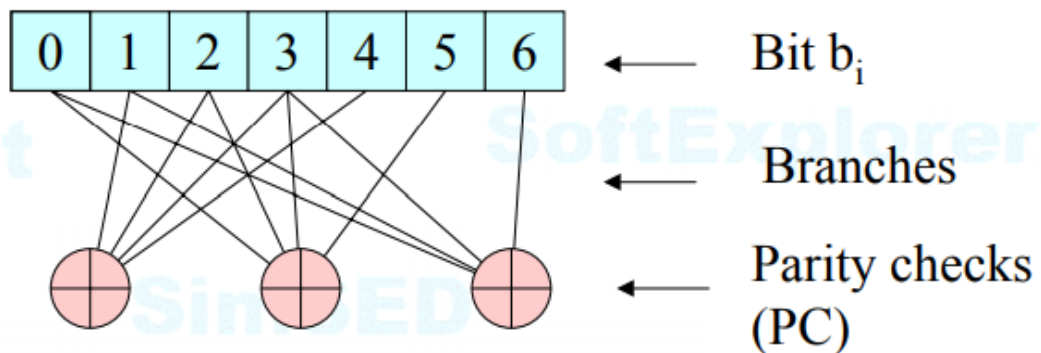


Figure 2.14 : principe des codes LDPC

(b_0, b_1, \dots, b_6) mot de code \Leftrightarrow toutes les PC sont respectées . [37]

Le codeur LDPC prend en charge 11 vitesses de codage. Ces débits de codage correspondent au rapport entre les bits d'information (bits N_{bch}) et les bits de bloc codés LDPC, qui est le FECFRAME. Exemple précédent pour le taux 1/4 dans un cadre normal, il montre: [36]

$$N_{bch} n_{ldpc} = 1620064800 = 14$$

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

LDPC Code	BCH Uncoded Block Kbch	BCH coded block Nbch LDPC Uncoded Block kldpc	BCH t-error correction	LDPC Coded Block nldpc	LDPC Code identifiant	BCH Uncoded Block Kbch	BCH coded block Nbch LDPC Uncoded Block kldpc	BCH t-error correction	Effective LDPC Rate kldpc/16 200	LDPC Coded Block nldpc
1/4	16008	16200	12	64800	1/4	3072	3240	12	1/5	16200
1/3	21408	21600	12	64800	1/3	5232	5400	12	1/3	16200
2/5	25728	25920	12	64800	2/5	6312	6480	12	2/5	16200
1/2	32208	32400	12	64800	1/2	7032	7200	12	4/9	16200
3/5	38688	38880	12	64800	3/5	9552	9720	12	3/5	16200
2/3	43040	43200	10	64800	2/3	10632	10800	12	2/3	16200
3/4	48408	48600	12	64800	3/4	11712	11880	12	11/15	16200
4/5	51648	51840	12	64800	4/5	12432	12600	12	7/9	16200
5/6	53840	54000	10	64800	5/6	13152	13320	12	37/45	16200
8/9	57472	57600	8	64800	8/9	14232	14400	12	8/9	16200
9/10	58192	58320	8	64800	9/10	NA	NA	NA	NA	NA

Tableau 2.1: Codage paramètres pour normal FECFRAME nldpc=64800 / FECFRAME nldpc=16200
[38]

2.5.3.6. Entrelacement de bits :

Le processus d'entrelacement est la prochaine étape de la norme DVB-S2 pour les modulations 8PSK, 16APSK et 32APSK. L'entrelacement sur QPSK ne sera pas effectué et, comme pour le DVB-S2, les modulations 16APSK et 32APSK ne sont pas incluses. [38]

2.5.3.7. FEC Frame :

Les bits de la trame FEC sont entachés (Mbits) en deux étapes. La première étape entrelace les bits de parité du code LDPC. Dans un deuxième temps, un entrelaceur de torsion de colonne est utilisé. En principe, c'est un bloc intrelacement .

Le flux binaire est écrit dans la matrice d'entrelaceur en colonne. La position de départ pour l'écriture dans les colonnes est tordue (décalée) pour chaque colonne.

Les bits sont lus dans la matrice par rang . [39]

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

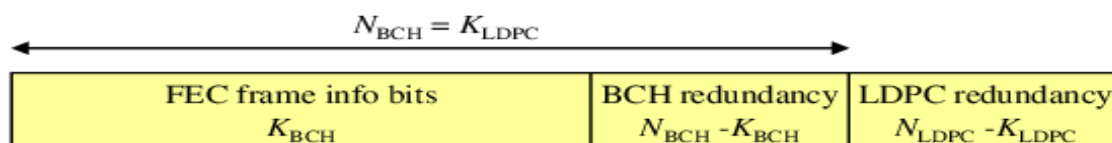


Figure 2.15 : structure d'un FECFRAME

2.5.3.8. Mappage des modulations QPSK, PSK-8, 16-APSK, 32-APSK en constellation :

pour de garantir la qualité de service requise par les différentes applications et d'exploiter les ressources spectrales d'une manière plus efficace, le DVB-S2 adopte à la fois un codage variable et une constellation variable.

Les différentes possibilités de modulation et de taux de codage sont données dans le tableau 2.2.

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

Tableau 2. 2: Modulation et taux de codage utilisés

2.5.3.8.1. Mappage de Modulation QPSK :

QPSK hiérarchique: la Fig. montre la hiérarchie QPSK. Pour décrire la géométrie de la constellation, il faut un paramètre, θ . Sans perte de généralité, on peut supposer que $0 \leq \theta \leq \pi / 4$. La QPSK uniforme correspond à $\theta = \pi / 4$.

Lorsque $\theta < \pi / 4$, le bit le moins significatif (LSB) du mappage de chaque symbole est plus protégé que le bit le plus significatif (MSB) en ce sens que son taux d'erreur sur les bits (BER) est inférieur.

Le flux HE est transmis avec le LSB (voir Figure 2.16).

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

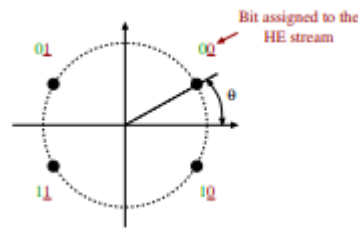


Figure. 2.16 : Constellation de modulation QPSK

Pour un θ et une énergie donnée par symbole (E_s), nous avons $E_{le} = \rho h_e E_s$ où $\rho h_e = \cos(\theta)^2$ (2)

Le paramètre ρh_e correspond à la quantité d'énergie alloué au flux HE. Remarquez que

$$E_{le} = (1 - \rho h_e) E_s. \quad (\text{eq 2.18})$$

Même si la conception de la QPSK hiérarchique est facile, qu'il améliore les performances d'un Système DVB-S2 lorsque les récepteurs rencontrent un mauvais canal conditions. À notre connaissance, la hiérarchie QPSK n'a pas encore été étudié ni utilisé . [40]

2.5.3.8.2. Mappage de Modulation PSK-8 :

Pour la 8PSK, le système doit utiliser la modulation 8PSK à codage Gray conventionnelle avec mappage absolu (pas de codage). Le mappage des bits dans la constellation 8PSK doit suivre la figure 2.16. L'énergie normalisée moyenne par symbole doit être égal à $\rho_2 = 1$.

Les bits $3i, 3i + 1, 3i + 2$ de la sortie de l'entrelaceur déterminent le symbole du i^{th} 8PSK, où $i = 0, 1, 2, \dots (N / 3) - 1$ et N est le taille de bloc LDPC codée. [41]

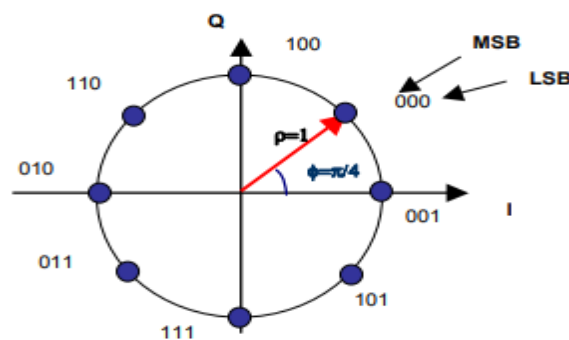


Figure 2.17: mappage de Bit dans 8PSK constellation

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

2.5.3.8.3. Mappage de Modulation 16-APSK :

Afin de déterminer les paramètres optimaux de la constellation 16APSK, différentes combinaisons de paramètres n_1 , n_2 et ϕ_1 ont été utilisées et pour chacune d'entre elles, le minimum de la dépendance fonctionnelle de la probabilité d'erreur de symbole P_s sur les paramètres Φ_2 et γ_1 a été établi.

L'analyse des résultats obtenus montre que le déphasage initial Φ_2 de la les points de signal du cercle extérieur n'impactent pas considérablement le P_s . Par conséquent, dans cette étude, on suppose que $\Phi_2 = 0^\circ$.

Ces dépendances ont été obtenues avec un rapport densité de puissance par symbole à puissance de bruit de $E_s / N_0 = 12 \text{ dB}$.

Lorsque de la détermination de la valeur du paramètre E_s / N_0 , le rapport de porteuse sur bruit (CNR) réel à l'entrée du récepteur satellite a été pris en compte (varie généralement entre 9 et 12 dB).

L'optimisation de mappage effectuée montre qu'il existe plusieurs combinaisons possibles de $m = \log_2 (M)$ bits correspondant aux points de signal, qui fournissent un minimum de dépendance fonctionnelle. [42]

Constellation Number (CN)	γ_1	n_1, n_2	ϕ_1	$P_{s, \min}$	PAPR
CN1	2.99	3, 13	60	0.1524	1.197
CN2	2.61	4, 12	45	0.1291	1.266
CN3	2.37	5, 11	36	0.1175	1.335
CN4	2.20	6, 10	30	0.1166	1.403

Tableau 2.3 : Paramètres De La Constellation Optimale À 16apsk.

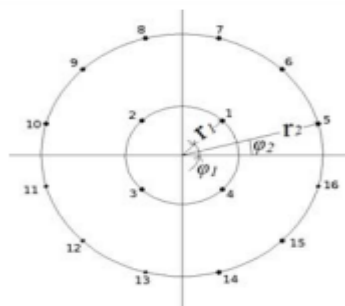


Figure 2.18 : Standard 4+12 APSK constellation

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

2.5.3.8.4. Mappage de Modulation 32-APSK :

La constellation de modulation 32APSK (voir la figure 2.19) doit être composée de trois anneaux concentriques de 4, 12 et 16 points PSK uniformément espacés, situés respectivement dans l'anneau intérieur de rayon R_1 , l'anneau intermédiaire de rayon R_2 et l'anneau extérieur ou rayon R_3 . Le tableau 10 définit les valeurs de $\gamma_1 = R_2 / R_1$ et $\gamma_2 = R_3 / R_1$.

Deux sont les valeurs admises pour les amplitudes de constellation, permettant l'optimisation des performances en fonction de la caractéristiques du canal (par exemple, une ou plusieurs porteuses par répéteur, utilisation d'une pré distorsion non linéaire):

- $E = 1$ ($E =$ énergie moyenne du symbole unitaire) correspondant à $[R_1]^2 + 3 [R_2]^2 + 4 [R_3]^2 = 8$.
- $R_3 = 1$.

Les bits $5i, 5i + 1, 5i + 2, 5i + 3$ et $5i + 4$ de la sortie d'entrelaceur déterminent le symbole i^{th} 32APSK, où $i = 0, 1, 2, (N / 5) - 1$. [41]

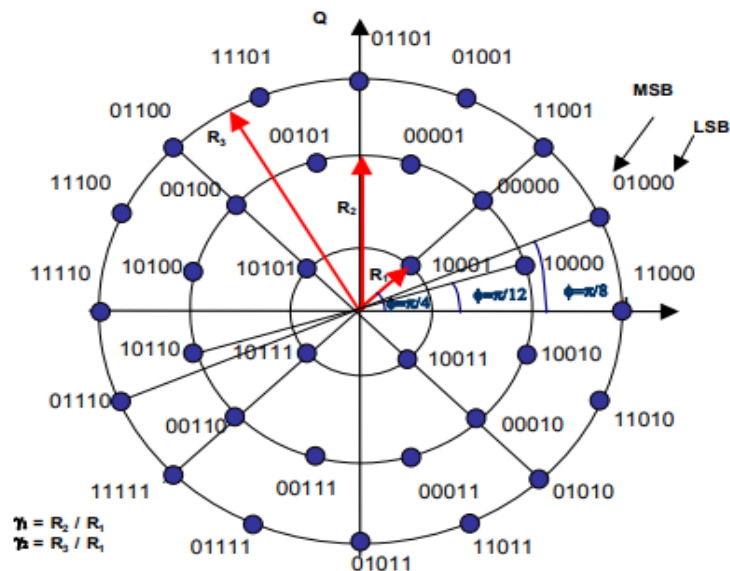


Figure 2.19: mappage de Bit dans 32-APSK constellation

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

Code rate	Modulation/coding spectral efficiency	γ_1	γ_2
3/4	3,74	2,84	5,27
4/5	3,99	2,72	4,87
5/6	4,15	2,64	4,64
8/9	4,43	2,54	4,33
9/10	4,49	2,53	4,30

Tableau 2.4: rapports de rayon de constellation optimaux γ_1 et γ_2 (canal linéaire) pour 32 APSK

2.5.3.9. PL FRAME (Physical Layer Framing) :

L'écran de trame dans la couche physique a été conçu pour assurer une synchronisation et une signalisation robustes au niveau de la couche physique.

Ainsi, un récepteur peut se synchroniser (récupération de porteuse et de phase, synchronisation de trame) et détecter les paramètres de modulation et de codage avant la démodulation et le décodage CED.

Le signal de couche physique DVB-S2 est composé d'une séquence normale de trames, le mécanisme de modulation et de codage est homogène, mais il peut varier (dans la configuration avec codage et modulation adaptatifs) d'une trame à la suivante.

Chaque trame est constituée d'une charge utile de 64 800 bits dans la configuration de la «trame normale» et de 16 200 bits dans celle de la «trame abrégée», correspondant à un bloc de code CED. Un en-tête de 90 symboles de modulation binaires précédant la charge utile contient les informations de synchronisation et de signalisation, permettant à un récepteur de se synchroniser (récupération de porteuse et de phase, synchronisation de trame) et de détecter les paramètres de modulation et de codage avant la démodulation et le décodage CED.

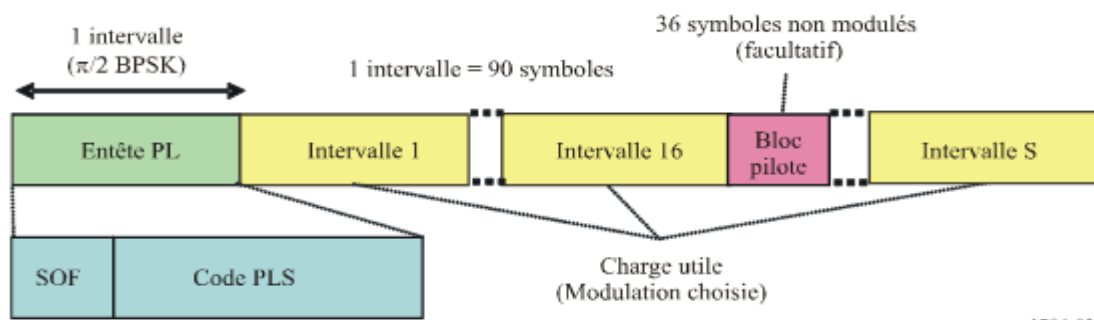


Figure 2.20 : structure de trame PL

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

L'écran de trame PL assure également:

- l'insertion facultative de trames PL fictives, lorsque aucune donnée utile n'est prête à être envoyée sur le canal .
- l'insertion de pilotes facultatifs pour faciliter la synchronisation du récepteur.

Les codes CED du système DVB-S2 sont en fait si puissants que la récupération de la porteuse peut vraiment poser problème pour les modulations d'ordre élevé réalisées avec de faibles valeurs du rapport SNR en présence de niveaux élevés de bruit de phase dans les convertisseurs et syntoniseurs de bloc à faible bruit (LNB, *low noise block*) de radiodiffusion par satellite: c'est en particulier le cas avec certains modes MDP-8, MDAP-16 et MDAP-32 à faible taux du système DVB-S2. [43]

2.5.3.10. Filtre BB (bande de base) :

un embrouillage en vue d'une dispersion de l'énergie est réalisé afin de respecter le Règlement des radiocommunications en matière d'occupation spectrale et de transmettre une sorte de «signature» de l'opérateur de service, en vue d'une identification rapide en cas d'erreurs dans les procédures associées à la liaison montante.

On applique ensuite un filtrage en bande de base et une modulation en quadrature, pour moduler le spectre du signal et produire le signal RF.

Un filtrage en racine carrée de cosinus biaisé est utilisé côté émission, avec quelques valeurs possibles pour le facteur de décroissance , suivant les restrictions en termes de largeur de bande. [43]

2.5.4. Bénéfices de DVB-S2 :

- Economies de bande passante
- Augmentation du débit de données
- Marges bénéficiaires plus importantes
- Flexibilité
- Amélioration du trafic IP

Chapitre 2 : La chaîne de transmission de DVB-S / DVB-S2

-Amélioration de la correction des erreurs . [44]

2.5.5. Différents entre DVB-S et DVB-S2 :

2.5.5.1. Techniques de modulation :

DVB S utilise seulement la modulation QPSK, mais DVB-S2 est utilisée également PSK-8, 16APSK et 32APSK pour plus dense les données .

2.5.5.2. Encodage :

Les signaux DVB S2 sont envoyés dans l'algorithme de compression MPEG 4 comme le disque blue ray contient les données en MPEG 4 .

