

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
Institut de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : TELECOMMUNICATION
Filière : TELECOMMUNICATION
Spécialité : Réseau et Télécommunication

Thème

Etude comparatif entre les chaines de transmission DVB-S

le : 05 Novembre 2020 à Ain Temouchent

Présenté Par :

- 1) Mr. **HORRI** Mohamed Nabil
- 2) Mr. **ZENAGUI** Abdessamad

Devant le jury composé de :

| | | | |
|--------------------|-----|--------------------------|---------------|
| Dr. DEBBAL Mohamed | MCA | C.U.B.B (Ain Temouchent) | Président |
| Mr. K. BENDIMRAD | MAA | C.U.B.B (Ain Temouchent) | Examineur |
| Dr. S. SOUIKI | MCB | C.U.B.B (Ain Temouchent) | Encadrante |
| Mlle. S. BELAROUCI | | Université de Tlemcen | Co-Encadrante |

Année universitaire 2019/2020

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Allah de nous avoir donné le courage, la patience et la sante de mener à bien ce travail surtout en cette année difficile.

*Mes remerciements à **Mme. SOUKI SIHEM** notre encadrante qui a était là pour nous avoir suivie tout le long de ce projet.*

*Ainsi que notre Co-encadrante **Melle. BELAROUCI SARA** pour son aide et ses encouragements et le soutien qu'elle nous a apporté.*

Aussi le corps enseignant du département génie électrique en particulier qui nous ont permis d'être là où nous somme, et à toute personne qui nous a aidé de près ou de loin dans ce projet.

Et au membre des jurys pour avoir accepté de juger notre projet de fin d'études.

Dédicace

*Je voudrais remercier tous les membres de ma
famille, le premier d'entre eux, mes chers parents,
ma mère et mon père,*

*Qui m'ont beaucoup soutenu physiquement et
moralement, ainsi que tous mes frères FAROUK,
AMIR*

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont
soutenu, Encouragé et ont contribué au bon
déroulement de ce mémoire,*

AINSI QUE

*Mes amis K.SYLIA, M.DIAWARRA,
H.ISSAMEDDINE.*

HORRI MOHAMED NABIL

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout

au long de mes études,

A ma chère sœur ASMAA pour son encouragement

permanent, et son soutien moral,

A mes chers frères, IMAD et MILOUD pour leur

appui et leurs encouragements,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de

mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant

allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

ZENAGUI ABDESSAMAD

Résumé : Dans ce projet de fin d'étude, on a réalisé une étude comparative entre les standards de diffusion satellitaire de la télévision que sont DVB-S, DVB-S2 et DVB-S2X. Dans notre étude on a pu observer clairement l'évolution de cette norme de diffusion depuis ses origines en 1994 jusqu'à sa nouvelle extension lancée en 2013 qui est la DVB-S2X qui permet une qualité d'image excellente en UHD et la possibilité de transporter les données avec un débit important et une faible atténuation du signal. On a réalisé une comparaison des performances de chacun des trois standards avec l'aide du logiciel Matlab qui nous a permis de modéliser les chaînes de transmission et observer les résultats en termes d'efficacité du spectre, de diagrammes de constellation et de taux d'erreurs binaires.

Mots clé : Diffusion satellitaire, standard DVB, comparaison, constellation, efficacité du spectre, taux d'erreurs binaires.

Abstract: In This thesis, a comparative study was carried out between the three satellite television broadcasting standards which are DVB-S, DVB-S2 and DVB-S2X. In our study throughout this memory we have been able to clearly observe the evolution of this broadcasting standard from its beginning in 1994 to its new extension launched in 2013 which is the DVB-S2X which has allowed excellent image quality in UHD with the possibility of transporting data at high speed with low signal attenuation. In our third chapter we carried out a comparison of the performances of each of the three standards with the help of Matlab software which allowed us to model the transmission chains and see the results in terms of spectrum efficiency, constellation diagrams and the bit error rate.

Keywords: TV broadcasting standards, DVB-S/S2/S2X, data speed signal performance.

ملخص : خلال أطروحتنا المقدمة في إطار مشروع التخرج لشهادة الماستر ، قمنا بإجراء دراسة مقارنة بين معايير البث التلفزيوني عبر الأقمار الصناعية الثلاث وهي DVB-S و DVB-S2 و DVB-S2X. خلال بحثنا المعمق في هذا الميدان ، تمكنا من ملاحظة تطور معيار البث هذا بوضوح من بدايته في عام 1994 إلى امتداده الجديد الذي تم إطلاقه في عام 2013 وهو DVB-S2X الذي سمح بالحصول على جودة صورة ممتازة بصيغة UHD مع إمكانية نقل البيانات بسرعة عالية وتخفيض معتبر لضياح الإشارة. في الفصل الثالث من الأطروحة أجرينا مقارنة بين أداء كل معيار من المعايير الثلاثة بمساعدة برنامج Matlab الذي سمح لنا بنمذجة سلاسل البث والإرسال ورؤية النتائج من حيث كفاءة الطيف ، مخططات الكوكبة ومعدل الخطأ الثنائي.

الكلمات المفتاحية : سلاسل البث ، معايير البث التلفزيوني ، جودة الصورة ، معدل الخطأ الثنائي.

Table de matière :

| | |
|--|----------|
| Liste des figures : | 1 |
| Liste des tableaux : | 3 |
| Liste des acronymes et abréviations : | 4 |
| Introduction générale | 8 |
| Chapitre 1 : La Transmission satellitaire | 9 |
| 1.1 Introduction | 9 |
| 1.2 Historique | 9 |
| 1.3 Chaîne de transmission..... | 10 |
| 1.3.1 Transducteur | 10 |
| 1.3.2 Encodeur..... | 10 |
| 1.3.3 L'émetteur | 11 |
| 1.3.4 Le canal de transmission..... | 11 |
| 1.3.5 Le récepteur et le décodeur..... | 11 |
| 1.4 Satellite de transmission | 11 |
| 1.5 L'architecture d'un satellite..... | 12 |
| 1.6 La zone de couverture et le diagramme de rayonnement | 12 |
| 1.7 Les orbites | 13 |
| 1.8 Les types d'orbites..... | 14 |
| 1.8.1 GEOS (Geostationary Earth Orbital Satellite)..... | 14 |
| 1.8.2 MEOS (Medium Earth Orbital Satellite)..... | 14 |
| 1.8.3 LEOS (Low Earth Orbital Satellite)..... | 14 |
| 1.9 Les ondes électromagnétiques | 15 |
| 1.10 Les types de transmission des données..... | 16 |
| 1.10.1 Transmission simplex | 16 |
| 1.10.2 Transmission half-duplex | 16 |
| 1.10.3 Transmission full-duplex..... | 17 |
| 1.11 L'accès au support de communication [4]..... | 17 |
| 1.12 Les méthodes d'accès FAMA (Fixed Assignment Multiple Access) [4]..... | 18 |
| 1.12.1 FDMA (Frequency Division Multiple Access) | 18 |
| 1.12.2 TDMA (Time Division Multiple Access)..... | 18 |
| 1.12.3 CDMA (Code Division Multiple Access) | 18 |
| 1.13 Les méthodes Random Access | 18 |
| 1.14 Types de modulations..... | 19 |
| 1.14.1 La modulation d'amplitude | 19 |