2.5.5.3. FEC :

FEC signifie "Frequency Error Control". DVB S2 utilise les codes LDPC et BCH 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10 . LDPC signifie Low Density Parity Check et BCH signifie Bose Chaudhuri Hocquenghem coding. In LDPC codage FEC est fait avec moins de bits de données seulement.

DVB S2 offre un faible niveau de bruit même en dessous du plancher de bruit. [45]

2.6. Conclusion :

DVB-S est la norme la plus largement utilisée pour la télévision par satellite. DVB-S utilise la norme **MPEG-2** pour le codage des données, ainsi que le codage d'erreur directe, le codage Reed-Solomon et le codage convolutif pour rendre le signal robuste contre le grand nombre d'erreurs inhérentes à la transmission par satellite. Il utilise également QPSK pour moduler le signal, ce qui permet de coder les informations dans la phase au lieu de l'amplitude, ce qui contribue également à rendre le signal suffisamment robuste pour le canal. [10]

DVB S2 utilise l'algorithme BCH au lieu du codage Reed Solomon qui est le meilleur code de correction d'erreur. En outre, DVB S2 utilise moins de données pour la correction en comparaison avec

Chapitre 2 :La chaine de transmission de DVB-S / DVB-S2

DVB S. DVB S2 ont la compatibilité descendante signifie DVB récepteur S2 peut également recevoir DVB signal S. DVB S2 augmente la capacité de canal de 30% par transpondeur signifie DVB S2 peut transporter 30% de services de plus que DVB S. [45]

Chapitre 03:
Etude de performance
de code RS et code
convolutif en AWGN

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

3.1. Introduction :

Nous vivons aujourd'hui dans l'ère de technologie et la vitesse et l'informations , ces informations sont transmises via un téléphone , un écran de télévision ou un internet dans le monde entier en temps réel.

Mais malheureusement , la transmission d'informations ne peut être garantie de manière optimale car des erreurs transitoires peuvent se produire qui entravent de manière permanente leur transfert . nous devons faire face à ce phénomène . Pour éviter ces erreurs , Nous nous sommes appuyés sur le développement du principe de correction d'erreur en codant les données à l'avance avant de les envoyer au canal AWGN en utilisant la redondance pour chiffrer les données et pour trouver les données modifiées , nous décrypterons le codec .

Dans ce chapitre nous avons présenté les performances de deux types de codage : codage externe Reed-solomon et codage interne convolutif en AWGN , les notion de taux d'erreur binaire et les notion de code correcteurs

3.2. LA Notion de taux d'erreur binaire dans une chaine de transmission :

Taux d'erreur binaire, BER (en anglais) est utilisé pour quantifier un canal de transport de données en comptant le taux d'erreurs dans une chaîne de données. Il est utilisé dans les télécommunications, les réseaux et les systèmes radio.

TEB est un paramètre-clé qui est utilisée dans l'évaluation des systèmes qui transmettent des données numériques à partir d'un emplacement à un autre.

Systèmes pour lesquels le bit taux d'erreur, BER est applicable comprennent des liaisons radio de données ainsi que des systèmes de données à fibre optique, Ethernet, ou tout autre système qui transmet des données sur un réseau d'une certaine forme où le bruit, les interférences, et la gigue de phase peut provoquer une dégradation du numérique signal.

Lorsque les données sont transmises sur une liaison de données, il existe une possibilité d'erreur étant introduite dans le système. Par conséquent, il est nécessaire d'évaluer les performances du système, et le taux d'erreur sur les bits, BER, constitue un moyen idéal dans lequel cela peut être réalisé. [46]

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

3.2.1. Principe de taux d'erreur binaire :

pour le milieu entre l'émetteur et le récepteur est bonne et le rapport signal sur bruit est élevé --> le taux d'erreur binaire sera très petite et peut-être insignifiant et sans effet notable sur l'ensemble du système Toutefois, si le bruit peut être détecté,

Les principales raisons de la dégradation d'un canal de données et le taux d'erreur binaire correspondant, TEB est le bruit et les modifications apportées à la trajectoire de propagation (où les trajets de signaux radio sont utilisés).

Il convient de noter que chaque type de modulation différente a sa propre valeur de la fonction d'erreur.

En effet, chaque type de modulation effectue différemment en présence de bruit.

En particulier, les systèmes d'ordre supérieur de modulation (par exemple 64QAM, etc.) qui sont en mesure d'effectuer des débits plus élevés ne sont pas aussi robuste en présence de bruit.

La baisse des formats de modulation d'ordre (par exemple BPSK, QPSK, etc.) offrent la baisse des taux de données mais sont plus robustes . [46]

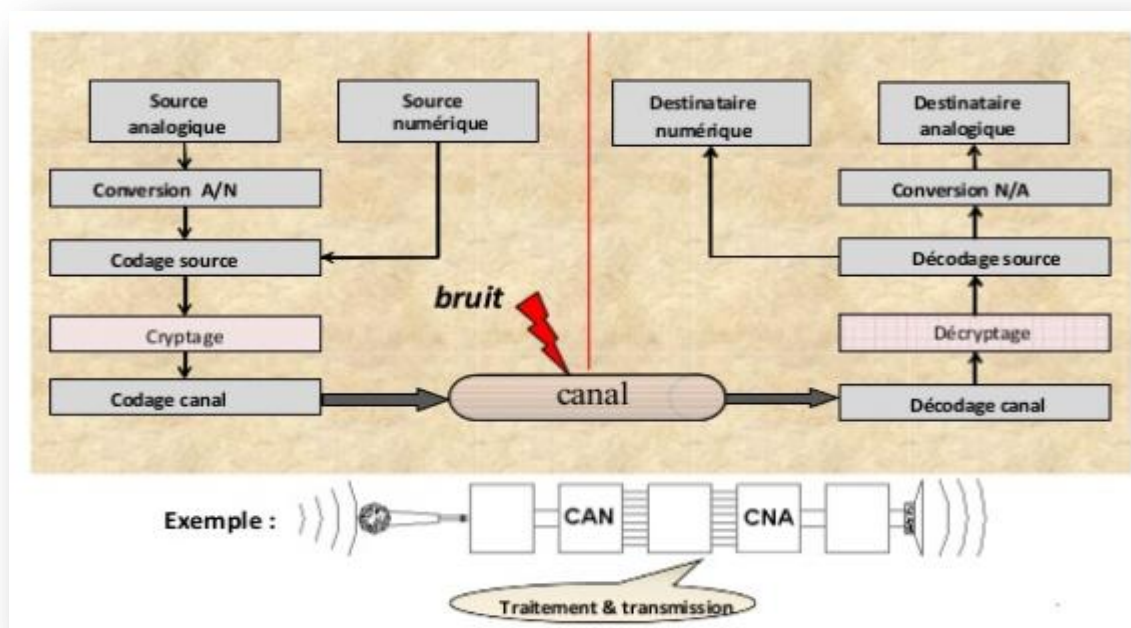


Figure 3.1 : chaîne de transmission simplifiée de l'émission et réception

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

- **La Source** : génère l'information à émettre (message)

- **Codage De Source** : Le but de communiquer est d'être capable de parler, écouter la musique, regarder un vidéo, regarder une page web par Internet etc. Dans tous ces cas le "signal" étant respectivement la voix, la musique, le vidéo, les graphiques sont à convertir en une suite des bits. Un tel appareil est appelé le quantificateur. Il existent plusieurs méthodes de quantification qui convertissent et compriment le signal en bits.

- **Le Codage De Canal** : Dans un système réel le message reçu par le destinataire peut différer de celui qui été émis par la source en raison de perturbations. Le codage de canal vise à introduire de la redondance dans le message → compenser l'érosion de l'information due au canal,

- **Le Modulateur** : traduit le message binaire en signal permettant son transport dans les milieux tel que l'air, les câbles etc.,

- **L'émetteur**: permet au signal de se propager dans le canal de transmission,

- **Le canal de transmission** : propage le signal ; lors de la propagation, le signal peut être perturbé par du bruit externe, des multi -trajets, le mouvement de l'émetteur et / ou récepteur etc.,

- **Le récepteur** : capte le signal émis,

- **Le démodulateur** : traduit le message reçu en signal binaire,

- **Le décodeur de canal** : détecte et/ou corrige les erreurs de transmission grâce aux éléments binaires ajoutés lors du codage,

- **Le décodeur de source** : régénère le message binaire.

-**Détecteur de signal** : se basant sur l'observation bruitée du signal, le détecteur doit décider quel message à été émis. La procédure de détection dépend des techniques de mise-en-forme utilisés, aussi que du canal de communication. Dans ce cours nous allons discuter de plusieurs techniques de détection. [47]

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

3.2.1.1. Facteurs affectant le taux d'erreur binaire, BER :

On peut voir d'utiliser E_b / N_0 , que le taux d'erreur binaire, BER peut être affectée par un certain nombre de facteurs.

En manipulant les variables qui peuvent être contrôlées, il est possible d'optimiser un système pour fournir les niveaux de performance requis. comme de facteurs :

- **Interférence:** Les niveaux d'interférence présents dans le système sont généralement fixés par des facteurs externes .
- **Augmentation de la puissance de l'émetteur:** Il est également possible d'augmenter le niveau du système d'alimentation de sorte que la puissance par bit est augmentée.
- **modulation d'ordre inférieur:** régimes plus faibles de modulation d'ordre peuvent être utilisés, mais cela est au détriment du débit de données.
- **Réduire la bande passante:** Une autre approche qui peut être adoptée pour réduire le taux d'erreur binaire est de réduire la bande passante.

Il est nécessaire d'équilibrer l'ensemble des éléments disponibles pour atteindre un taux d'erreur binaire satisfaisant.

Normalement, il est impossible de parvenir à toutes les exigences et certains compromis sont nécessaires.

taux d'erreur sur les bits BER est un paramètre qui donne une excellente indication des performances d'une liaison de données tel système radio ou à fibre optique. [46]

3.3. La notion de code correcteur d'erreurs :

Un code correcteur (en anglais, error-correcting code ou ECC) est une technique de codage basée sur la redondance.

Elle est destinée à corriger les erreurs de transmission d'une information (plus souvent appelée message) sur un canal de communication peu fiable.

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

La théorie des codes correcteurs ne se limite pas qu'aux communications classiques (radio, câble coaxial, fibre optique, etc.) mais également aux supports pour le stockage comme les disques compacts, la mémoire RAM et d'autres applications où la garantie de l'intégrité des données est importante . [48]

Pour un traitement informatique, c'est-à-dire automatisé, de l'information, nous numérisons le signal à transmettre (une image, un son...).

Nous ramenons ainsi celui-ci à une séquence de bits $e_1e_2\dots$. A cause des inévitables parasites qui détériorent le message, nous ne pouvons pas envoyer cette séquence telle quelle.

Pour améliorer la fiabilité de la transmission des données, une des méthodes de codage les plus simples est alors de répéter chaque bit.

La séquence $e_1e_2\dots$ sera ainsi transmise sous la forme $e_1e_1e_2e_2\dots$. Lors de la réception du message, le décodeur peut ainsi comparer chaque couple de bits reçus, s'ils sont différents alors il y a détection d'erreur.

Nous voyions ainsi qu'en doublant la longueur du message (mais aussi le temps de transmission), nous parvenons à détecter d'éventuelles erreurs.

Toutefois, ce codage simple ne permet pas de les corriger. Pour cela, nous pouvons tripler les bits. Si nous considérons (ce qui est plus que raisonnable) qu'il y a au maximum une erreur pour chaque séquence de 3 bits, alors il est possible de les corriger : le décodeur n'a qu'à choisir le symbole qui apparaît deux fois dans chaque triplet reçu.

Si le canal de transmission n'est pas trop parasité, il paraît inutile d'ajouter autant de redondance au message transmis.

Nous pouvons ainsi utiliser le système du bit de parité (qui ne permet que la détection d'erreurs) : le message est découpé en blocs de k bits, auxquels nous ajoutons un bit tel qu'il y ait un nombre pair de 1 dans le bloc transmis.

Pour approcher au mieux la capacité C du canal si, conformément au théorème de Shannon, l'entropie de la source qui est inférieur à C nous pouvons ajouter de la redondance dans le codage de la source afin de diminuer les erreurs de transmission.

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

C'est le problème du codage de canal. A côté des premiers codes empiriques (bit de parité, répétition,...) deux grandes catégories de codes ont été développées et sont actuellement utilisées en faisant l'objet permanent de perfectionnements :

- □ Les codes en blocs.
- □ Les codes en treillis.

La figure ci-dessous donne un simple résumé de la grande famille de codage. Dans la première classe (à droite sur la figure), citons les codes les plus célèbres comme les codes BCH, Reed Muller, Reed Solomon et Goppa, Golay et Hamming.

La deuxième classe (à gauche sur la figure) est moins riche en variété mais présente beaucoup plus de souplesse surtout dans le choix des paramètres et des algorithmes de décodage disponibles. Citons par exemple, les codes convolutifs binaires systématiques récurrents très utilisés dans les modulations codées (TCM) et les codes concaténés parallèles (Turbo Codes) [49]

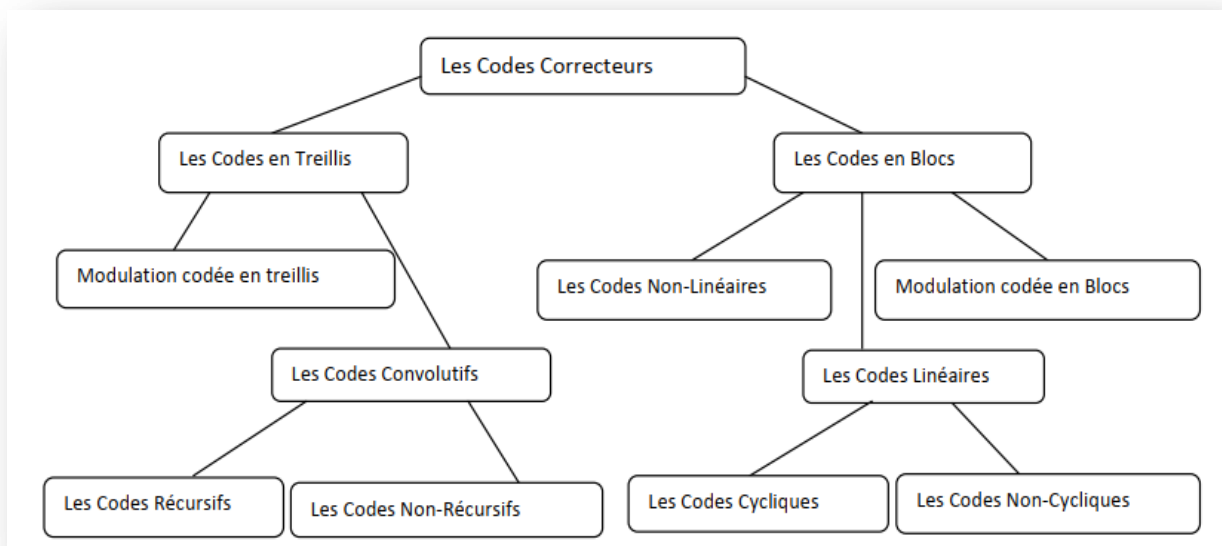


Figure 3.2 : la hiérarchie des codes correcteurs.

3.3.1. Les codes détecteurs et correcteurs d'erreurs :

Les concepteurs de réseaux ont développé deux stratégies dans le domaine des erreurs de transmission.

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

- La première consiste à inclure dans les blocs de données suffisamment de redondance pour que le récepteur soit capable de restituer les données originales à partir des données reçues.
- La deuxième consiste à ajouter juste assez de redondance dans les données pour que le récepteur puisse juste détecter les erreurs et demande alors la retransmission des trames erronées.

Dans l'étude de notre projet on se base surtout sur les codes correcteurs qui ont été introduits pour corriger les erreurs de transmission ou de lecture de données numériques, ou les erreurs survenant au cours de leur inscription sur un support physique (bande, CD) ou encore lorsque les données subissent une altération sur le support de stockage.

Un code correcteur est utilisé afin de diminuer le nombre des erreurs qui se produisent au cours des transmissions téléinformatiques . [49]

3.3.2. Les Codes en blocs linéaires :

Définition : Un code linéaire C de longueur n est un sous-espace vectoriel de F^n . Cela signifie que le codage peut être réalisé par des multiplications matricielles .

il existe une matrice G de dimension $k \times n$ dont les coefficients sont dans F tels que l'ensemble des mots de code soient obtenus par le produit matriciel entre les mots de source u et G . Pour F_2^n . [50].

$$C = \{y/y = u.G, u \in \{0, 1\}^K\} \quad (\text{eq 3.1})$$

- ❖ Un code C est dit linéaire si c'est un sous-espace vectoriel de $[GF(2)]^n$
- ❖ Fonction de codage : application linéaire de $[GF(2)]^k$ dans $[GF(2)]^n$
- ❖ C est de dimension k , C contient 2^k vecteurs (codes) de n bits.
- ❖ n est la longueur, k la dimension (k est la taille des blocs à coder)
- ❖ C est noté $C(n,k)$.

Conséquence : le code de $(00\dots00)$ est $(000\dots00)$ puisque C linéaire . [51]

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

3.4. Code Reed-Solomon :

3.4.1. L'Origine de code RS :

Les codes de Reed-Solomon sont des codes avec des applications qui varient entre la récupération de données à partir de codes à barres et des codes QR dans notre vie quotidienne à l'envoi de transmissions vers et à partir des vaisseaux spatiaux lancés dans les missions à l'espace profond de correction d'erreur.

Le code Reed-Solomon (RS) a été découvert par Irving Reed et Gus Salomon et a été présenté au monde dans leur article " codes polynôme sur certains domaines finis " dans le Journal de la Société de mathématiques appliquées et industrielles (1959).

Depuis sa création , RS codes ont été un contributeur intégrante de la révolution des télécommunications qui a eu lieu dans la dernière moitié du XXe siècle.

En particulier , les codes de Reed -Solomon sont des codes de contrôle d'erreur les plus fréquemment utilisés numériques dans le monde , c'est raison de leur utilisation dans la mémoire de l'ordinateur et les applications de mémoire non volatile .

Une liste des applications importantes précipitée comprend l'audio numérique sur disque, Deep Space télécommunications systèmes, le contrôle d'erreur pour les réseaux avec rétroaction, étalement de spectre Systems, et de la mémoire de l'ordinateur . [6]

3.4.2. Paramètres du codeur RS :

Ces codes ont une propriété importante, ils sont linéaires et font partie des codes BCH.

Le codeur prend k symboles de donnée (chaque symbole contenant s bits) et calcule les informations de contrôle pour construire n symboles, ce qui donne n-k symboles de contrôle. Le décodeur peut corriger au maximum t symboles, ou $2t=n-k$.

La longueur maximale d'un code de Reed – Solomon est définie comme :

$$n = k + 2t = 2^s - 1 \quad (\text{eq 3.2})$$

Avec : **k** : nombre de symboles d'information

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

$2t$: nombre de symboles de contrôle

S : nombre de bits par symbole

La distance minimale d'un code Reed-Solomon est :

$$D_{min} = 2t + 1 \quad (\text{eq 3.3})$$

Autre propriété des codes Reed – Salomon, ils sont cycliques, c'est-à-dire, que chaque mot-code décalé engendre un autre mot-code.

Tous les codes cycliques peuvent être réduits en gardant la même capacité d'erreur, mais le nouveau code formé n'est alors pas cyclique.

De plus, les codes de Reed – Solomon sont des codes non-binaires. Les codes sont représentés sur des « champs de Galois » de $GF(2^m)$ et non pas sur des champs de $GF(2)$.

Les symboles sont définis comme les coefficients du polynôme et le degré de x indique l'ordre. Ainsi, le symbole avec l'ordre le plus élevé est reçu/envoyé en premier et le dernier symbole reçu/envoyé est celui dont l'ordre est moindre.[52]

3.4.3. Le codage et le décodage de RS :

Reed Solomon Coding est un système de codage par bloc qui prend un bloc de k symboles à la fois et ajoute $2t$ symboles de parité. La figure suivante illustre le schéma.

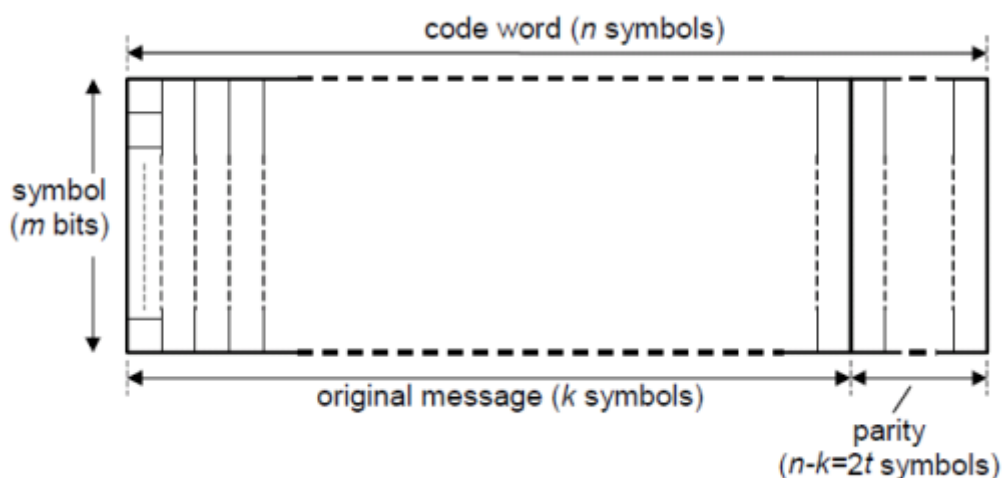


Figure 3.3 : système de codage RS par bloc

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

Le codeur et le décodeur doivent s'accorder sur un polynôme de codeur $g(x)$, défini comme suit:

$$g(x) = \prod_{i=0}^{2t-1} (x + a^i) \quad (\text{eq 3.4})$$

Le codeur considère le bloc de symboles k comme un polynôme, $M(x)$; de degré $k-1$, et le premier symbole est le coefficient du terme le plus significatif.

Le codeur multiplie $M(x)$ par x^{2t} et le divise avec le polynôme $g(x)$ pour obtenir un polynôme restant de degré maximal $2t-1$. Ce polynôme sera ajouté à $M(x) \cdot x^{2t}$ pour former un polynôme complètement divisible par $g(x)$. [53]

Le codage et le décodage Reed-Solomon peuvent être effectués dans un logiciel ou dans un matériel spécifique.

• Arithmétique des corps finis (Galois)

Les codes de Reed-Solomon sont basés sur un domaine spécialisé des mathématiques appelé champs de Galois ou champs finis.

Un champ fini a la propriété que les opérations arithmétiques (+, -, x, / etc.) sur les éléments de champ ont toujours un résultat dans le champ. Un codeur ou un décodeur Reed-Solomon doit effectuer ces opérations arithmétiques.

Ces opérations nécessitent la mise en œuvre de fonctions matérielles ou logicielles spéciales.

• Polynôme générateur

Un mot de code Reed-Solomon est généré à l'aide d'un polynôme spécial. Tous les mots de code valides sont exactement divisibles par le polynôme générateur. La forme générale du polynôme générateur est:

$$g(x) = (x - a^i) (x - a^{i+1}) \dots (x - a^{i+2t}) \quad (\text{eq 3.5})$$

et le mot de code est construit en utilisant:

$$c(x) = g(x) \cdot i(x) \quad (\text{eq 3.6})$$

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

où $g(x)$ est le polynôme générateur, $i(x)$ est le bloc d'informations, $c(x)$ est un mot de code valide et a est appelé élément primitif du champ . [54]

3.4.4. Etude du codage RS pour la détection et la correction des erreurs de transmission :

Si D est différent de C , $E = D + C$, polynome de degré inférieur ou égale à $n-1$, et comportant un nombre v de coefficients non nuls .

Par hypothèse, on suppose que v est inférieur ou égal à t . posons :

$E = \sum_{r=1}^v e_{ir} X^{ir}$, $y_r = e_{ir}$ et $x_r = \alpha^{ir}$, les i_r étant des indices distincts pouvant varier entre 0 et $n-1$.

E est pour le moment inconnu de destinataire. Il s'agit celui-ci de déterminer :

- Le nombre d'erreurs v .
- Les rangs i_r ou sont situées ces erreurs .
- Les valeurs y_r de ces erreurs .

Une fois ces informations reconstituées le destinataire sera en mesure de déterminer le polynôme E et de reconstituer le message initial $C = D + E$ pour cela on suit les 5 étapes suivants :

a. Calcul des syndromes :

on calcule les $2t$ quantités $S_j = D(\alpha^j)$, $1 \leq j \leq 2t$, appelées syndromes . comme $E = D + C$ et que les $C(\alpha^j)$ sont nuls , on a également :

$$S_j = E(\alpha^j) = \sum_{r=1}^v e_{ir} \alpha^{jir} = \sum_{r=1}^v y_r x_r^j$$

On dispose ainsi de $2t$ équations dont les inconnues x_r et y_r sont au plus au nombre de $2t$ cependant, le système n'est pas linéaire et sa résolution est technique .

b. Détermination du nombre d'erreurs :

on considère le polynôme $\Lambda(X) = \prod_{r=1}^v (1 - x_r X)$ dont les racines sont les inverses des x_r . ce polynôme se développe sous la forme $\Lambda(X) = 1 + \lambda_1 X + \lambda_2 X^2 + \dots + \lambda_v X^v$. on peut vérifier que les v coefficients λ_r , inconnus du destinataire , satisfont un système linéaire de v équations .

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

la j-émet équation étant, pour j variant de 1 à v :

$$S_{v+j-1} \lambda_1 + S_{v+j-2} \lambda_2 + \dots + S_j \lambda_v = -S_{v+1}$$

en effet $(\sum_{i=1}^v S_{v+j-i} \lambda_i = \sum_{r=1}^v y_r (\sum_{i=1}^v x_r^{v+j-i} \lambda_i) \sum_{r=1}^v y_r x_r^{v+j} (\Lambda(x_r^{-1}) - 1) = -S_{v+j})$.

De plus , la plus grande valeur v inférieure ou égale à t pour laquelle le déterminant de ce système est non nul est précisément le nombre d'erreurs transmises. On part donc de v = t et si le déterminant est nul, on décrémente v jusqu'à obtenir un déterminant non nul .

c. Détermination de l'emplacement des erreurs :

Une fois v ainsi déterminé, on résout le système , ce qui définit le polynôme Λ .

On cherche les racines de ce polynôme , dont les inverses donnent les valeurs des x_r .

Pour chaque t entre 1 et v .

On cherche la puissance i_r de α telle que $x_r = \alpha^{i_r}$.

On a déterminé les rangs i_r des erreurs transmises .

d. Détermination de la valeur des erreurs :

Les x_r étant désormais connus , on peut résoudre le système dont l'équation générale $S_j = \sum_{r=1}^v y_r x_r^j$ et dont les inconnues sont les y_r , permettant de déterminer les valeurs de ces inconnues , ce sont les valeurs des erreurs commises .

e. Correction des erreurs reçu :

Connaissant les i_r et les y_r , on connaît le polynôme E_r et donc le message initial

$$C = D + E . [54]$$

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

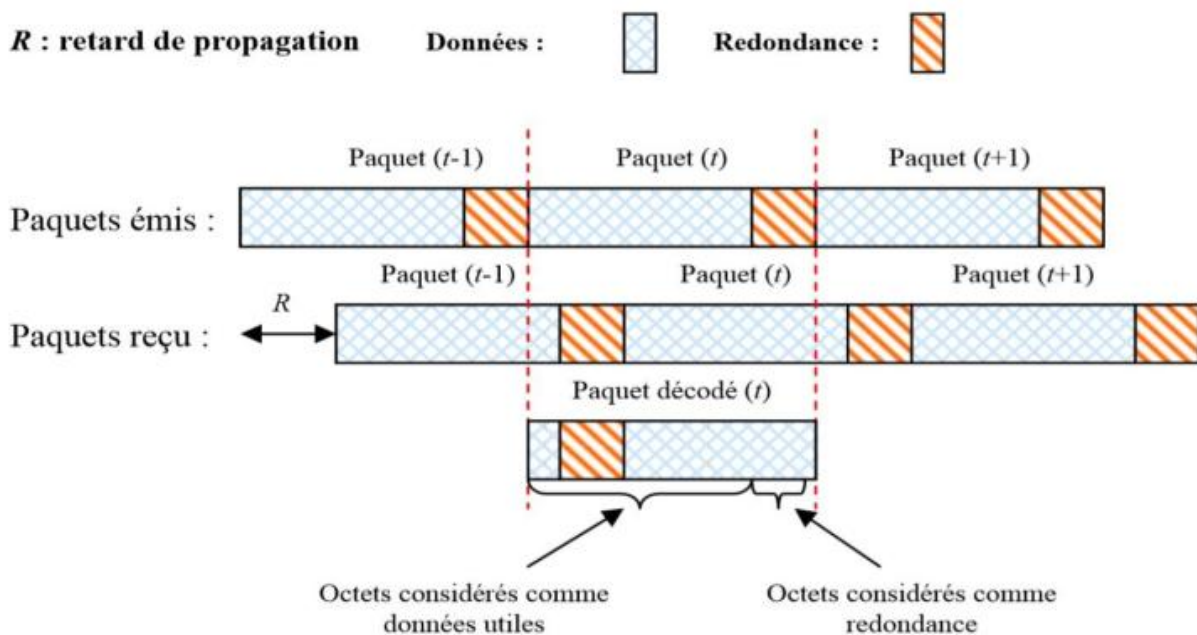


Figure 3.4 : Synchronisation d'une transmission par paquet.

3.5. Code Convolutif :

3.5.1. Principe du codage convolutif :

• Les codes convolutifs forment une classe extrêmement souple et efficace de codes correcteurs d'erreur.

• Ce sont les codes les plus utilisés dans les communications fixes et mobiles.

• Les codes convolutifs ont les mêmes caractéristiques que les codes en bloc sauf qu'ils s'appliquent à des séquences infinies de symboles d'information et génèrent des séquences infinies de symboles de code.

➤ **Encodeur**

Le codeur qui engendre un code convolutif comporte un **effet de mémoire** : Le mot code ne dépend pas que du bloc de k symboles entrant, mais aussi des m mots de code qui l'ont précédé, stockés dans un registre.

➤ **Théorème fondamental du codage de canal**

La complexité du codeur est nécessaire à l'obtention de bonnes performances :

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

- Pour les codes en bloc : n et k doivent être grands .
- Pour les codes convolutifs : il suffit que m soit grand. [20]

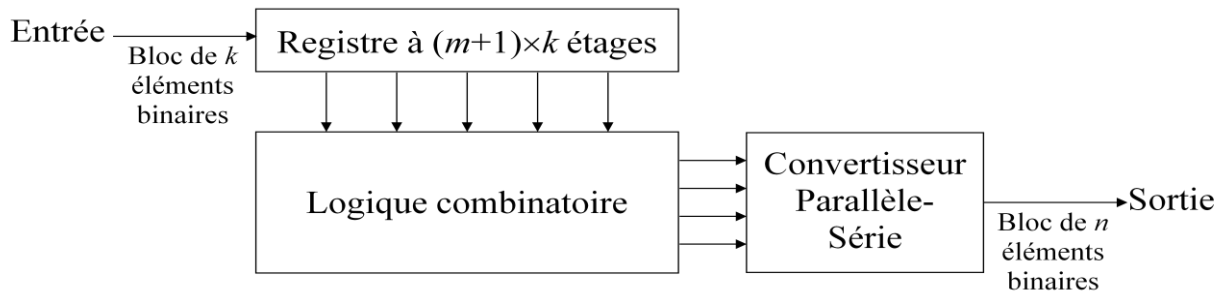


Figure 3.5: Le principe de codage convolutif

3.5.2. Paramètres de code convolutif :

- Le **rendement** du code est : $R = \frac{K}{n}$ (eq 3.7)
- La **longueur de contrainte** du code est : $(m+1) x K$ (eq 3.8)
- **Linéarité** : les mots de code associés à une combinaison linéaire de séquences d'entrée correspondent à la combinaison linéaire des mots de code de chacune des ces séquences.
- **Stationnarité** : Lorsqu'un message source, décalé dans le temps, est envoyé sur l'encodeur, on doit retrouver à la sortie, le mot de code correspondant décalé de la même manière dans le temps.
- Code convolutif **systematique** :

$$\text{Mot code : } C = (X_1 Y_1 X_2 Y_2 \dots X_j Y_j \dots)$$

$$\text{Avec } X_j = (X_j^1 X_j^2 \dots X_j^K) \text{ Information}$$

$$Y_j = (Y_j^1 Y_j^2 \dots Y_j^K) \text{ Contrôle}$$

- La **distance libre** est la borne inférieure des distances de Hamming entre toutes les séquences de sortie du codeur.
- La **distance minimale** est la plus petite distance entre des chemins partant du même point et y revenant. [11]

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

3.5.3. Décodage convolutif :

- Dans les canaux de communication sans mémoire, les systèmes utilisant le codage convolutif sont parmi les plus intéressants tant du point de vue de leurs performances (s'approchant le plus des performances ultimes prévues par la théorie de Shannon) que du point de vue de leur réalisation et implantation matérielle.
- Les deux principales techniques de décodage des codes convolutifs sont le **décodage de Viterbi** et le **décodage séquentiel**.
- Chacune de ses techniques consiste à trouver un chemin particulier (le message transmis), dans un graphe orienté où on assigne aux branches des métriques ou valeurs de vraisemblance entre les données reçues et les données qui auraient pu être transmises.
- L'objectif général du décodeur se résume donc à déterminer avec la plus grande fiabilité et le minimum d'efforts le chemin de métrique minimale. Ce chemin est la séquence décodée.

3.5.3.1. L'algorithme de viterbi :

- ✦ A chaque instant, deux branches appartenant à deux chemins différents, convergent vers chaque nœud.
- ✦ De ces deux chemins, l'un est plus vraisemblable, c'est-à-dire se trouve à une distance plus petite de la séquence reçue, que l'autre chemin.
- ✦ Les distances étant additives, il est possible de ne conserver en chaque nœud que le chemin le plus vraisemblable, appelé **survivant**.
- ✦ Si deux chemins sont aussi vraisemblables, un seul chemin est arbitrairement conservé.
- ✦ Supposons que la séquence à l'entrée du codeur soit '1 0 0 1'.
- ✦ Si le codeur est dans l'état '00' à l'instant initial,

la séquence correspondante en sortie du codeur est '11 01 11 11'.

- ✦ Considérons un canal binaire symétrique introduisant une erreur en position 4.

La séquence reçue à l'entrée du décodeur est '11 00 11 11'.

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

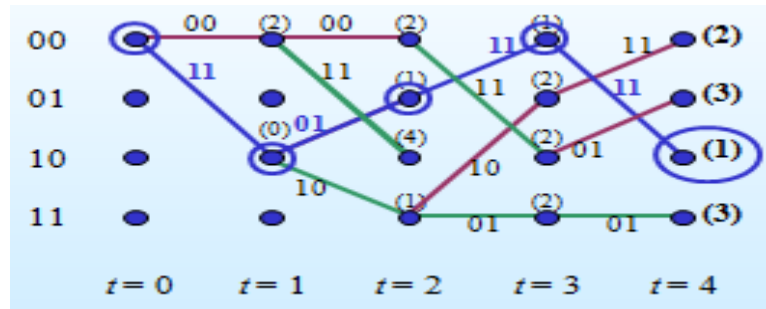


Figure 3.6 : l'algorithme de viterbi

3.5.4. Représentations graphiques des codes convolutifs :

Le polynôme générateur caractérise explicitement la nature du codeur. Mais l'introduction de l'effet de mémoire complique la représentation des états à partir des polynômes générateurs.