| | |
|--|-----------|
| 1.14.2 La modulation de fréquence | 19 |
| 1.14.3 La modulation de phase | 20 |
| 1.15 Type de satellite..... | 21 |
| 1.15.1 Par fonctionnement. [1] | 21 |
| 1.15.2 Par utilisation..... | 22 |
| 1.16 Risque et sécurité..... | 23 |
| 1.16.1 Brouillage | 23 |
| 1.16.2 Hacking..... | 24 |
| 1.16.3 Solution..... | 24 |
| 1.17 Conclusion..... | 25 |
| Chapitre 2 : Le standard DVB-S..... | 26 |
| 2.1 Introduction | 26 |
| 2.2 Le standard DVB | 26 |
| 2.2.1 Présentation | 26 |
| 2.2.2 Historique [17]..... | 27 |
| 2.2.3 La numérisation | 29 |
| 2.2.4 Compression vidéo | 30 |
| 2.3 Le Standard DVB-S..... | 31 |
| 2.3.1 Présentation | 31 |
| 2.3.2 Principaux paramètres d'une chaîne transmission DVB-S..... | 33 |
| 2.3.3 Le poinçonnage..... | 36 |
| 2.4 Le Standard DVB-S2..... | 36 |
| 2.4.1 Présentation | 36 |
| 2.4.2 Adaptation de flux | 37 |
| 2.4.3 Codage des canaux (FEC) | 39 |
| 2.4.4 Ordre de modulation supérieure | 42 |
| 2.4.5 Modulation et codage Variable..... | 43 |
| 2.4.6 Organisation suivant le schéma de constellations | 43 |
| 2.4.7 Application du DVB-S2 | 44 |
| 2.5 Le Standard DVB-S2X..... | 44 |
| 2.5.1 Présentation | 44 |
| 2.5.2 Principales caractéristique du standard DVB-S2X..... | 45 |
| 2.5.3 Nouveau MODCOD..... | 45 |
| 2.5.4 Nouveaux roll-off plus serrés | 47 |
| 2.5.5 Le VCM devient normatif pour DTH..... | 48 |
| 2.5.6 Le PLHEADER | 48 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5.7 Les séquences de brouillage | 48 |
| 2.5.8 Première transmission DVB-S2X [25] | 49 |
| 2.5.9 Transmission UHD avec DVB-S2X via Satellite | 50 |
| 2.6 Conclusion..... | 51 |
| Chapitre 3 : Simulation et comparaison des Standards DVB-S/S2/S2X | 52 |
| 3.1 Introduction | 52 |
| 3.2 Présentation du logiciel Matlab | 52 |
| 3.2.1 Historique | 52 |
| 3.2.2 Pourquoi Matlab ? | 53 |
| 3.2.3 Présentation Simulink..... | 54 |
| 3.2.4 Les principales fonctionnalités de SIMULINK sont | 54 |
| 3.3 Modélisation et simulation du standard DVB-S..... | 55 |
| 3.3.1 Réalisation de la chaine de transmission DVB-S | 55 |
| 3.3.2 Paramétrage de quelques blocs de la chaine de transmission DVB-S..... | 56 |
| 3.3.3 Compilation et discussion des résultats | 57 |
| 3.4 Modélisation et simulation du standard DVB-S2..... | 60 |
| 3.4.1 Modélisation de la chaine de transmission DVB-S2 | 60 |
| 3.4.2 Paramétrage de quelques blocs de la chaine de transmission DVB-S2..... | 60 |
| 3.4.3 Compilation et discussion sur les résultats | 62 |
| 3.5 Modélisation et simulation du standard DVB-S2X | 63 |
| 3.5.1 Modélisation de la chaine de transmission DVB-S2X | 63 |
| 3.5.2 Compilation et discussion des résultats | 65 |
| 3.6 Etude comparative entre les standards DVB-S/S2/S2X | 67 |
| 3.6.1 Rapport entre la qualité de transmission et le facteur Roll-off..... | 67 |
| 3.6.2 Rapport entre la qualité de transmission et le SNR | 70 |
| 3.6.3 Discussion des résultats graphiquement..... | 73 |
| 3.7 Conclusion :..... | 76 |
| Conclusion Générale et perspective :..... | 77 |
| Annexes..... | 81 |
| Annexe A:..... | 81 |
| Annexe B : | 86 |

Liste des figures :

| | |
|--|----|
| Figure 1.1 : Chaîne de transmission d'information..... | 10 |
| Figure 1.2 : Topologies de réseau sans fil hybride avec superposition de satellite..... | 12 |
| Figure 1.3 : Zone de couverture de trois satellites. | 13 |
| Figure 1.4 : Les types des orbites..... | 14 |
| Figure 1.5 : Chaîne de transmission simplex..... | 16 |
| Figure 1.6 : Chaîne de transmission half-duplex..... | 16 |
| Figure 1.7 : Chaîne de transmission full-duplex..... | 17 |
| Figure 1.8 : Les méthodes d'accès FAMA. | 18 |
| Figure 1.9 : Diagramme de modulation d'amplitude..... | 19 |
| Figure 1.10 : Diagramme de modulation de fréquence..... | 20 |
| Figure 1.11 : Diagramme de la modulation de phase..... | 21 |
| Figure 1.12 : Un satellite de télédétection..... | 22 |
| Figure 1.13 : Un satellite de positionnement..... | 23 |
| Figure 1.14 : Un satellite de télécommunication..... | 23 |
| Figure 2.1 : Evolution du standard DVB..... | 29 |
| Figure 2.2 : Chaîne de transmission DVB-S..... | 32 |
| Figure 2.3 : Mot-Code de Reed Salomon..... | 34 |
| Figure 2.4 : Paramètres de l'entrelacement. | 34 |
| Figure 2.5 : Principe d'un codeur convolutif. | 35 |
| Figure 2.6 : Schéma de modulation QPSK..... | 36 |
| Figure 2.7 : Schéma d'un bloc d'adaptation. | 38 |
| Figure 2.8 : Trame BBFrame. | 39 |
| Figure 2.9 : Structure du paquet FEC..... | 39 |
| Figure 2.10 : Constellations DVB-S2 avant brouillage des couches physiques. | 43 |

| | |
|--|----|
| Figure 2.11 : Schéma de constellations 16APSK. | 44 |
| Figure 2.12 : Schéma de constellations 256 APSK..... | 46 |
| Figure 2.13 : Schéma de constellations 128 APSK. | 47 |
| Figure 2.14 : Schéma de constellations 64 APSK. | 47 |
| Figure 2.15 : Zone de Couverture du satellite Eutelsat 5W. | 50 |
| Figure 3.1 : Interface MATLAB..... | 53 |
| Figure 3.2 : Interface SIMULINK..... | 54 |
| Figure 3.3 : Modélisation d'une chaine de transmission DVB-S avec Simulink..... | 56 |
| Figure 3.4 : Paramétrage du Reed Solomon Encoder..... | 57 |
| Figure 3.5 : Paramétrage du Viterbi Decoder..... | 58 |
| Figure 3.6 : Paramétrage du Raised Cosine Transmit Filter..... | 58 |
| Figure 3.7 : Diagramme de constellation DVB-S avant filtre..... | 59 |
| Figure 3.8 : Diagramme de constellation DVB-S après filtre..... | 59 |
| Figure 3.9 : Spectre du signal transmis avec DVB-S avant et après canal AWGN..... | 60 |
| Figure 3.10 : Spectre du signal transmis avec DVB-S après filtre..... | 60 |
| Figure 3.11 : Modélisation d'une chaine de transmission DVB-S2 avec Simulink..... | 62 |
| Figure 3.12 : Paramétrage du bloc BCH Encoder..... | 63 |
| Figure 3.13 : Paramétrage du bloc LDPC Encoder..... | 64 |
| Figure 3.14 : Diagramme de constellation DVB-S2 après un canal AWGN..... | 64 |
| Figure 3.15 : Spectre du signal transmis avec DVB-S2..... | 65 |
| Figure 3.16 : Modélisation d'une chaine de transmission DVB-S2X avec Simulink..... | 66 |
| Figure 3.17 : Diagramme de constellation DVB-S2X avant canal AWGN | 67 |
| Figure 3.18 : Diagramme de constellation DVB-S2X après un canal AWGN..... | 67 |
| Figure 3.19 : Diagramme de constellation DVB-S2X après filtre..... | 68 |
| Figure 3.20 : Spectre du signal transmis avec DVB-S2X avant et après canal AWGN..... | 68 |
| Figure 3.21 : Spectre du signal transmis avec DVB-S2X avant et après canal AWGN..... | 69 |
| Figure 3.22 : Changement de TEB en fonction du SNR dans les standard DVB-S/S2/S2X... | 76 |
| Figure 3.23 : Changement de TEB en fonction du Roll-off dans les standard DVB-S/S2X.... | 77 |

Liste des tableaux :

| | |
|--|----|
| Tableau 2.1 : Comparaison des normes DVB-S/DVB-C/DVB-T..... | 27 |
| Tableau 2.2 : Paramètres d'une chaine DVB-S..... | 33 |
| Tableau 2.3 : Evolution des standards de communication par satellite..... | 37 |
| Tableau 2.4 : Type de données pour un système de transmission DVB-S2..... | 38 |
| Tableau 2.5 : Polynôme BCH pour n=64800..... | 40 |
| Tableau 2.6 : Polynôme BCH pour n=16200..... | 41 |
| Tableau 2.7 : Polynôme BCH pour n=32400..... | 41 |
| Tableau 2.8 : Modulation et codage variable utilisé..... | 43 |
| Tableau 3.1 : Résultats de compilation DVB-S avec changement du facteur Roll-off..... | 70 |
| Tableau 3.2 : Résultats de compilation DVB-S2X avec changement facteur Roll-off..... | 71 |
| Tableau 3.3 : Résultats de compilation DVB-S avec changement facteur SNR..... | 72 |
| Tableau 3.4 : Résultats de compilation DVB-S2 avec changement facteur SNR..... | 73 |
| Tableau 3.5 : Résultats de compilation DVB-S2X avec changement facteur SNR..... | 74 |

Liste des acronymes et abréviations :

| | |
|-----------------|--|
| 3D | 3 Dimensions |
| 4K | Quatre fois le nombre de pixel dans un affichage 1080p (UHDTV) |
| ACM | Adaptative Coding and Modulation |
| APSK | Amplitude and Phase Shift Keying |
| AWGN | Additive White Gaussian Noise |
| Bande Ka | Kurz-Above |
| Bande C | de 4 à 8 GHz |
| BBFrame | Base Band FRAME |
| BCH | Bose, Ray-Chaudhuri et Hocquenghem |
| BCHFEC | Bose, Ray-Chaudhuri and Hocquenghem Forward Error Correction |
| BPSK | Binary Phase Shift Keying |
| CAN | Convertisseur analogique-numérique |
| CCD | Charge Coupled Device |
| CCI | Co-Channel Interference |
| CCM | Constant Coding and Modulation |
| CD | Compact-Disque. |
| CDMA | Code Division Multiple Access |
| CRC | Cyclic Redundancy Check |
| CRIT | Centro Ricerchi e Innovazione Tecnologiche |
| DAB | Digital Audio Broadcasting |
| dB | Decibel |
| DF | Data Field |
| DSNG | Digital Satellite News Gathering |
| DTH | Direct To Home |
| DVB | Digital Video Broacasting |

| | |
|-----------------|--|
| DVB-C | Digital Video Broacasting-Cable |
| DVB-CA | Digital Video Broacasting-Cable Access |
| DVB-CA | Digital Video Broacasting-Cable Interface |
| DVB-CS | Digital Video Broacasting – Collectif |
| DVB-DSNG | Digital Video Broacasting – Dedicated Satellite News Gathering |
| DVB-S | Digital Video Broacasting-Satellite |
| DVB-S2X | Digital Video Broacasting-Satellite 2 eXtension |
| DVB-T | Digital Video Broacasting – Terrestrial |
| DVB-TXT | Digital Video Broacasting-Teletext |
| ELG | European Launching Group |
| ETCD | Equipement de Terminaison de Circuit de Données |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |
| ETTD | Equipement Terminal de Traitement de données |
| FAI | Fournisseur d'Accès à Internet |
| FAMA | Fixed Assignement Multiple Access |
| FDMA | Frequency Division Multiple Access |
| FEC | Forward Error Correction |
| GEOS | Geostationary Earth Orbital Satellite |
| GHz | Giga Hertz |
| GNSS | Global Navigation Satellite System |
| GPS | Global Positioning System |
| GSE | Generic Stream Encapsulator |
| HD | High Definition |
| HEVC | High Efficiency Video Coding |
| IP | Internet Protocol |
| ISO | International Organization for Standardization |
| Ku | Kurz-unten |
| LDPC | Low-Density Parity-Check |