Pour mieux appréhender l'algorithme de décodage, il est néanmoins nécessaire de connaître l'évolution des états au cours du (dé) codage.

C'est pourquoi nous décrivons une représentation graphique sous forme d'arbre, de treillis ou encore de diagramme d'états dans cette section. Cette représentation la plus répandue dans la littérature fait apparaître l'évolution des états du codeur. De plus, nous utilisons le code introduit dans la sous-section 1.3.3.2 pour illustrer notre propos. [56]

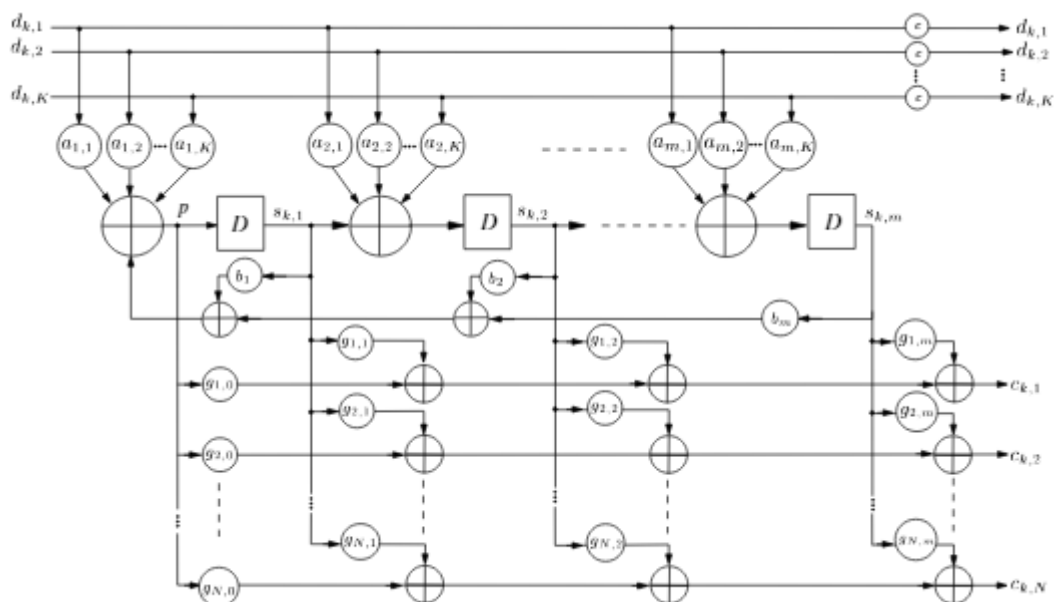


Figure 3.7 : Représentation générique d'un codeur convolutif

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

3.5.4.1. Diagramme en arbre :

La figure (3.8) représente un diagramme en arbre associé au code convolutif de la figure (3.7). Sur ce diagramme, les conventions suivantes sont adoptées: Le temps s'écoule de la gauche à la droite;

Lorsque l'entrée binaire est égale à 0 (respectivement 1), le couple binaire en sortie (noté en dessous de la branche) et l'état du codeur sont portés par une branche montante (respectivement descendante) du diagramme en arbre. Les branches montantes et descendantes se séparent d'un point commun (nœud). Chaque nœud dirige 2^K branches vers les nœuds suivants.

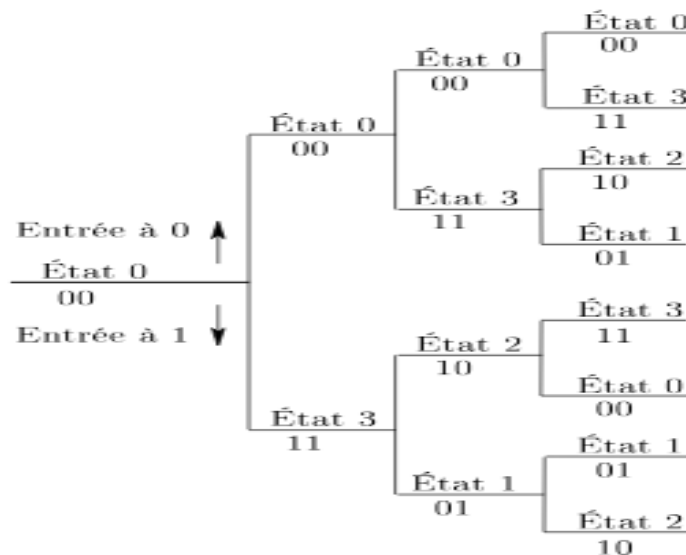


Figure 3.8 : diagramme en arbre

Comme pour le diagramme en treillis, pour une séquence donnée à l'entrée du codeur, les mots codés sont représentés par un chemin constitué d'une suite de branches correspondantes. Le nombre de branches par nœud est déterminé par 2^K , K étant la taille du bloc à l'entrée [56]

3.5.4.2. Diagramme en treillis :

Pour connaître l'évolution des états en fonction de la trame entrante du codeur, la figure (3.9) décrit un diagramme en treillis ayant l'état 0 comme l'état initial à l'instant $k = 0$. Les états et leur représentation binaire sont indiqués sur la gauche du treillis.

Pour caractériser un code convolutif, nous introduisons les notions de chemin et de distance libre. Un chemin est constitué d'une suite de branches, correspondant à l'évolution des états au fil du temps.

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

Deux chemins se croisent à une intersection appelée nœud . En général, il y a 2^m nœuds possibles à un instant donné si m est la longueur de mémoire du codeur.

La distance libre, notée d_f , est égale à la Distance Minimale de Hamming (DMH) qui existe entre deux chemins qui divergent puis convergent de nouveau. Nous pouvons suivre un chemin du code en parcourant le treillis dans le temps. Lorsque les valeurs de la séquence à coder ne sont que des 0, l'état du codeur reste alors à l'état 0 et le mot sortant est toujours égal à (00). Dans ce cas, le chemin correspondant est appelé le chemin Tout A Zéro (TAZ). En revanche, supposons que la séquence à coder est $d = (d_0d_1d_2d_3) = (1111)$, l'évolution des états suit alors le chemin $(0 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 3)$ en délivrant les mots binaires en couple $(11 \rightarrow 01 \rightarrow 10 \rightarrow 10)$.

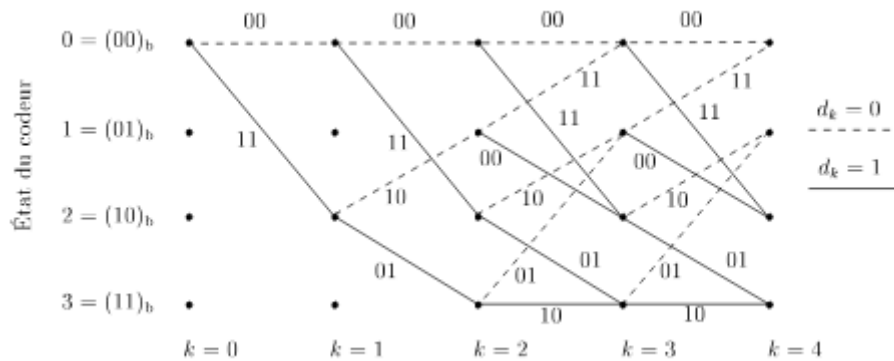


Figure 3.9 : diagramme en treillis

pour un code convolutif de rendement K/N , il existe 2_K branches à partir d'un nœud dans le treillis. Le nombre de branches augmente donc de manière exponentielle. Lorsque k est grand, la complexité du treillis associé devient importante, ce qui rend le décodage plus compliqué. [56]

3.5.4.3. Diagramme d'états :

Le nombre d'états est donné par 2^m , 4 états possibles dans notre cas. Comme dans la représentation d'un automate à machine d'états, l'état est marqué par une valeur décimale de 0 à 3, à laquelle est associée une représentation binaire sur 2 bits, représentés par deux bascules ($3 = (11)_b$; $1 = (01)_b$;...) Dans la figure 1.7. Les entrées 0 et 1 sont respectivement indiquées par le trait pointillé et le trait continu.

Chapitre 3 : Etude de performance de code RS et code convolutif en AWGN

Les valeurs sortantes (c_k^1, c_k^2) du codeur sont associées à chaque transition du diagramme. Une flèche indique le sens des transitions au niveau des états. Nous constatons que l'état 0 est suivi par l'état 2 si et seulement si l'entrée est égale à 1.

Cette représentation montre ainsi l'évolution des états en fonction de l'entrée et de l'état courant. [56]

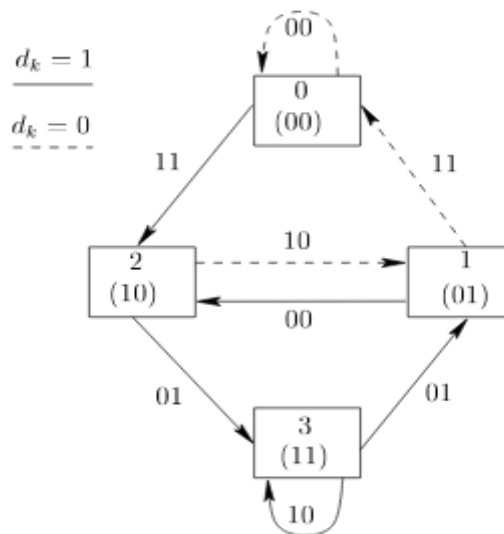


Figure 3.10 : diagramme d'états

3.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié les performances de deux codes : code RS et code convolutif et les détails les plus précis à travers l'identification de la méthode de l'encodage et de décodage pour chaque code, les paramètres et l'étendue de leur effet en tant que pour spécialisations afin de corriger les erreurs sous l'influence du bruit et d'identifier leurs lois.

Chapitre 02 :
simulation et
résultats

Chapitre 4 : simulation et résultats

4.1. Introduction :

Dans une petite partie nous introduisons une petite description sur logiciel MATLAB ainsi qu'un historique sur le développement et généralités sur la simulation MATLAB .

deuxième partie et la plus important est basée simulation de la modélisation de la chaine de transmission de canal AWGN en modulation BPSK et aussi avec modulation QPSK , et aussi la modélisation d'une chaine de transmission de code externe RS et codage interne convolutif en AWGN avec modulation QPSK et comparai entre les deux constellation et figures .

Enfin modélisation la chaine de transmission complète de DVB-S avec description de résultats .

4.2. Présentation du logiciel MATLAB / SIMULINK :

4.2.1. Historique :

Le logiciel MATLAB est un logiciel de manipulation de données numériques et de programmation dont le champ d'application est essentiellement les sciences appliquées. Son objectif, par rapport aux autres langages, est de simplifier au maximum la transcription en langage informatique d'un problème mathématique, en utilisant une écriture la plus proche possible du langage naturel scientifique.

Le logiciel fonctionne sous Windows et sous Linux. Son interface de manipulation HMI utilise les ressources usuelles du multifenêtrage. Son apprentissage n'exige que la connaissance de quelques principes de base à partir desquels l'utilisation des fonctions évoluées est très intuitive grâce à l'aide intégrée aux fonctions. Une alternative à MATLAB est SCILAB, logiciel libre, dont la version 5 présente de nombreux points communs avec MATLAB.

De nombreuses entreprises (EDF, ...) ont fait le choix de passer sous SCILAB. Le passage d'un logiciel à l'autre n'est cependant pas direct, certaines fonctions ayant des comportements différents (ce ne sont pas des erreurs mais des choix scientifiques différents).

Tous les logiciels de calcul réutilisent des savoir-faire scientifiques anciens et éprouvés, développés dans les années 1960. [57]

4.2.2. Description de MATLAB / SIMULINK :

Le TOOLBOX SIMULINK est une fonction lancée depuis MATLAB qui donne accès à une description graphique des problèmes avec application au traitement du signal, l'automatique classique, la logique floue...

Chapitre 4 : simulation et résultats


La base est une description en schéma-bloc hiérarchique, chaque bloc étant une fonction décrite en langage MATLAB ou à partir d'autres blocs.

Pour l'utilisateur, la description et l'exécution de MATLAB est transparente dans les problèmes usuels.

Il ne se préoccupe que de la construction graphique de son problème avec éventuellement création de nouveaux blocs pour les problèmes avancés. La sauvegarde des applications SIMULINK est un fichier texte d'extension m .

- Pour démarrer SIMULINK, frapper dans la fenêtre de commande :

`>> SIMULINK`

- ou bien appuyer sur le bouton  de la fenêtre principale de MATLAB.
- Dès le lancement, SIMULINK propose dans une fenêtre la bibliothèque des structures prédéfinies usuellement rencontrées, ainsi que les objets graphiques définis dans les TOOLBOX.

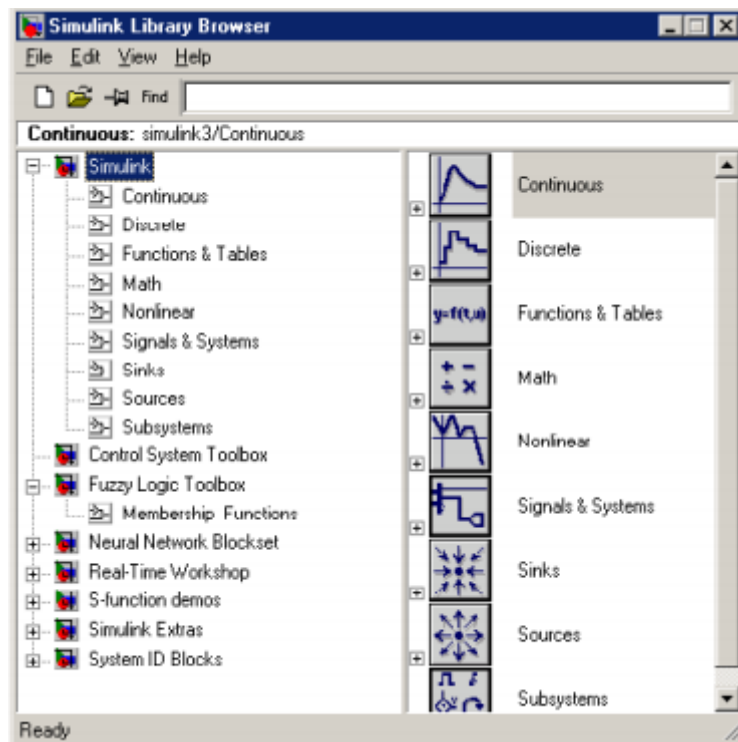


Figure 4.1: fenêtre de la bibliothèque SIMULINK Library browser

Chapitre 4 : simulation et résultats

Nouvelle feuille :

Par appui sur **File ->new** , une fenêtre vide est ouverte pour construire le schéma graphique. La construction graphique se fait par "drag and drop" depuis les éléments de la bibliothèque. Un double clic sur un élément permet d'en faire apparaître les propriétés.

Menus :

Ces menus donnent accès au contrôle général de l'application.

- **menu "file"** : permet de créer une fenêtre vide pour un nouveau schéma , de rappeler un schéma précédent ou de faire une sauvegarde.
- **menu "simulation"** : permet de fixer les paramètres d'une simulation, de la lancer ou de la stopper. Le pas de calcul et le temps total de simulation doivent être adaptés au problème à traiter (échelle des temps à maîtriser).

Liaisons

La liaison entre les blocs se fait par câblage à la souris dont le fonctionnement est implicite en l'absence de toute sélection souris. Les entrées de bloc sont généralement à gauche et les sorties à droite, les liaisons étant orientées sortie-bloc-précédent vers entrée-bloc-suivant .

Un branchement (jonction) se fait en pointant la liaison sur laquelle le branchement se fait, puis en maintenant la touche "control" du clavier enfoncée, en déplaçant la souris . L'amorce du branchement est alors faite . [57]

4.2.3. configuration de SIMULINK :

Vous pouvez aussi utiliser l'icône SIMULINK qui est dans la barre de menu MATLAB .

Pour créer un nouveau modèle, aller dans File Puis New Puis Model . Penser à enregistrer chaque

nouveau modèle dans votre répertoire de travail. Vous allez assembler des blocs : la recherche d'un nouveau bloc se fait en utilisant la fonction recherche de bloc (FIND block) dans la fenêtre SIMULINK Library Browser .

Nous voulons simuler une chaîne de communication numérique. Nous devons donc configurer le modèle pour travailler sur des séquences numériques .

SIMULINK doit être configuré de la façon suivante (voir figure 4.2) :

Aller dans Simulation puis Configuration Paramètres de chaque nouveau modèle et régler :

- Solveur puis le champ type : FIXED-STEP

Chapitre 4 : simulation et résultats

- Solveur puis le champ solveur :Discrète
- Solveur puis le champ Tasking mode for periodic sample times : Single Tasking
- Solveur puis le champ Optimisation : Inline Paramètres
- Diagnostic/Sample time puis le champ single TASK rate transition : None [58]

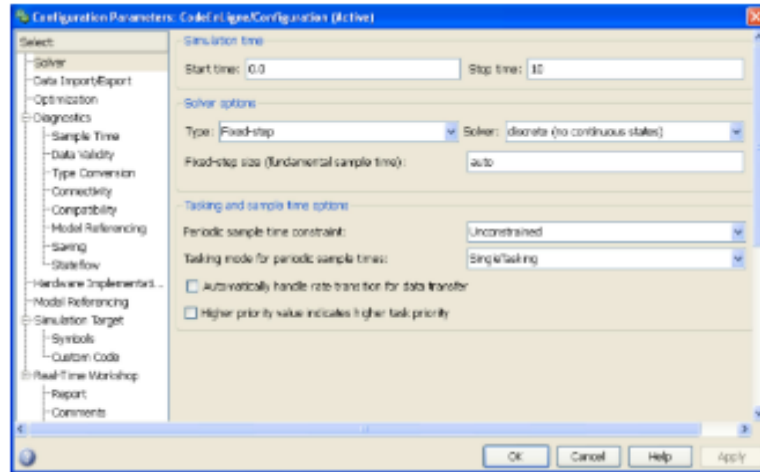


Figure 4.2 : Configuration d'un modèle SIMULINK

4.3. Modélisation de la chaîne de modulation BPSK en AWGN :

Au début, nous identifions un modèle de canal **AWGN** concernant une chaîne de transmission associée à des blocs de modulation et de démodulation **BPSK**, Elle est une modulation de **phase à 2 états** de la fréquence intermédiaire par un signal numérique sérialisé. Ainsi en l'appliquant à programme **SIMULINK** à l'aide des outils de communication du programme **MATLAB** (figure 4.3). La modélisation de la chaîne avec un canal **AWGN** se fait avec une modulation **BPSK** ensuite on fait calculer le **TEB**.