| | |
|----------------|---|
| LDPCFEC | Low-Density Parity-Check Forward Error Correction |
| LEOS | Low Earth Orbital Satellite |
| LSB | Least Significant Bit |
| MATLAB | MATrix LABoratory |
| MEOS | Medium Earth Orbital Satellite |
| MMDS | Multichannel Multipoint Distribution System |
| MODCOD | MODulation and CODing |
| MoU | Memorandum of Understanding |
| MPEG | Moving Pictures Experts Group. |
| MSB | Most Significant Bit |
| NASA | National Aeronautics and Space Administration |
| NOC | Network Operation Center |
| OFDM | Orthogonal frequency-division multiplexing |
| ODE | Ordinary Differential Equations |
| PLFrame | Physic Layer Frame |
| PSK | Phase Shift Keying |
| PRBS | Pseudo Random binary sequence |
| QAM | Quadrature Amplitude Modulation |
| QPSK | Quadratique Phase Shift Keying |
| RS | Reed-Solomon |
| SD | Définition Standard |
| SNR | Signal-to-Noise Rate |
| SR | Symbol Rate |
| SRD | Software-Defined Radio |
| TDMA | Time Division Multiple Access |
| TEB | Taux d'erreur Binaire |
| TS | Transport Stream |
| TV | Télévision |

| | |
|---------------|---|
| TVHD | Television High Definition |
| UHF | Ultra High Frequency |
| UPL | User Packet Length |
| URSS | Union des républiques socialistes soviétiques |
| VCM | Variable Coding and Modulation |
| VH-SNR | Very High Signal Noise Rate |
| VL-SNR | Very Low Signal Noise Rate |
| VHF | Very High Frequency |
| VSAT | Very Small Aperture Terminal |

Introduction générale

Depuis maintenant un demi-siècle que tous les types de communication ne cessent de se développer ce qui nous a permis d'arriver à utiliser toutes sortes de media comme la radio, la télévision ainsi que le téléphone. Cependant avec un besoin grandissant de communiquer à de très grandes distances on était obligé de passer ver une communication satellitaire .

Avec la communication satellitaire nous avons pu arriver à une diffusion généralisée à de très grande distance instantanément telle que la DVB-S et ces trois standards qui sont les sujets de notre projet. Au but de connaitre le meilleur standard DVB-S en termes d'efficacité, nous allons faire une simulation des trois standards avec Matlab Simulink en utilisant les mêmes conditions.

Le travail que nous allons réaliser dans ce mémoire se compose de trois chapitres :

Le premier chapitre nous allons tout détailler sur la transmission satellitaire qui reste indispensable dans une transmission DVB-S/S2/S2X. On va aussi voir les principales étapes de cette transmission.

Dans notre deuxième chapitre nous allons expliquer les caractéristiques des trois standards DVB-S/S2/S2X ainsi que toutes les notions théoriques sur leur codeur/décodeur et les étapes de cette transmission de l'émission à la réception.

Dans notre troisième et dernier chapitre nous allons entamer notre partie pratique, qui est la simulation des trois standards mentionnés précédemment a l'aide du logiciel MATLAB-SIMULINK par la suite une étude comparative est effectuée entre ses standards en se basant sur paramètres roll-off et SNR pour observer l'effet sur notre signal reçu. Pour finir nous allons comparer les standards pour en conclure sur le meilleur standard en termes d'efficacité et de taux d'erreur binaire.

On finira avec une conclusion générale.

Chapitre 1 : La Transmission satellitaire

1.1 Introduction

De nos jours la quasi-totalité des secteurs font appels aux technologies par satellite d'une manière ou d'une autre qu'ils s'agissent de l'agriculture, des services bancaire ou du transport.

Les communications par satellite sont partout, mais restent trop souvent invisible pour le grand public. Cela prouve certes le succès de leur intégration dans le marché global des télécommunications mais empêche par fois de voir l'importance cruciale qu'elles ont pour le monde interconnecté.

Aussi en raison de la couverture mondiale de différentes constellations de satellites géostationnaires et non géostationnaires, la présence ubiquitaire future d'infrastructure de ces derniers permettra aux journalistes et tous les autres opérateurs professionnels des services de sécurité et aux équipes de protection civile d'envoyer leur contenu multimédia en temps réel. Ceci transformera encore plus le monde en un « village planétaire ».

La complexité opérationnelle réduite et les faibles couts permettront l'accessibilité de ces services même dans les coins ruraux avec une qualité de service très élevé.

1.2 Historique

Le début de l'idée d'un satellite a été cité dans la nouvelle de Edward Everett Hale « The Brick Moon en 1869. Puis, l'écrivain/chercheur Arthur C. Clarke a bien expliqué comment utilisé un satellite de télécommunication dans des communications massives. Or, la 1ere réalisation d'un satellite arriva en 1957 par l'URSS sous le nom « Sputnik 1 ». En 1965, Intelsat a lancé son 1^{er} satellite commercial « EarlyBirds » sur l'orbite géostationnaire. Actuellement, on compte 2630 satellites actifs en orbites aux tours de la terre. [2]

1.3 Chaîne de transmission

Une chaîne de transmission est l'ensemble des éléments intervenant dans la transmission de données. Elle est généralement divisée en plusieurs parties en partant de la source vers la cible.

Les principaux éléments de cette transmission sont le transducteur, l'émetteur, le canal de transmission et le récepteur (Voir le schéma simplifié dans la Figure 1.1). D'autres éléments s'ajoutent comme l'encodeur et le décodeur et qui peuvent être séparés ou fusionnés avec le l'émetteur et le récepteur. [14]