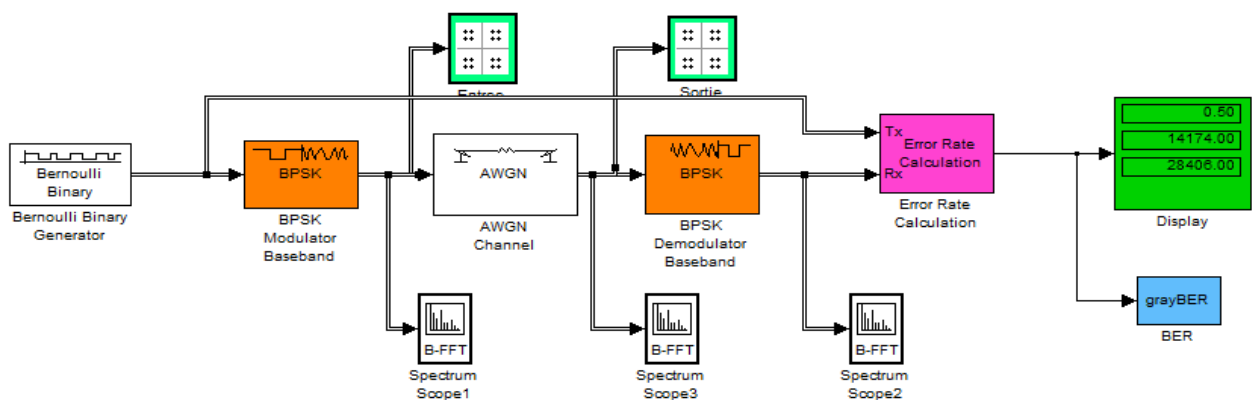


Figure 4.3 :la modélisation d'une chaîne de canal AWGN avec de modulation BPSK

Chapitre 4 : simulation et résultats

A travers de la forme du modèle précédent, on a tracer le graphique pour chacune des valeurs de **TEB** ou **BER** en fonction du rapport E_b/N_0 (dB) par rapport au canal dans lequel les données cryptées sont transmises et qui ajoutent le bruit blanc addition gaussien , le tableau (4.1) montre la relation entre le rapport E_b/N_0 et le **TEB** . La figure (4.4) de performance de TEB dans une chaine de Transmission BPSK sans correction d'erreur.

Eb/N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0															
BER	1.449	1.062	7.21	4.47	2.46	1.18	4.7	1.5	3.81	6,72	7,74	5.22	1,80	2,66	1,36
	E-1	E-1	E-2	E-2	E-2	E-2	E-3	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-10	E-12

Tableau 4.1 : Relation entre le rapport E_b/N_0 et le **TEB** en canal AWGN

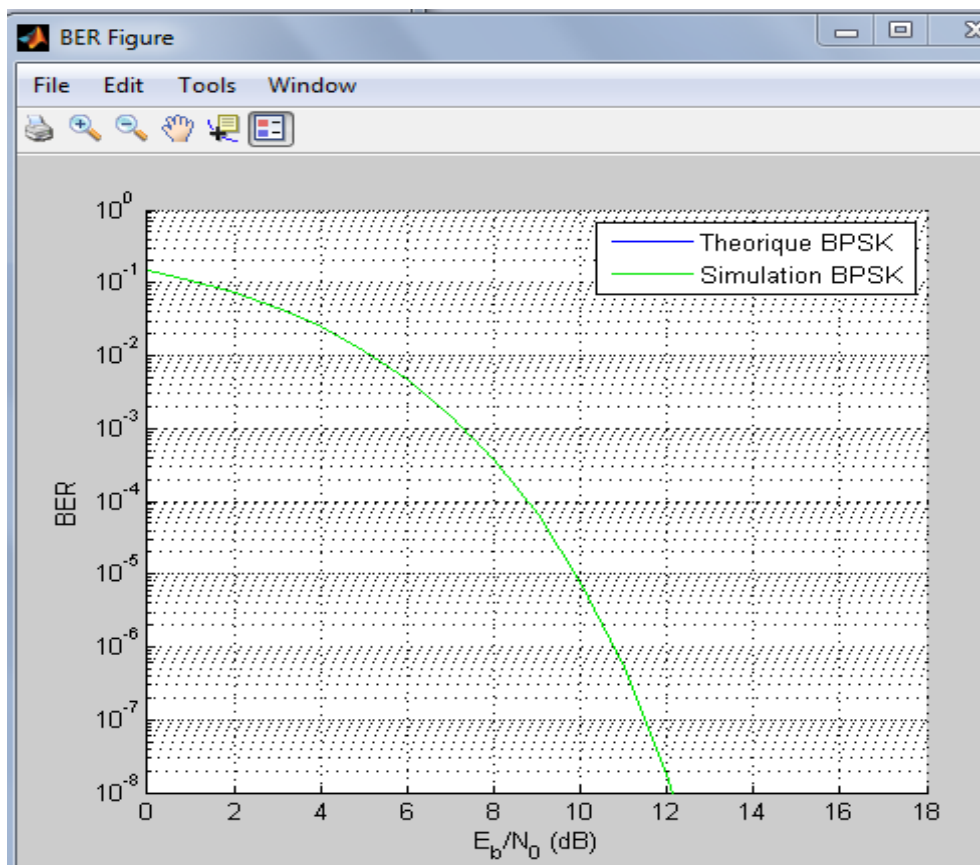


Figure 4.4 : Taux d'erreur binaire d'une chaine de modulation BPSK

En simulant le modèle de canal de transmission de AWGN , nous avons atteint une constellation de modulation BPSK , ce qui contient à deux états, la constellation est basé sur le principe du débit de transmission : début binaire augment \rightarrow le nombre de bits par états augment \rightarrow plus le nombre d'états de modulation est important. nous avons configurer la valeur du rapport SNR de canal gaussien à la

Chapitre 4 : simulation et résultats

Valeur of 14 dB, La figure (4.5) montre une constellation BPSK d'entrer dans le canal et après avoir été affecté et sortir du canal.

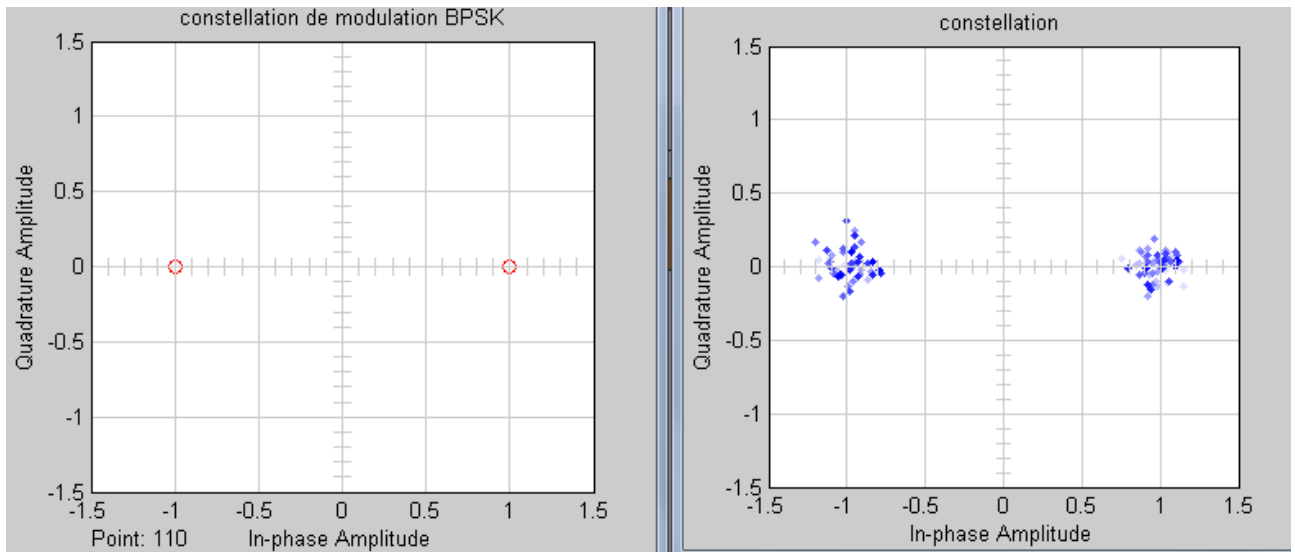


Figure 4.5 : Constellation de modulation BPSK (Entrée / Sortie)

Le signal de modélisation sur le canal et les comparaisons des entres les bruits avant et après de modulation BPSK à l'entrée dans le canal et le signal après à sortir de canal. Les figures suivant à montrent qui les signale sur la modélisation de canal AWGN avec BPSK :

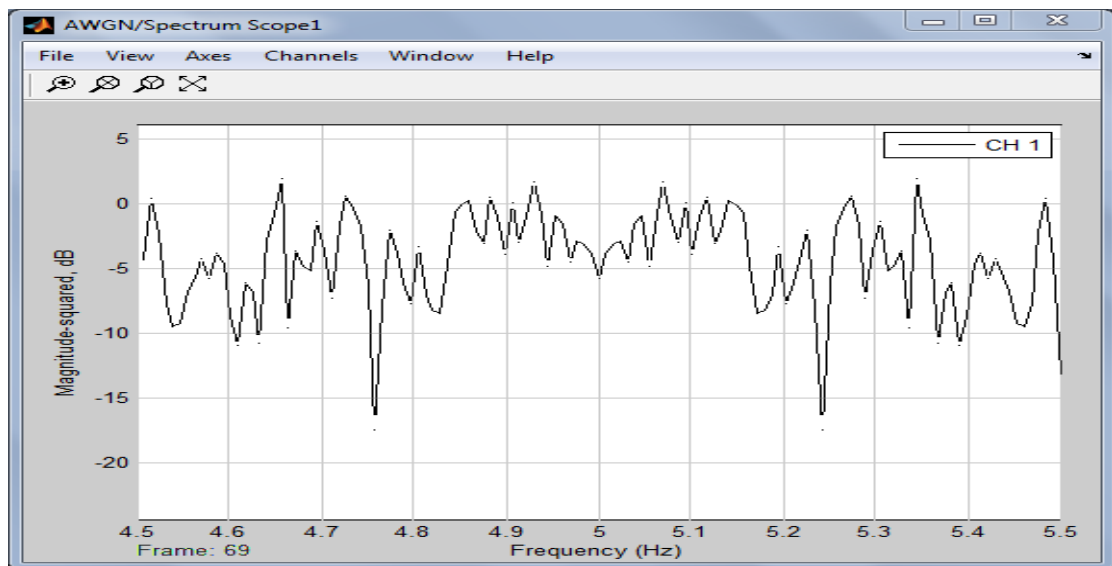


Figure 4.6 : Signal d'entrée de canal AWGN

Chapitre 4 : simulation et résultats

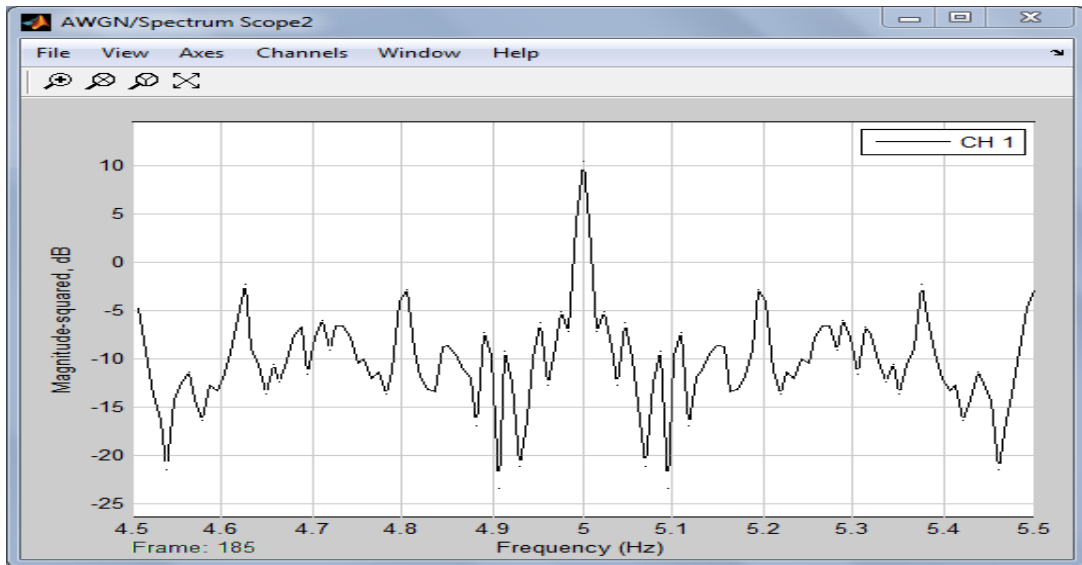


Figure 4.7 : Signal de sortie de canal AWGN

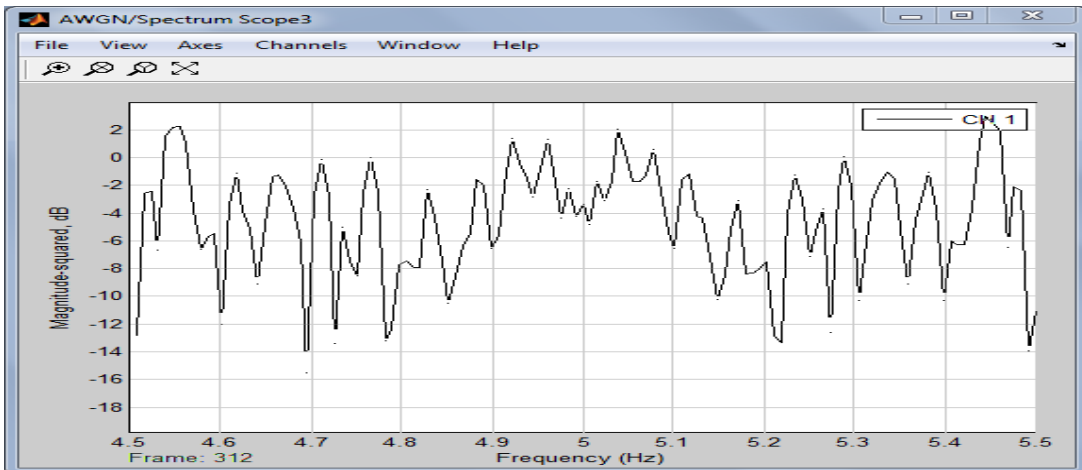


Figure 4.8 : Signal sortie de modulation BPSK

4.4. Modélisation de la chaine de modulation QPSK en AWGN :

La figure (4.9) représente la chaine de Transmission QPSK sans correction d'erreur, nous avons ajouté des filtres de transmission a la modèle de transmission QPSK classique qui sont des filtres de racine carrée a cosinus surélevée générant des symboles modifiés par déplacement des phases (selon le nombre d'état) ,

Chapitre 4 : simulation et résultats

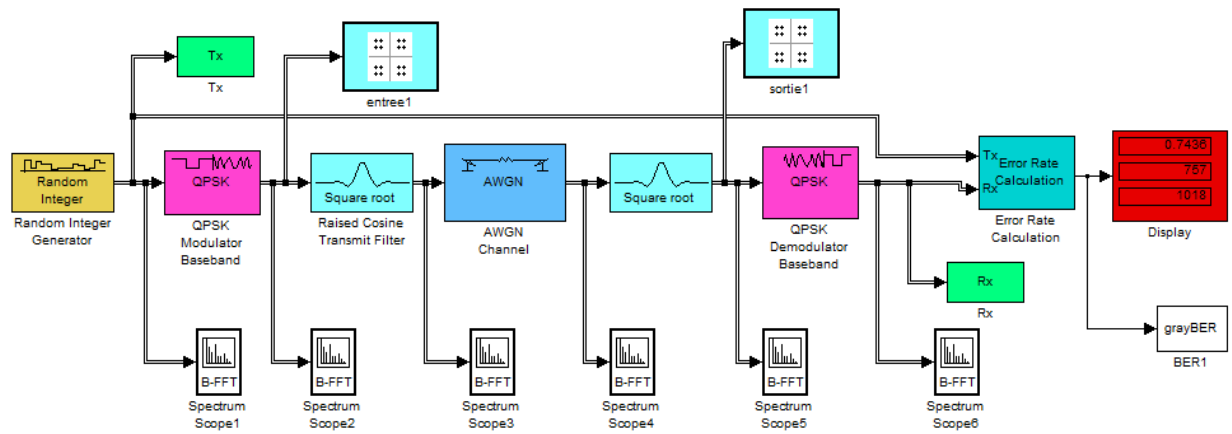


Figure 4.9 :Modélisation d'une chaîne de modulation **QPSK** sans correcteur d'erreur

La modulation QPSK est une modulation de phase à 4 états de la fréquence intermédiaire pour un signal numérique. La figure (4.10) montre une constellation QPSK avant l'entrée dans le canal et après sa sortie du canal avec filtre .

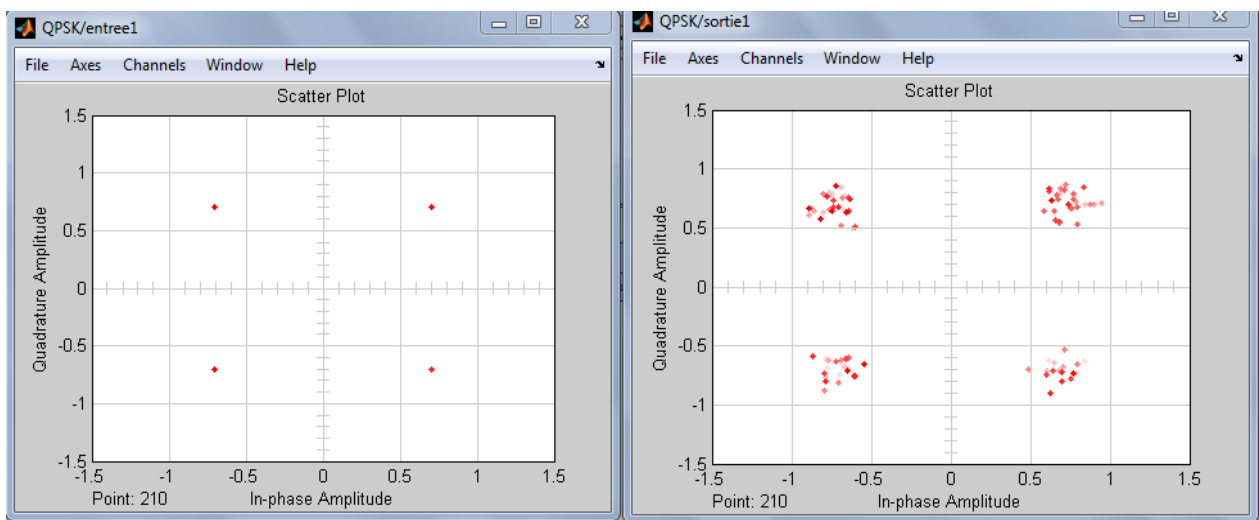


Figure 4.10 : la constellation de modulation QPSK (Entrée / Sortie)

Le tableau (4.2) montre que la relation entre le rapport E_b/N_0 et le **TEB** et la figure (4.11) est basées sur la performance de TEB dans une chaîne de Transmission QPSK sans correction d'erreur.

E_b/N_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BER	2.593	1.931	1.306	7.78	3.93	1.61	5.1	1.1	1,8	1,79	9,80	2,64	2,96	1,11	1,05
	E-1	E-1	E-1	E-2	E-2	E-2	E-3	E-3	4 ^{E-4}	E-5	E-7	E-8	E-10	E-12	E-15

Tableau 4.2 : Relation entre le rapport E_b/N_0 et le **TEB** avec modulation QPSK

Chapitre 4 : simulation et résultats

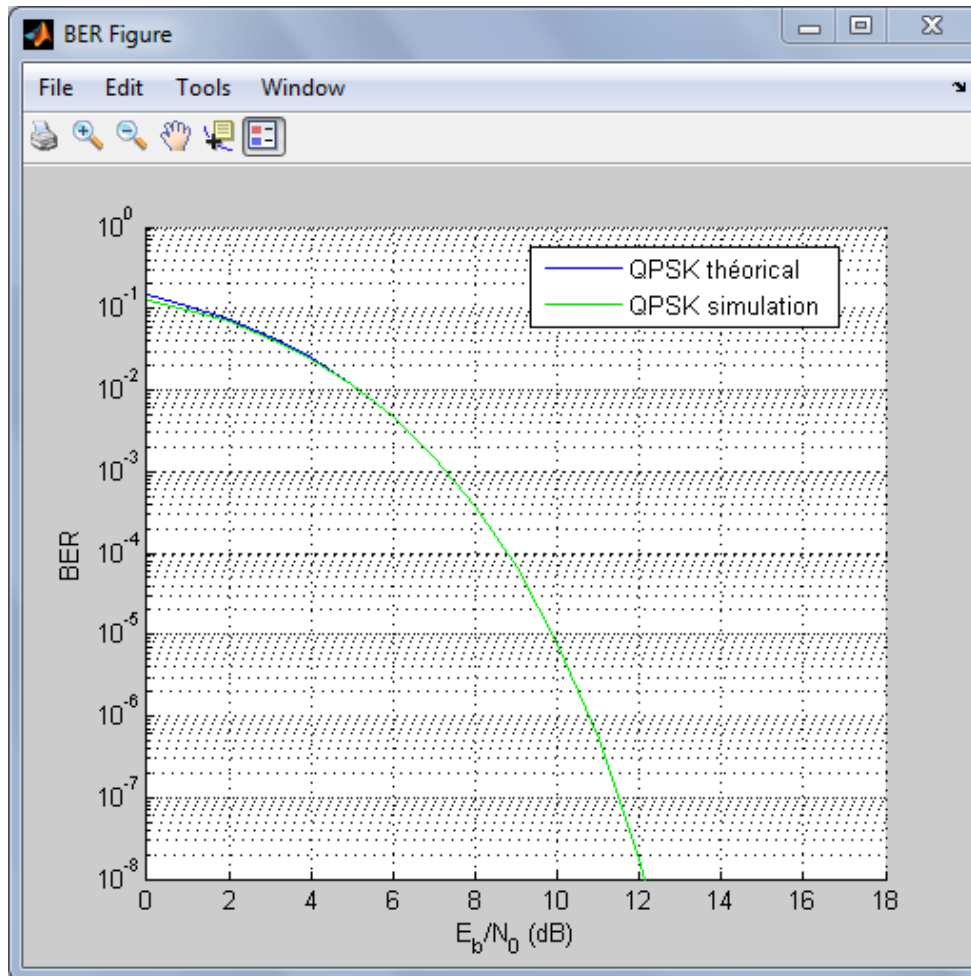


Figure 4.11 : taux d'erreur d'une chaîne de modulation QPSK

Le signal de modélisation sur le canal et les comparaisons entre les bruits avant la modulation QPSK , l'entrée et la sortie de canal et le rôle de filtre à l'entrée et la sortie. Les figures suivantes montrent que les signaux sur la modélisation de canal AWGN avec QPSK :

Chapitre 4 : simulation et résultats

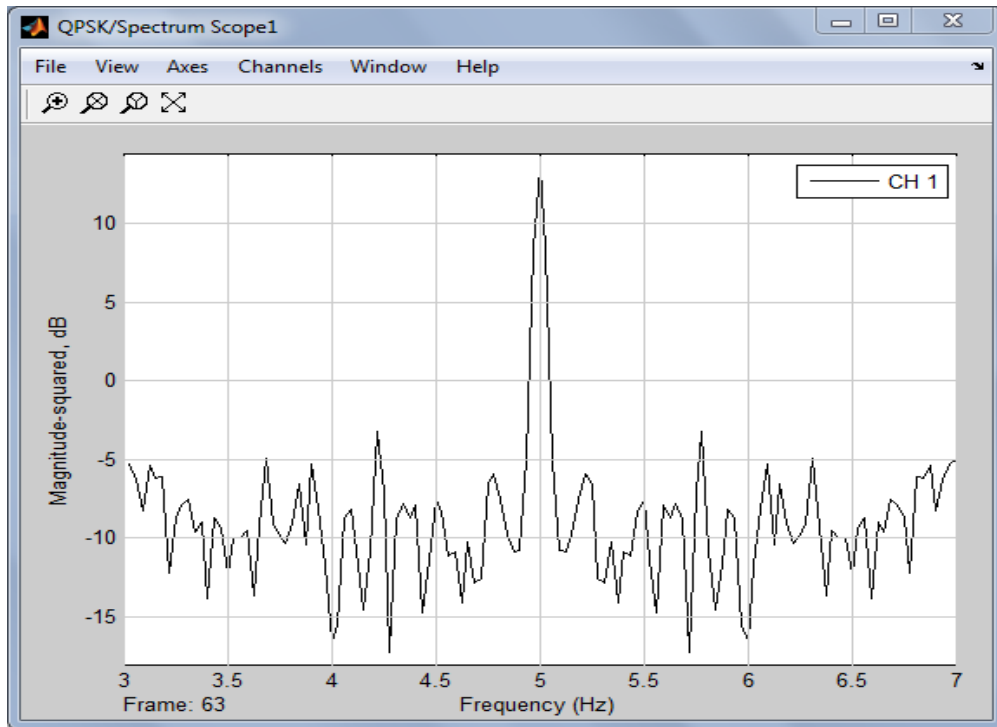


Figure 4.12: Signal avant de modulation QPSK

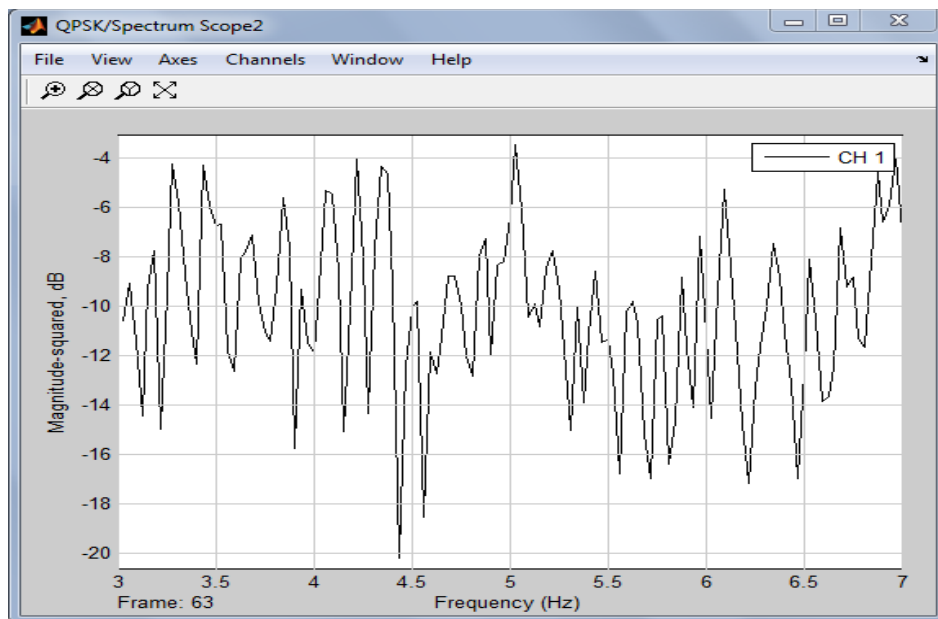


Figure 4.13 : signale d'entrée d'un filtre de transmis

Chapitre 4 : simulation et résultats

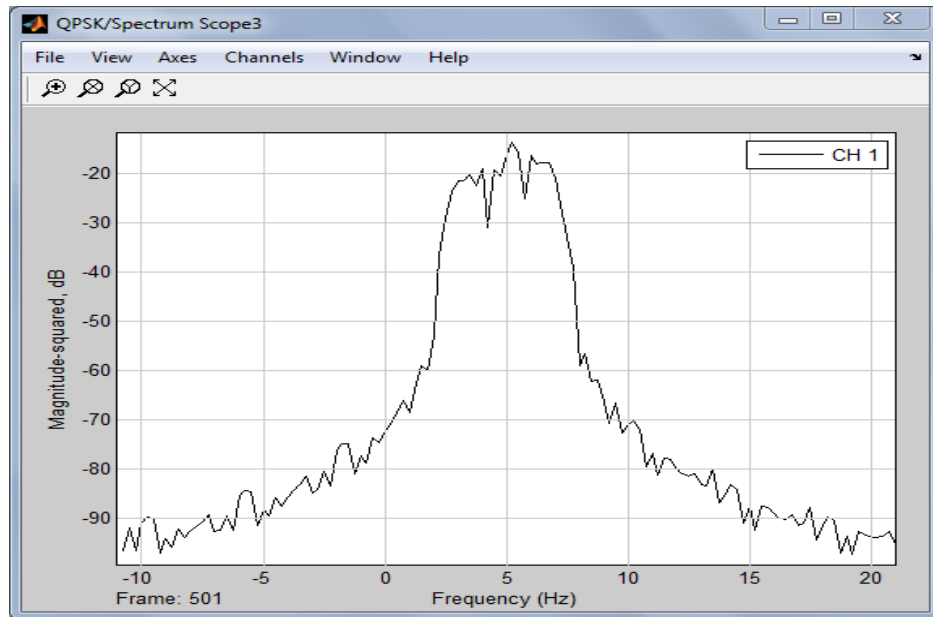


Figure 4.14 : signale sortir d'un filtre de transmis

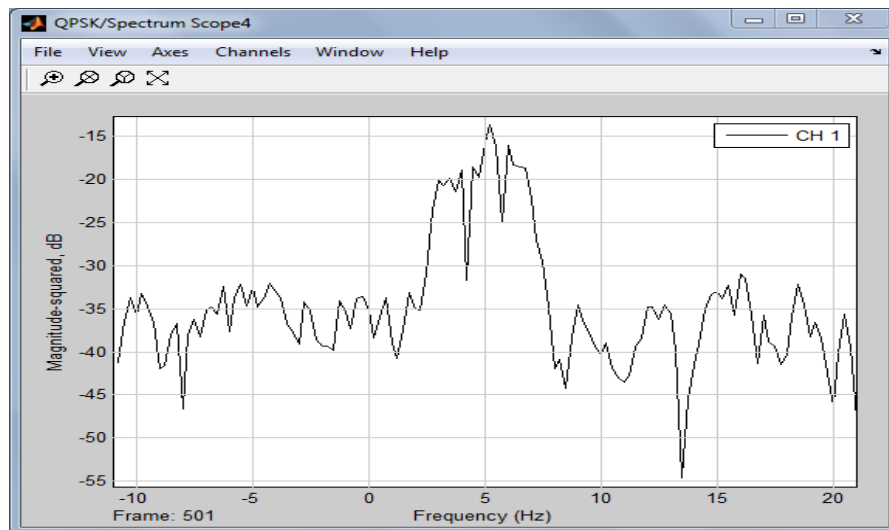


Figure 4.15 : le signale sortir d'un canal AWGN et l'entrée d'un filtre recievre

Chapitre 4 : simulation et résultats

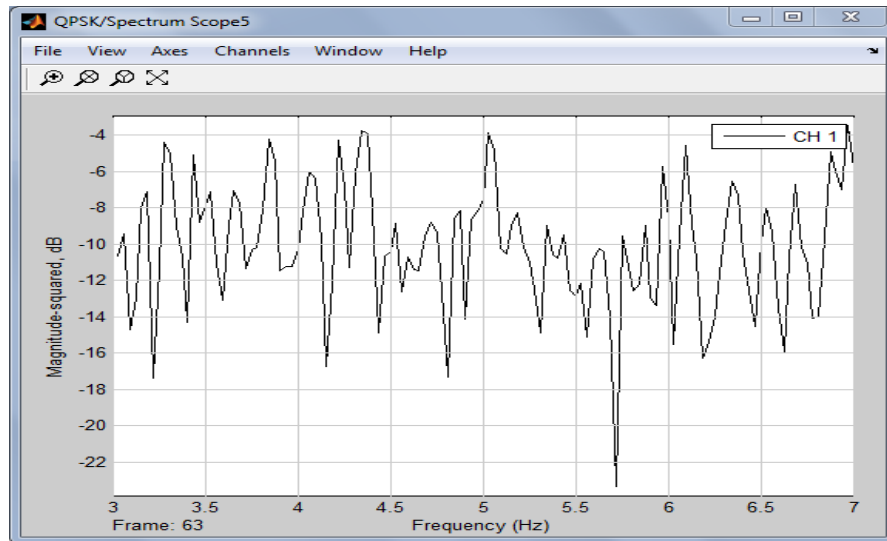


Figure 4.16 : le signale sortir d'un filtre recievre

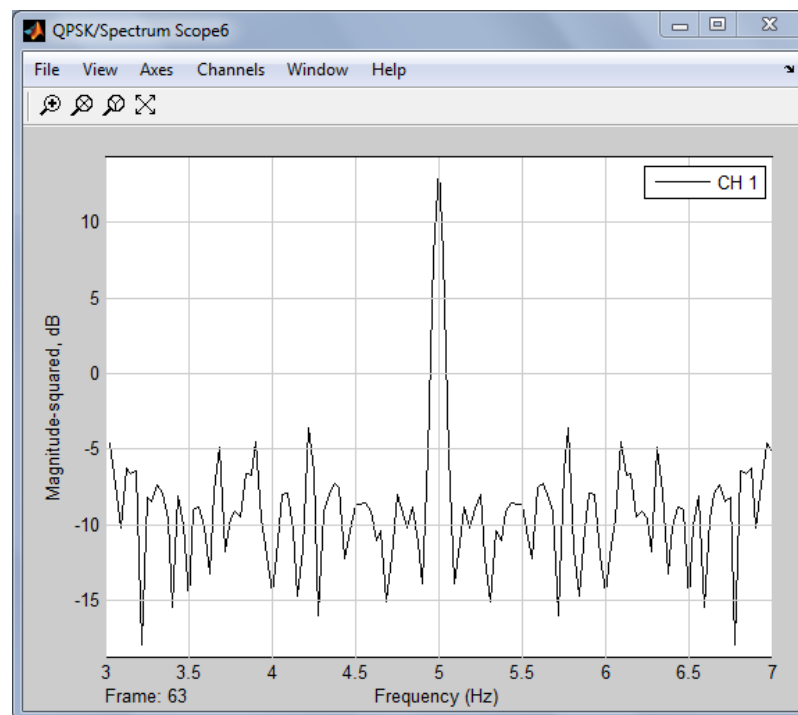


Figure 4.17: le signale après d'un démodulation QPSK

Chapitre 4 : simulation et résultats

4.5. Simulation de code Convolutif avec modulation QPSK en AWGN :

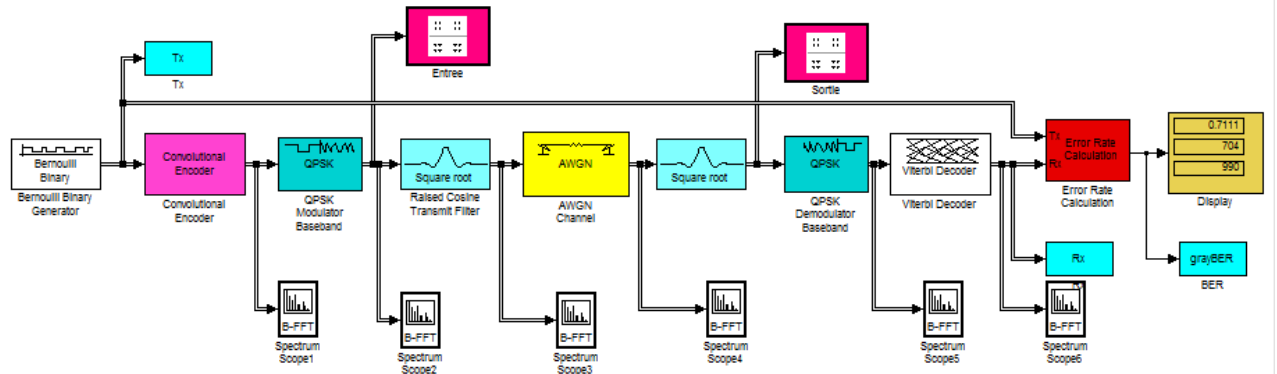


Figure 4.18 : modèle de simulation de modulation QPSk avec code convolutif

La figure (4.18) est montrée que la chaîne de transmission de QPSK en AWGN avec un code correcteur d'erreurs de type code convolutif nous avons configuré le codeur convolutif et le décodeur de viterbi comme suit: configurer Treillis structure à poly2trellis (7, [171 133]) , configurer le décodeur viterbi à type de Hard décision et la modulation QPSK en bit et phase de $\pi/4$ pour la phase d'entrée et sortie .