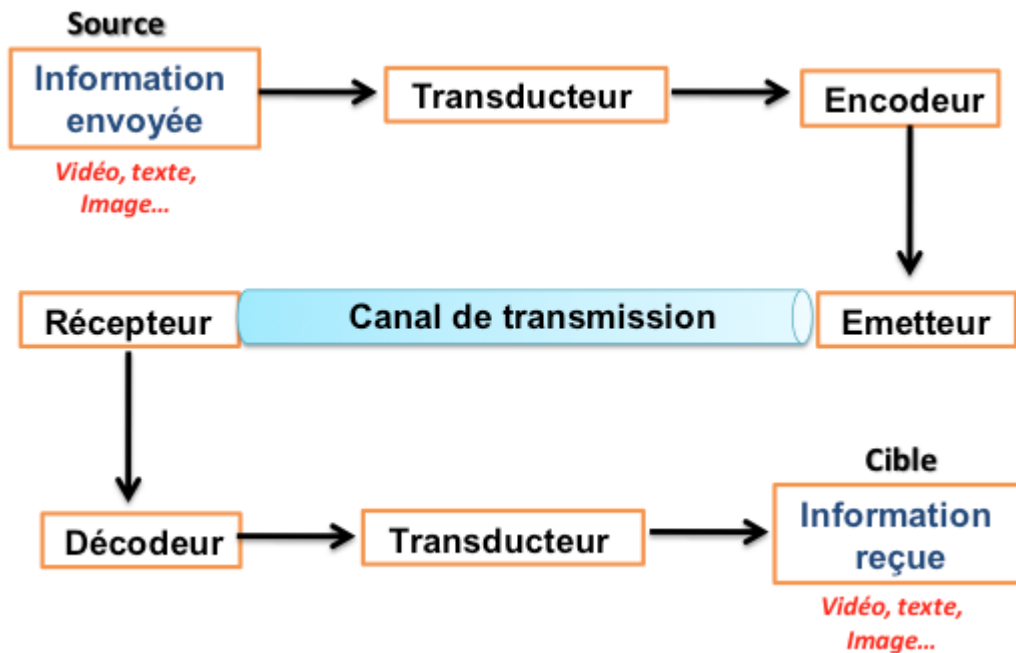


Figure 1.1 : Chaîne de transmission d'information. [14]

1.3.1 Transducteur

Le transducteur est l'élément qui transforme le message initial en signal électrique et vice-versa suivant sa fonction. On peut citer comme exemple le microphone, le capteur CCD (Appareil photo, Scanner), la souris d'ordinateur. Le microphone convertit le signal sonore en signal électrique. Par contre, le haut-parleur convertit le signal électrique en onde sonore. [14]

1.3.2 Encodeur

L'encodeur est l'élément qui convertit le signal électrique en signal numérique. [14]

1.3.3 L'émetteur

L'émetteur d'où son nom permet d'envoyer l'information codé a travers le canal de transmission. Le téléphone portable par exemple est un émetteur quand vous appelez quelqu'un ou quand vous envoyez un message, un mail, une vidéo... [14]

1.3.4 Le canal de transmission

Le canal de transmission constitue le milieu dans le lequel l'information envoyée par l'émetteur va être transporté vers le récepteur. Ce canal peut être sans support physique (les ondes radio...) ou avec un support physiques (les câbles, les fibres optiques...). [14]

1.3.5 Le récepteur et le décodeur

Le récepteur sert à renvoyer l'information apportée par le canal de transmission vers le décodeur, qui à son tour va la décoder en signal électrique et la transmettre au transducteur qui la convertira en information identique à celle initialement envoyée. Ensuite, l'information arrive à la cible.

L'antenne radio est un récepteur par exemple. Le téléphone portable aussi est un récepteur quand vous recevez un appel, un message, une vidéo. [14]

1.4 Satellite de transmission

Un satellite peut être naturel ou artificiel. La terre est l'exemple d'un satellite naturel parce qu'elle tourne autour du soleil et la lune aussi qui tourne autour de la terre. Habituellement On réfère au satellite toute machine qui est propulsé dans l'espace et qui gravite autour de la terre ou d'un autre corps dans l'espace en ayant différentes fonctions. [5]

Les satellites artificiels sont utilisés pour plusieurs taches comme : prendre des photos de la planète qui aident à prévoir la météo et détecter les ouragans et aussi pour prendre des photos de planètes et des trous noirs et même les galaxies lointaines afin d'aider les chercheur a mieux comprendre l'univers. [5]

On note d'autres satellites artificiels qui sont dédiés pour les communications et qui effectue plusieurs missions comme le transfert des appels téléphoniques et des signaux TV. D'autres satellites du Global Positioning System « GPS » aident à déterminer la position d'un homme ou d'un objet à l'aide d'un récepteur GPS. [5]

1.5 L'architecture d'un satellite

L'architecture des satellites dépend principalement du nombre de satellites impliqué dans la topologie. Le fonctionnement des satellites peut être simple ou complexe selon le choix de la topologie. Le client est le premier maillon de la chaîne d'une architecture satellitaire. Il dispose d'une antenne pour communiquer avec le satellite, et pour exploiter ces données l'antenne est reliée à un modem qui fait la conversion analogique/numérique et vice versa. [4]

Le satellite dispose d'un certain nombre de transpondeurs (de l'anglais "transponder", pour "TRANSMITTER/resPONDER") qui lui permettent de recevoir les signaux d'une fréquence donnée afin de les retransmettre vers la terre sur une autre fréquence donnée. Ces transpondeurs sont donc composés d'un couple émetteur/récepteur. A la réception, le signal est converti en données numériques par le client (lorsqu'il s'agit d'une transmission de données). Ce dernier peut être soit un particulier, une entreprise ou un fournisseur d'accès. [4]

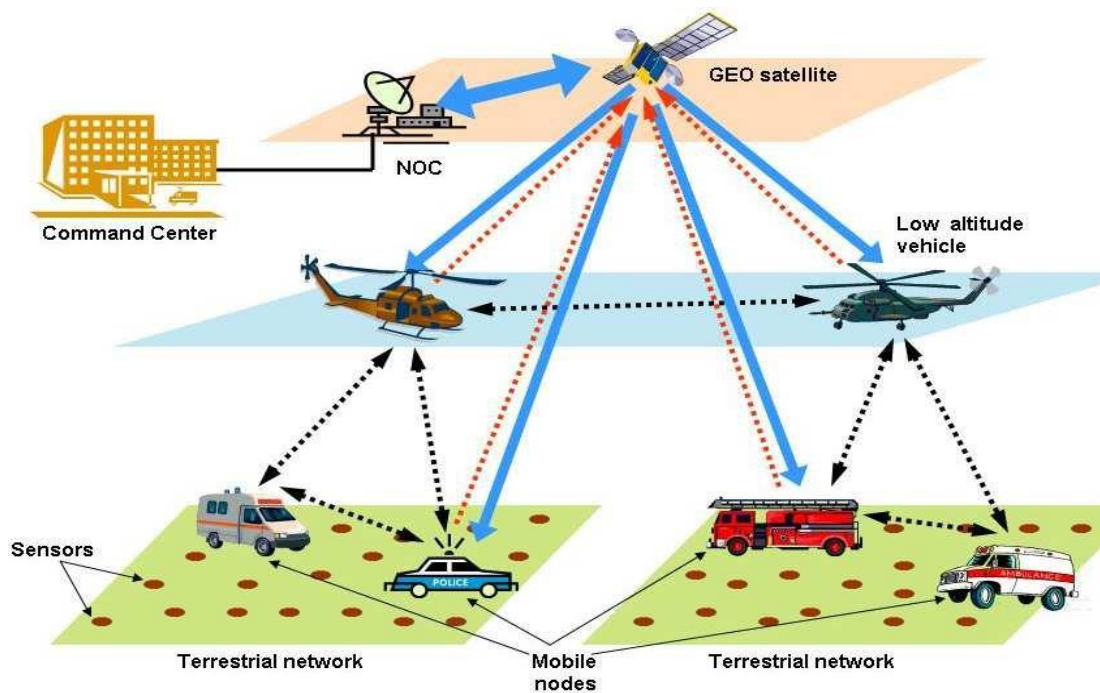


Figure 1.2 : Topologies de réseau sans fil hybride avec superposition de satellite. [27]

1.6 La zone de couverture et le diagramme de rayonnement

La zone de couverture dépend de la hauteur d'orbite qui abrite le satellite, plus la distance terre-satellite est importante plus la zone de couverture devient plus large. Aussi un satellite peut avoir plusieurs zones de couverture qui dépendent du nombre d'antenne constituant la charge utile.

Avec trois satellites géostationnaires distants de 120° entre eux on peut assurer une couverture globale de la terre comme montre la figure 1.3. [1]

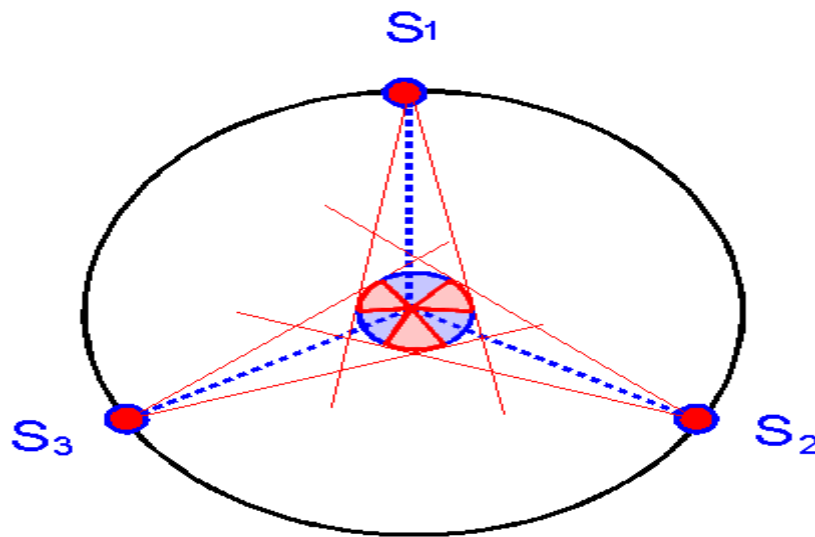


Figure 01.3 : Zone de couverture de trois satellites. [13]

La figure 1.3 montre clairement, que trois satellites disposés à 120° sur l'orbite géostationnaire, permettent de voir quasiment toute la terre, à part une petite zone polaire située aux des extrêmes.

Les zones en rouge sont voient simultanément deux satellites alors que les bleues n'en voient qu'un seul. En utilisant deux satellites on peut communiquer d'un point quelconque de la terre à un autre sans problème.

Seules les latitudes au-dessus de 81° environ ne sont pas accessibles. [13]

1.7 Les orbites

En fonction de leur utilisation les satellites peuvent être positionnés sur plusieurs types d'orbites. Et pour tout orbites il y'a des avantages et des inconvénients.

Pour une orbite lointaine la latence est grande et le temps de couverture est assez grand, par contre pour une orbite proche de la terre la latence et le temps de couverture sont réduits.[4]

1.8 Les types d'orbites

1.8.1 GEOS (Geostationary Earth Orbital Satellite)

Avec une distance de 35000 km et Temps d'aller-retour de l'onde radio: ~260ms Ces types d'orbites sont les plus utilisés dans le domaine de la diffusion vidéo et de l'accès à l'Internet. Leur principal atout repose sur la position fixe qu'ils maintiennent dans le ciel terrestre. Une station au sol reste donc en permanence dans la zone de couverture du satellite. En revanche, leur altitude élevée entraîne un temps de latence du signal aller-retour considérable: environ 260 millisecondes. [4] [1]

1.8.2 MEOS (Medium Earth Orbital Satellite)

Avec une distance de 8000 à 16000 km et temps d'aller-retour de l'onde radio: ~ 100ms, Les MEOS sont placés entre les satellites à orbite haute et ceux à orbite basse. Ils permettent donc d'ajuster les différentes caractéristiques des orbites en fonction de l'utilisation du satellite. Les satellites GPS sont par exemple situés sur des orbites moyennes, de l'ordre de 20000 km d'altitude. [4] [1]

1.8.3 LEOS (Low Earth Orbital Satellite)

Avec une distance de 320 à 1600 km (LowEarth Orbital Satellite) et temps aller-retour de l'onde radio: inférieur à 10ms. [4] [1]