La figure (4.19) suivante montre l'amélioration de taux d'erreur binaire tout en ajoutant le codeur convolutif et le décodeur de Viterbi, tout en comparant la courbe de performance de TEB en utilisant le codage convolutif, le codage convolutif est plus performant que le codage RS . et un tableau (4.3) présente la relation entre le TEB ou BER et le rapport E_b/N_0

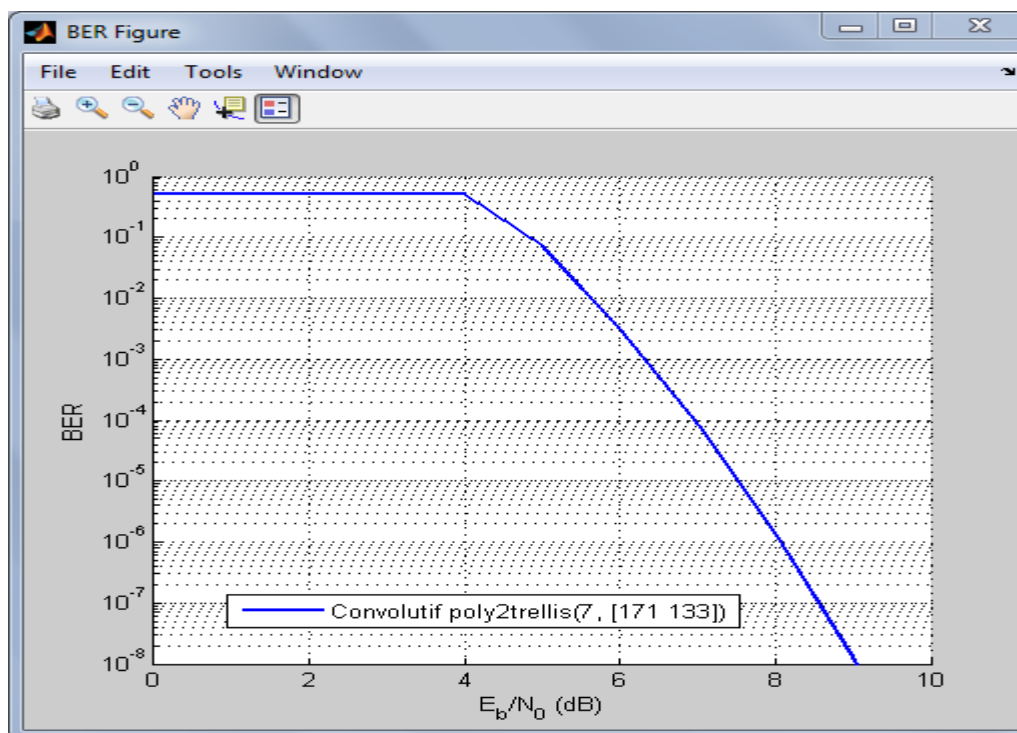


Figure 4.19 : taux d'erreur binaire d'une chaîne de code convolutif

Chapitre 4 : simulation et résultats

Eb/N0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BER	5	5	5	5	5	7,05	3	8,19	1,43	1,29	4,37	4,01	6,90	1,43	2,06
	E ⁻¹	E ⁻¹	E ⁻¹	E ⁻¹	E ⁻¹	E ⁻²	E ⁻³	E ⁻⁵	E ⁻⁶	E ⁻⁸	E ⁻¹¹	E ⁻¹⁴	E ⁻¹⁸	E ⁻²²	E ⁻²⁸

Tableau 4.3: montre la relation entre le rapport E_b/N_0 et le **TEB** avec code convolutif

Le signal de modélisation d'une modulation de QPSK avec code convolutif . les figures suivant à montre que les signale sur le canal AWGN avec QPSK et codage avec décodage de code convolutif

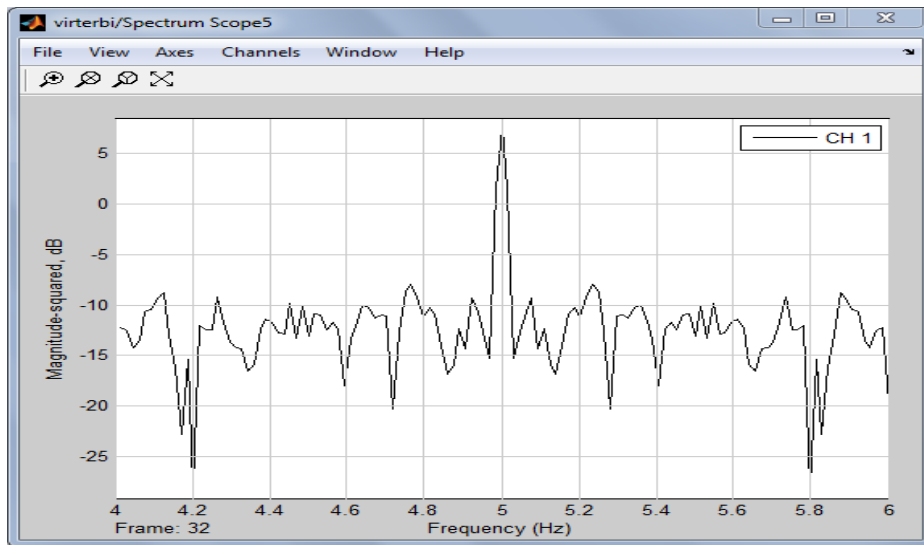


Figure 4.20 : le signal d'entrée de décodeur convolutif

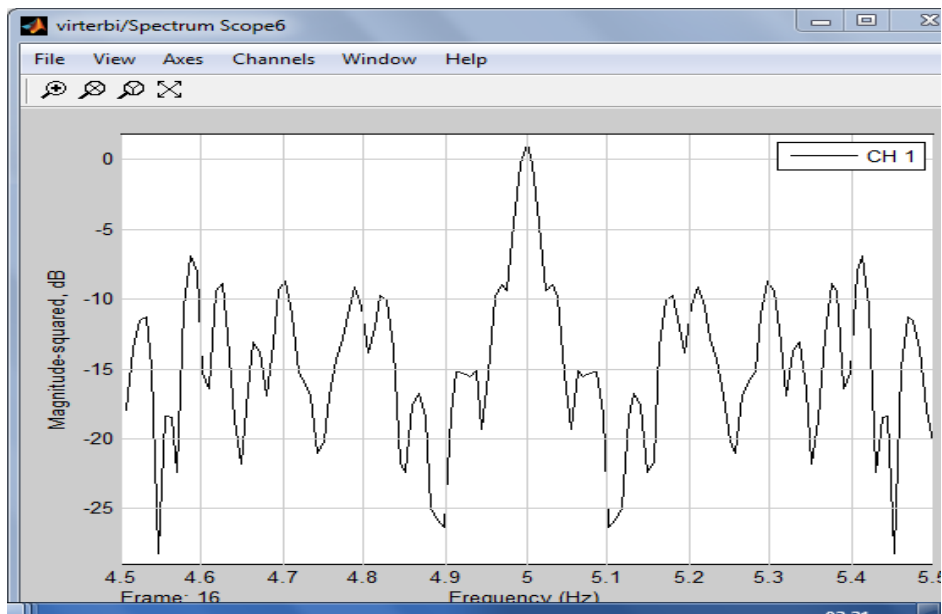


Figure 4.21 : le signal sortir de décodeur convolutif

Chapitre 4 : simulation et résultats

4.6. Simulation de code Reed-Solomon avec modulation QPSK en AWGN :

Encoder RS est utilisé comme un codeur pour détecter et correcteur les erreurs lorsque les paquets cryptés ont une longueur de 188 octets et ajoute 16 octets de redondance à 16 octets de redondance, soit 204 octets à la sortie du codeur.

Dans le récepteur, le décodeur est identique aux valeurs cryptographiques afin d'éviter les erreurs. Le décodeur sera catastrophique car les octets redondants seront considérés comme des octets d'informations et les premiers octets du paquet suivant sont des octets de redondance. La figure (4.22) montre le modèle de canal de transmission pour le codage RS en canal AWGN en utilisant la modulation QPSK:

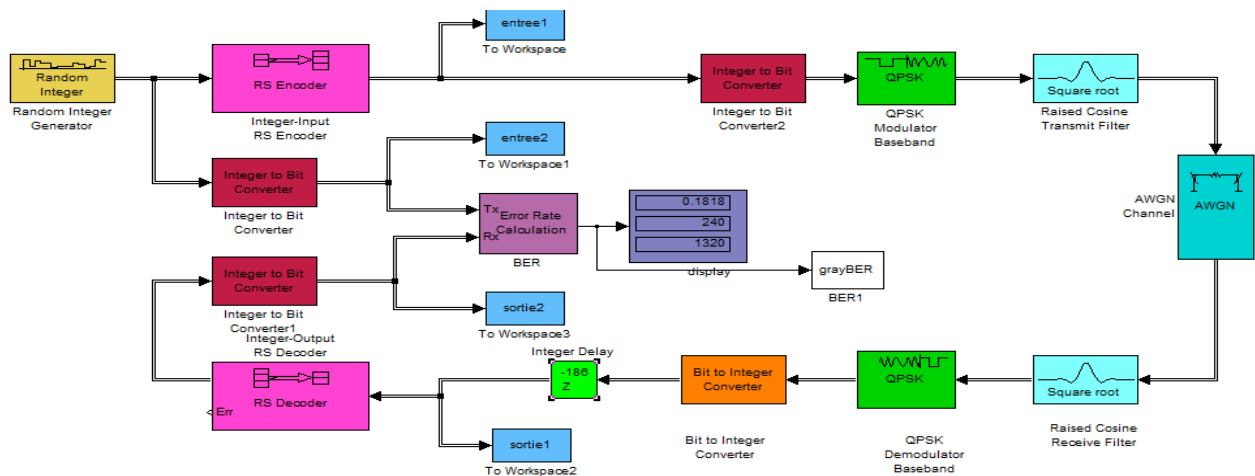


Figure 4.22 : modèle de simulation d'une chaîne de AWGN avec code RS

Nous avons effectué 3 changements de performance RS , Nous remarquons que le taux d'erreur binaire s'améliore à chaque changement. Elle est un facteur approprié pour la correction des erreurs d'impulsion et réduit le rapport signal sur bruit, en raison des mauvaises performances du taux d'erreur binaire dues aux erreurs aléatoires dans canal AWGN Applications pour les communications spatiales et spatiales telles que (n= 7, k=5, d_{min} = 3) et (n=7, K=3, d_{min} =5), deuxièmes applications du code de communication par satellite et spatial standard de la NASA (n= 255, k=223, d_{min}= 33). La figure (4.23) présente la performance de TEB après avoir ajouté le codeur Reed-Solomon . et une tableaux présente la relation entre le TEB ou BER et le rapport E_b/N_0 .

E_b/N_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BER	2.482	2.273	1.993	1.625	1.174	6.99	3.13	9.6	1.8	2,05	1,20	3,33	3,77	1,42	1,35
	E_{-1}	E_{-1}	E_{-1}	E_{-1}	E_{-1}	E_{-2}	E_{-2}	E_{-3}	E_{-3}	E_{-4}	E_{-5}	E_{-7}	E_{-9}	E_{-11}	E_{-14}

Tableau 4.4: montre la relation entre le rapport E_b/N_0 et le TEB avec code RS (7, 3)

Chapitre 4 : simulation et résultats

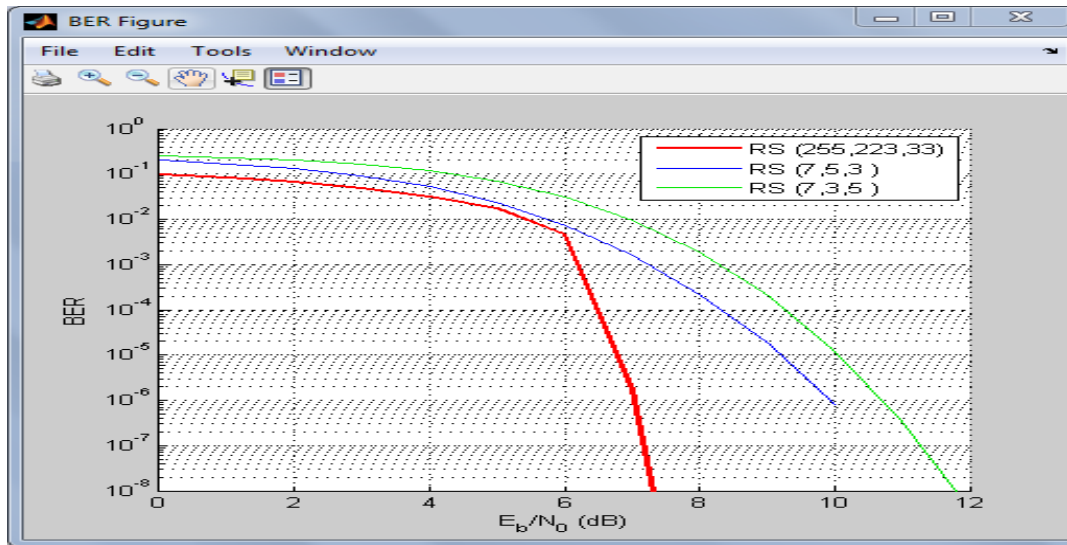


Figure 4.23: taux d'erreur binaire de différents valeurs de code RS

4.7. Modélisation de la chaîne de transmission complète de DVB-S :

Cette dernière section contient l'ensemble du modèle de transmission de DVB-S complet ,consistant en la modulation et la démodulation de QPSK , l'etrelaceur qui utilisé d'un nombre entier qui utilise le principe de l'enrelaceur Emboîtement de convolutionnel et utilise deux paramètres (le nombre de branches k et la profondeur T en (octet) du registre à décalage de base) et contient un code RS Pour le chiffrement externe contenant deux paramètres (n, k),et la distance minimale (d_{min}) et code convolutif pour le codage interne, filtre « raised cosinus transmettre and receive » et canal AWGN qui permettent l'entrée de bruit, lors de la sortie du canal, nous déchiffrons de code RS et convolutif . Et calculer le taux d'erreur qui assure la précision TEB ou BER .

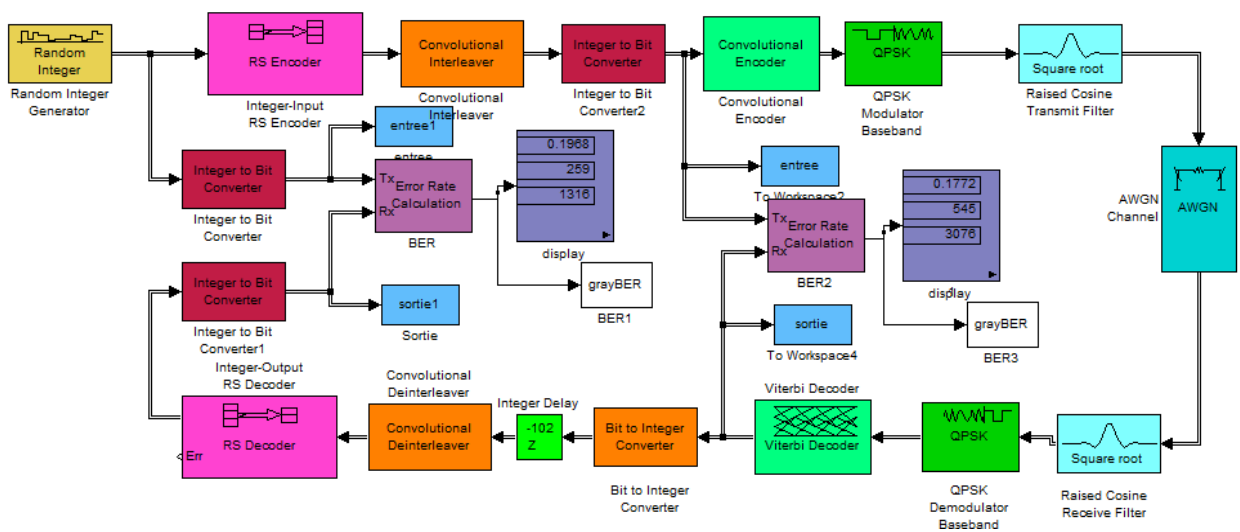


Figure 4.24: modèle de simulation d'une chaîne de transmission de DVB-S

Chapitre 4 : simulation et résultats

le bloc de l'espace de travail ou « to workspace » est obligatoire dans la simulation sous simulink matlab pour de tracer les courbes BER en fonction E_b/N_0 : « Average of corrected errors » ou « taux de correcteur d'erreurs » . les entrées de composant « Error rate calculation » → doit être ($T_x=R_x$) .