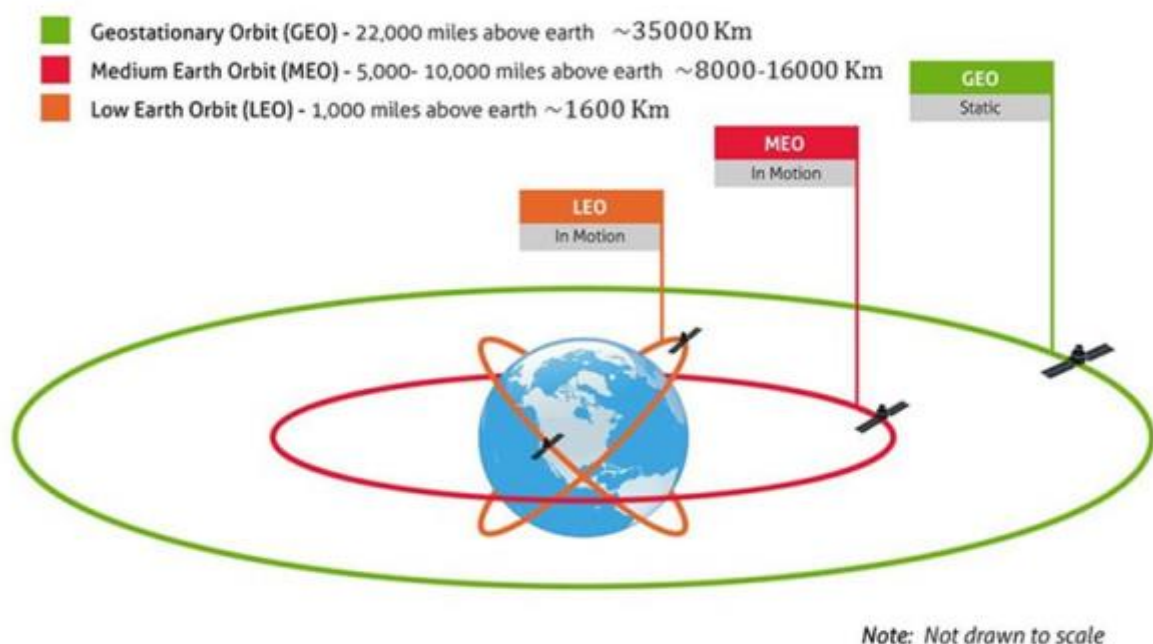


Figure 0.4 : Les types des orbites. [28]

1.9 Les ondes électromagnétiques

Le satellite utilise les ondes radio qui sont des signaux électromagnétique envoyé sur différentes fréquences selon le type de satellite. Au début des années 80, les réseaux satellites servaient principalement pour la diffusion de la télévision et la téléphonie. Ces satellites utilisaient des fréquences situées dans la bande C (4 à 8 GHz). Puis, avec le développement de la transmission de données par satellite et de l'accès à l'internet, ces fréquences ont été augmentées pour correspondre aux nouveaux besoins. [7]

La plupart des satellites géostationnaires actuels fournissent un accès à Internet dans la bande Ku (12 à 18 GHz). Or cette bande commence à se saturer donc on pense déjà aux nouvelles générations qui auront une bande Ka (27a 40 GHz). [7]

On ne peut pas choisir ces fréquences au hasard. Premièrement, un satellite émet des ondes sur beaucoup de pays à la fois, ce qui signifie que les fréquences doivent être validées par beaucoup de nations. C'est pour cette raison que des groupes comme l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) existent, en coordonnant et appliquant les nouvelles normes sur un ensemble de pays. [7]

Et aussi le choix de fréquence est contrôlé par les lois de la physique, plus la fréquence augmente :

- Plus la taille de l'antenne diminue.
- Plus le débit d'information augmente.
- Plus l'énergie requise pour émettre augmente (à gain similaire).
- Plus l'atténuation du signal augmente (par les phénomènes physiques).

Les satellites n'utilisant que l'énergie solaire et des batteries lorsqu'ils sont à l'ombre, leur énergie est limitée, et c'est pourquoi les satellites émettent toujours à des fréquences inférieures aux stations terrestres. Ces contraintes empêchent le choix de fréquences élevées et la bande Ka prochainement utilisée par les satellites est certainement proche de la limite que les équipements technologiques peuvent atteindre. [7]

La transmission de l'information par ondes électromagnétiques ne se fait pas sans erreur, surtout lorsque celles-ci traversent plusieurs milliers de kilomètres dont l'atmosphère terrestre. Ces erreurs surviennent cependant en groupe et de façon très localisée. [4]

1.10 Les types de transmission des données

Selon le sens des échanges, on distingue 3 modes de transmission :

1.10.1 Transmission simplex

C'est une transmission où les données circulent dans une seule direction de l'émetteur vers le récepteur, cette transmission est utile quand on n'a pas besoin de transmettre les données dans les deux sens. [10]

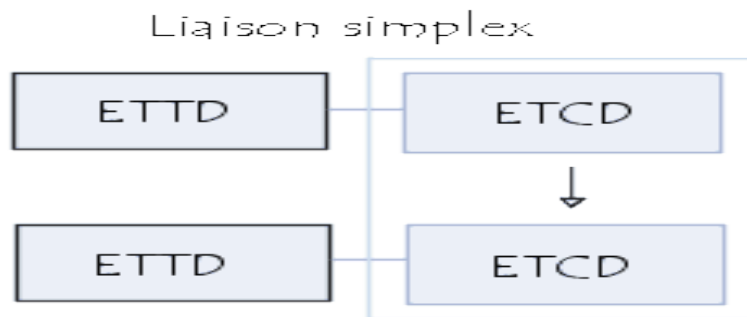


Figure 1.5 : Chaîne de transmission simplex. [10]

1.10.2 Transmission half-duplex

Elle (parfois appelée liaison à l'alternat ou semi-duplex) caractérise une liaison dans laquelle les données circulent dans un sens ou l'autre, mais pas les deux simultanément. Ainsi, avec ce genre de liaison chaque extrémité de la liaison émet à son tour. Ce type de liaison permet d'avoir une liaison bidirectionnelle utilisant la capacité totale de la ligne. [10]

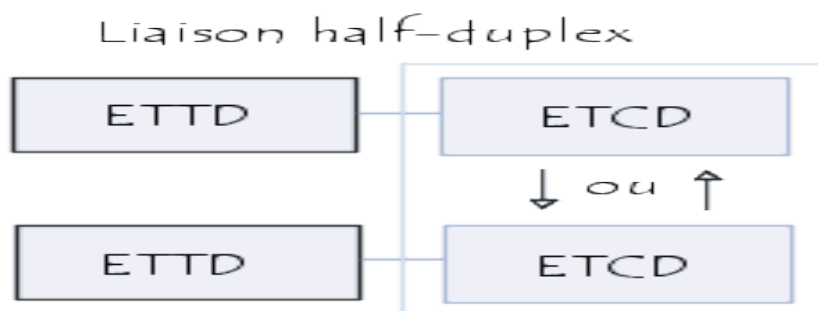


Figure 1.6 : Chaîne de transmission half-duplex. [10]

1.10.3 Transmission full-duplex

Appelée aussi *duplex intégral*, elle caractérise une liaison dans laquelle les données circulent de façon bidirectionnelle et simultanément. Ainsi, chaque extrémité de la ligne peut émettre et recevoir en même temps, ce qui signifie que la bande passante est divisée par deux pour chaque sens d'émission des données si un même support de transmission est utilisé pour les deux transmissions.[10]

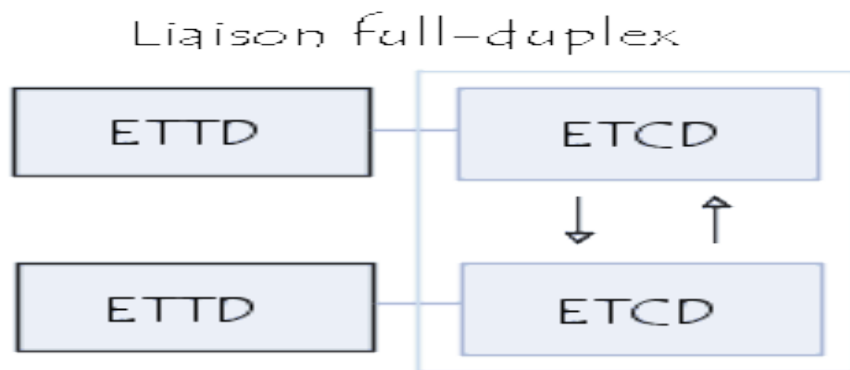


Figure 1.7 : Chaîne de transmission full-duplex. [10]

1.11 L'accès au support de communication [4]

La communication entre une station terrestre et son satellite se fait en full duplex, c'est à dire dans les deux sens à la fois. Ceci est permis grâce à l'utilisation de deux fréquences différentes: une pour le flux montant (station terrestre vers satellite) et une pour le flux descendant (sens inverse).