Pour la simulation d'une chaîne de transmission de DVB-S , il y a un problème avec la sortie du code RS lors du décodage et nous n'avons donc pas eu la chance d'obtenir le graphe correct ce qui est censé être comme ça .

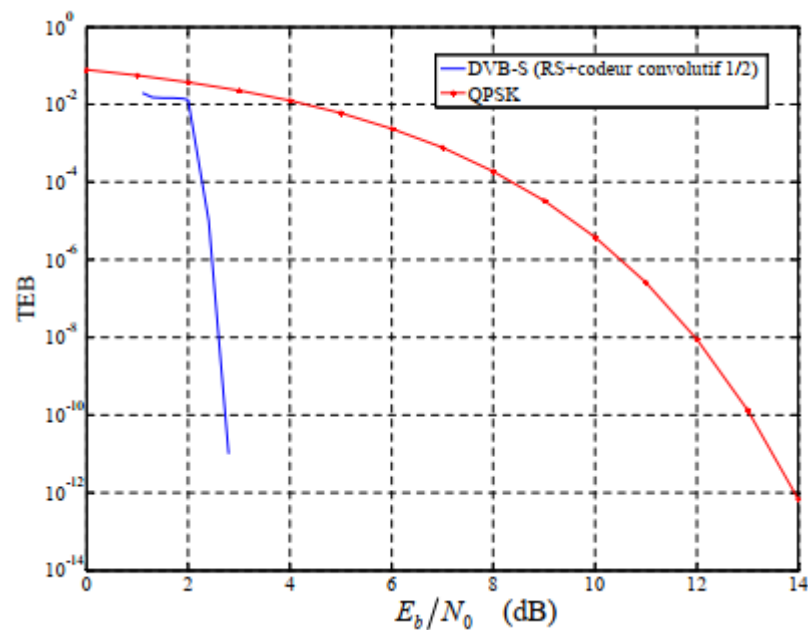


Figure 4.25 : taux d'erreur binaire d'une chaîne de transmission DVB-S

4.8. Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, nous avons appris la généralité de MATLAB et de ses simulations. Nous avons représenté la forme d'un canal AWGN avec les modulations BPSK et QPSK de manière à ce que la constellation soit différente pour chacun d'eux. Il y'a deux états de phases dans la première modulation et la deuxième modulation est existe 4états de phase . ainsi les valeurs différentes enregistrées par les courbes.

En ce qui concerne le canal, et avec l'ajout des codeurs RS et Convolutif et du filtre, il existe un effet important du filtre par la valeur du facteur Roll-off (α) sur le canal, Pour cela, nous avons expliqué une explication simplifiée pour chacune des courbes précédentes avec les tableaux et les valeurs obtenues dans les tableaux. On a remarqué que le signal varie avant et après le filtre pour le canal.

***Conclusion
générale***

Aujourd'hui, la diffusion vidéo numérique par satellite est la norme la plus échangée et utilisée dans les systèmes de diffusion numérique. Où elle est classée comme l'une des types de diffusion vidéo numérique en plus de la diffusion terrestre, la diffusion par câble et la diffusion à l'aide des systèmes mobiles **3G** et **4G**.

La DVB-S est la plus largement utilisée pour sa large bande, qui diffuse de nombreuses chaînes de radio et de télévision, elle utilise généralement la norme **MPEG-2** propre aux photos d'animation pour le cryptage des données et aussi **FEC** (forward error code) pour assurer une transition efficace avec un rapport signal/bruit faible, soit le codage **Reed-Solomon** et le code **Convolutif** pour faire un signal fort contre la grande quantité d'erreurs, ce qui se passe généralement pendant le transfert de données par satellite, elle utilise également la modulation de **QPSK** pour modifier le signal pour être envoyé au canal **AWGN**.

Les données envoyées sont fractionnées en paquets de transport, et sont divisées à travers un certain nombre de techniques telles que les tubes de données, le flux de données et les données circulaires, ainsi, pendant le processus de transmission des données, de nombreuses erreurs devraient se produire. Elles sont calculées au taux d'erreur binaire et utilisent les codages pour corriger les erreurs, de même pour les codages interne et externe afin d'accroître la protection accrue pour un plus faible rapport (E_b/N_0). Malgré les techniques utilisées par la technologie de diffusion vidéo numérique par satellite pour réduire les erreurs et le bruit, les résultats ne sont pas satisfaisants à ce point.

C'est pour cela la **DVB-S** de deuxième génération appelée **DVB-S2** est meilleure que la norme précédente. Car elle permet l'utilisation des services de diffusion et TVHD avec accès à Internet.

En vérifiant le facteur de Roll-off (α) et en expérimentant de nombreuses valeurs ($\alpha = 0.2, \alpha = 0.3, \alpha = 0.35$), la valeur la plus appropriée de la technologie de DVB-S qui change dans le filtre est ($\alpha = 0.35$), mais la technique de DVB-S2, elle varie en fonction du canal de transmission et les trois suggestions précédentes peuvent être appliquées.

La **DVB-S**, Malgré son développement, il manque encore beaucoup pour diffuser la télévision numérique, avec concentration sur la convergence de différents médias et interaction.

Pour l'avenir de la DVB-S comme perspective, d'autres valeurs peuvent être suggérées pour le facteur Roll-off (α) afin d'améliorer la fonction de filtrage afin d'obtenir de meilleurs résultats qu'auparavant et de trouver des solutions aux problèmes rencontrés dans ce projet, tels que le bloc de décodage RS à sortir d'un canal de transmission DVB-S et nous suggérons de fixer le signal envoyé par satellite et d'autres méthodes plus précises pour éviter les interférences causées par les conditions météorologiques.

Bibliographie :

[1] : Ange- Loukou OUFFOUE Institut de formation professionnelle générale- Institut supérieur de formation professionnelle technique Abidjan - Ingénieur réseaux et télécommunications , 2007, https://www.memoireonline.com/01/14/8647/m_Implementation-de-latelevison-mobile-cas-de-la-societe-Monicash3.html

[2] : le 21 janvier 2019 , https://fr.wikipedia.org/wiki/Digital_Video_Broadcasting

[3] : Lilian BOSSUET, Guillaume FERRE . Année2008. « Etude et modélisation sous Simulink d'une chaîne de transmission DVB-S » . *avenue du Dr Albert Schweitzer – BP 99 – 33402 TALENCE Cedex – France* .numéro 1 .1-14pages .

[4]: EN 300 421 V1.1.2 (1997-08) . « Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services » . Sophia Antipolis Cedex – France . European Standard (Telecommunications series) . 24pages .

[5] : ARBOUZ Fedwa , ALLALI Khayra . Année 28 /06/ 2018 . « Etude et modélisation d'une chaîne de transmission DVB » . Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen – Faculté de TECHNOLOGIE . pages96 .

[6] : le 4 octobre 2018 , <https://fr.wikipedia.org/wiki/DVB-T>

[7] : le 29 septembre 2017 , <https://fr.wikipedia.org/wiki/DVB-H>

[8] : le 2019 , <https://docplayer.fr/12602346-Etude-comparative-entre-dvb-s-et-dvb-s2.html>

[9] : le 22 novembre 2017, <https://fr.wikipedia.org/wiki/DVB-S>

[10] : le 22 novembre 2017, <https://televiseur.ooreka.fr/comprendre/television-par-satellite>

[11] :Tatie Jeanine, 2007-2019, <https://televiseur.ooreka.fr/comprendre/parabole-satellite>

[12] : Ihsane Tou, HAL Id: tel-00807583 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00807583> , « *Adaptation de la couche transport des systèmes de communication hybrides satellite/terrestre* », Submitted on 4 Apr 2013.

[13] : Copyright 2019, ETSI , <https://www.etsi.org/technologies/satellite/dvb-s-s2/>

[14] : M Julien Fasson .Soutenu le 15 décembre 2004 . « *Étude D'une Architecture Ip Intégrant Un Lien Satellite Géostationnaire* ». Thèse pour le doctorat en Réseaux et

[15] : Projets diffusion d'images sur un lien DVB S2 Partie I : étude du système DVB S2. MODAP Télécommunications sans fil Multimédia. Page 8

[16] : Nizar Jegham , HAL Id: tel-00495622 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00495622> , « Performances des applications IP dans les systèmes de communications par satellite : cas du DVB-RCS et du DVB-S2 », Submitted on 28 Jun 2010 .

[17]: Monika Kapoor¹ Ph.D Scholar, Electronics & Telecommunication Department, University Institute of Technology, Rajiv Gandhi Prodyogiki Vishwavidyalaya, Bhopal, Madhya Pradesh, India. ¹Orcid: 0000-002-4210-0232 Dr. Anubhuti khare² Electronics & Communication Engineering Department, University Institute of Technology, Rajiv Gandhi Prodyogiki Vishwavidyalaya, Bhopal, Madhya Pradesh, India. “*Performance Analysis of Reed Solomon Code for various Modulation Schemes over AWGN Channel*” . International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 17 (2017) pp. 6391-6398 © Research India Publications. <http://www.ripublication.com> . 8pages

[18] : Mr IFTENE Essedik , Année Universitaire :2015/2016 , « Etude des structures d'entrelaceurs pour le codage turbo du canal pour l'optimisation des systèmes de communication par satellite » , République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf , 128pages

[19] : yesser bouslah,salim gantassi,kais slimani. Année2014_2015 . « Etude et Modélisation sous simulink d'une chaine de Transmission DVB-S » .Bouslah yasser . Institut supérieur des Etudes technologiques en communication de Tunis. Pages 51.

[20] : le 11 mai 2019, https://fr.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying

[21] : Daniel Jean , 30 Mai 2006,<http://pages.videotron.ca/danjean/Transmission%20DVB.html>

[22]: Elena Moral. « *DVB-S Digital Video Broadcast, Satellite*, ». elemo561, Linköping University. Pages 12.

[23] : satellites *version2.1*.Michel Terré terre@cnam.fr . « système satellite » . 26 page

[24] : John Proakis , avril 1967, <https://sites.google.com/site/amelieboissierdescombes/intro/5>

[25] : Marc Chaumont . Novembre 12, 2008 . « Codes Correcteurs d'Erreurs Les codes convolutifs binaires ». Pages .22

[26] : (A. Migan), S. Argentieri . Année 2011 - 2012 . « Transmission de l'information : Les codes convolutifs » . (A. Migan), S. Argentieri . universite pierre & marie curie la science à paris . pages.67

[27] : le 24 décembre 2018, <https://fr.wikipedia.org/wiki/MPEG-2>

[28] : Prakash Patel¹, Dr. Snehlata Kothari², Dr. Dipesh Kamdar³ Research Scholar, Department of Electronics and Communication Engineering, Pacific University, Udaipur, Rajasthan, India¹ Professor, Co-Ordinator Pacific University, Udaipur, Rajasthan, India² Associate Professor, Department of Electronics and Communication Engineering, V.V.P Engineering College, Rajkot, Gujarat, India ³ . Issue 9, September 2016 . « Simulation Modal of DVB-S2 using without and with Filter » . (*An ISO 3297: 2007 Certified Organization*) . Volume:5. 5pages .1-5 page .

[29] : Nizar Jegham. Année2008 . « Performances des applications IP dans les systèmes de communications par satellite : cas du DVB-RCS et du DVB-S2» . Autre [cs.OH]. Université ParisEst,. Français . 133pages . <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00495622/document>

[30]: Institut numerique,06/05/2013,<https://www.institut-numerique.org/chapitre-2-streaming-en-environnements-legers-51877b577d442> ,104pages

[31] : Alexandru-Florin ANTONE, Radu ARSINTE , 2010. « AN EXPERIMENTAL STUDY OF QUALITY ANALYSIS METHODS IN DVB-S/S2 SYSTEMS » . 26-28 G. Barițiu Street, 400027 Cluj-Napoca, Romania . Volume 51 . Number 4 . 1-6 page .

[32] : Join nearly, <https://www.techopedia.com/definition/824/forward-error-correction-fec>

[33] : Bahman Azarbad and Aduwati Binti Sali .(September 26th 2012). « DVB-S2 Model in Matlab: Issues and Impairments » , MATLAB - A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications ,Volume 2, Vasilios N. Katsikis, IntechOpen, DOI: 10.5772/46473.

[34] : Camille ALDEBERT,Publié le 31/10/2015, <https://www.supinfo.com/articles/single/1431-codes-bch>

[35] : Nelly Burrin . Année2006. « Finite fields And Error-correcting codes » . Andrew Brown . Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. Pages.54

[36] : Frédéric GUILLOUD¹ , Emmanuel BOUTILLON² , Jean-Luc DANGER¹ . « Décodage des codes LDPC par l'algorithme λ -Min » . BP 92116, 56321 LORIENT Cedex, France. volume 46. 75634 Paris Cedex 13 . 1-4pages .

- [37] : le 4 mars 2018 , <https://fr.wikipedia.org/wiki/LDPC>
- [38] : F. GUILLOUD, E. BOUTILLON. Année 7 Avril 2005 . « Architecture générique Architecture générique de décodage de code LDPC de décodage de code LDPC » . lester.université-USB . Pages.54 .
- [39] : Armin Dammann , Ronald Raulefs. « Evaluation of diversity gains for the next generation of terrestrial DVB », *Oberpfaffenhofen,82234 Wessling, Germany* , Institute of Communications and Navigation, German Aerospace Center (DLR) . 1-5pages.
- [40] : Hugo Meric , Jose Miguel Piquer, INRIA Chile, Santiago, Chile .20octobre2013. « DVB-S2 Spectrum Efficiency Improvement with Hierarchical Modulation » . *arXiv:1310.0677*.volume 1 [cs.NI]. 6pages .
- [41] : ETSI EN 302 307 V11.2.1 (2009-08) European Standard (Telecommunications series) . « Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2) » . 650 Route des Lucioles F-06921. Sophia Antipolis Cedex – France.
- [42] : L. Jordanova, L. Laskov, D. Dobrev. Année 2014, « Constellation and Mapping Optimization of APSK Modulations used in DVB-S2 » . *Vol. 4, No. 5, 2014, 690-695* . 6pages .
- [43] : Recommandation UIT-R BO.1784-1. Publication électronique, 2017. *Système numérique de radiodiffusion par satellite avec configuration souple (télévision, son et données)* . Genève . 31pages .
- [44] : Disponibilité du Service:Afrique, Europe, Moyen-Orient, Amériques, Asie , 2013 , <http://www.bcsatellite.net/fr/dvb-and-dvbs2-acm/>
- [45]: Kebbien , lundi 6 février 2017, <https://electrokebetsat.blogspot.com/2017/02/differenceentre-dvbs-et-dvbs2.html>,105pages .
- [46] : Date:2016/4/5 ,<https://fr.fmuser.net/content/?1906.html>
- [47] : <http://tpe-telecran.auxlazaristes.fr/la-transmission-des-donnees>
- [48] : le 25 mai 2019, https://fr.wikipedia.org/wiki/Code_correcteur
- [49] : Mlle. Khadidja SERIR . Soutenu en octobre 2011 devant la commission SIC . *Application des codes correcteurs d'erreurs Reed Muller* . Mr. Mourtada BENAZZOUZ.

République Algérienne Démocratique et Populaire Université Abou Bakr Belkaid. Tlemcen. 80 pages .

[50] : Marc Chaumont . January 17, 2008 . *code correcteurs d'erreurs* . "The Art of Correcting Coding", Robert H. Morelos-Zaragoza, 2002 Cours de Pierre Abbrugiati, Université de Nice, Cours de Marc Uro, INT Evry. pages 58

[51] : B.Rouzeyre . *Code détecteurs et correcteurs (cours)*. J. Badrikian, Technosup, Ellipses (cours et exercices).

[52] : Samuele Dietler . Télécommunications Traitement et transmission de l'information Prof. Stephan Robert Télécommunications . *Implémentation de codes de Reed-Solomon sur FPGA pour communications spatiales Code correcteur d'erreurs* . haut Ecole spécialisée de suisse occidentale . pages82

[53] : Aby Sebastian & Kareem Bonna . *Reed-solomon Encoder and Decoder*. Prof.Predrag Spasojevic Electrical and Computer Engineering Department Rutgers, The State University of New Jersey. pages 25.

[54] : Martyn Riley and Iain Richardson, *Communications Ltd 1996, 1997, 1998*, https://www.cs.cmu.edu/~guyb/realworld/reedsolomon/reed_solomon_codes.html

[55] : le 29 juillet 2018 , https://fr.wikipedia.org/wiki/Code_de_Reed-Solomon

[56] : Haisheng Liu, le 1 juillet 2009 , <https://docplayer.fr/15071068-These-telecom-bretagne.html>

[57] : Pierre Bonnet . USTL - Master ASE M1 – Outils de simulation - 2009-2010 . *Outils de simulation Partie : Matlab* . université-lille1 sciences et technologies . pages16

[58] : Stéphane BRASSET, Françoise BRIOLLE, Édition 2012, <https://docplayer.fr/1032041-Telecommunication-modulation-numerique.html>