Cependant, on a vu que beaucoup de clients pouvaient communiquer avec le satellite, et si certains utilisent les mêmes fréquences, alors il ne doit pas y avoir de chevauchement de signaux, et donc collision.

On appelle ces techniques de partage du support les méthodes d'accès au support. Il en existe un certain nombre, mais voici celles que l'on retrouve dans les communications satellites:

1.12 Les méthodes d'accès FAMA (Fixed Assignment Multiple Access) [4]

1.12.1 FDMA (Frequency Division Multiple Access)

- Cette méthode divise la fréquence de communication en plusieurs sous-fréquences, chacune étant associée à un client.

1.12.2 TDMA (Time Division Multiple Access)

- Technique actuellement la plus utilisée. Le canal est découpé en slot de temps, chaque slot étant associé à un client.

1.12.3 CDMA (Code Division Multiple Access)

- Cette technique est un mélange des deux précédentes: par l'utilisation d'un code modifiant le signal à envoyer, on réalise un changement de fréquence au cours du temps.

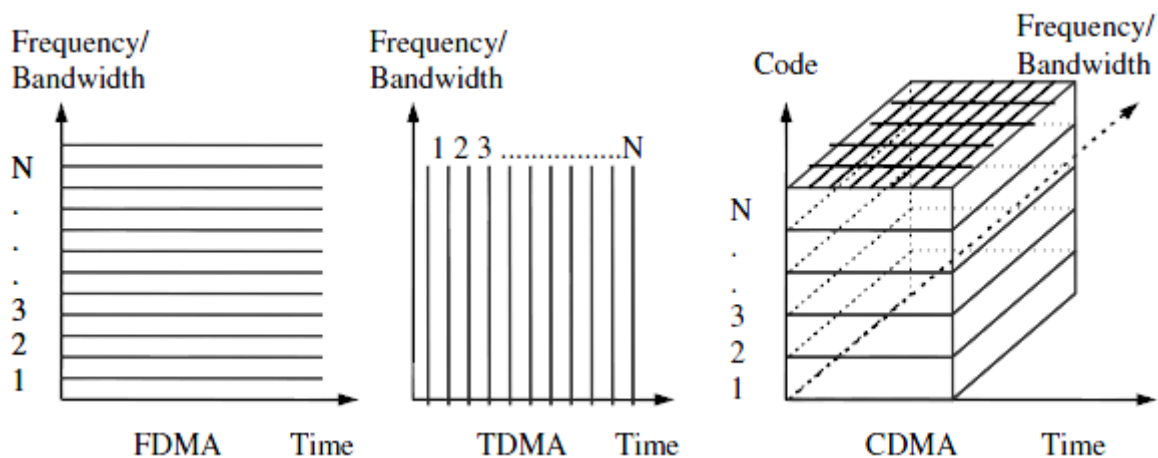


Figure 1.8 : Les méthodes d'accès FAMA. [4]

1.13 Les méthodes Random Access

Ces méthodes permettent l'utilisation du canal à n'importe quel moment. S'il y a collision avec un autre client, différents algorithmes sont appliqués:

- **Aloha:** Lors de la détection de la collision, chaque client attend un temps aléatoire donné et tente de remettre.

- **S-Aloha:** Identique à la méthode précédente, mais l'envoi ne peut se faire que dans des slots de temps prédéterminés à l'avance.[4]

1.14 Types de modulations

La transmission de messages par voie radioélectrique se fait grâce à trois systèmes principaux de modulation.

1.14.1 La modulation d'amplitude

- Très classique, qui est utilisée depuis les débuts de la transmission des messages téléphoniques et de la radiodiffusion.[11]

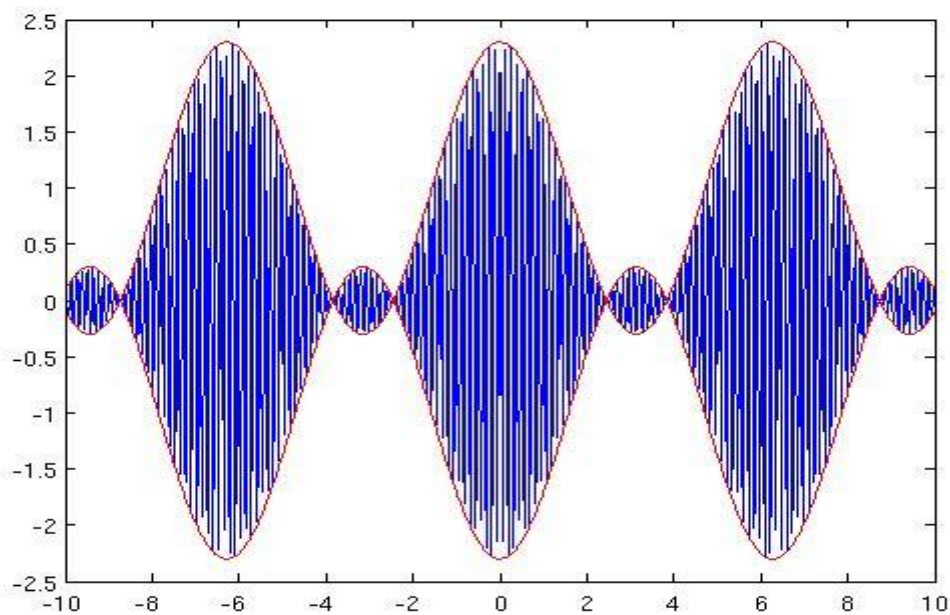


Figure 1.9 : Diagramme de modulation d'amplitude. [29]

1.14.2 La modulation de fréquence

La modulation de fréquence contient l'information dans fréquence instantané du signal. [11]

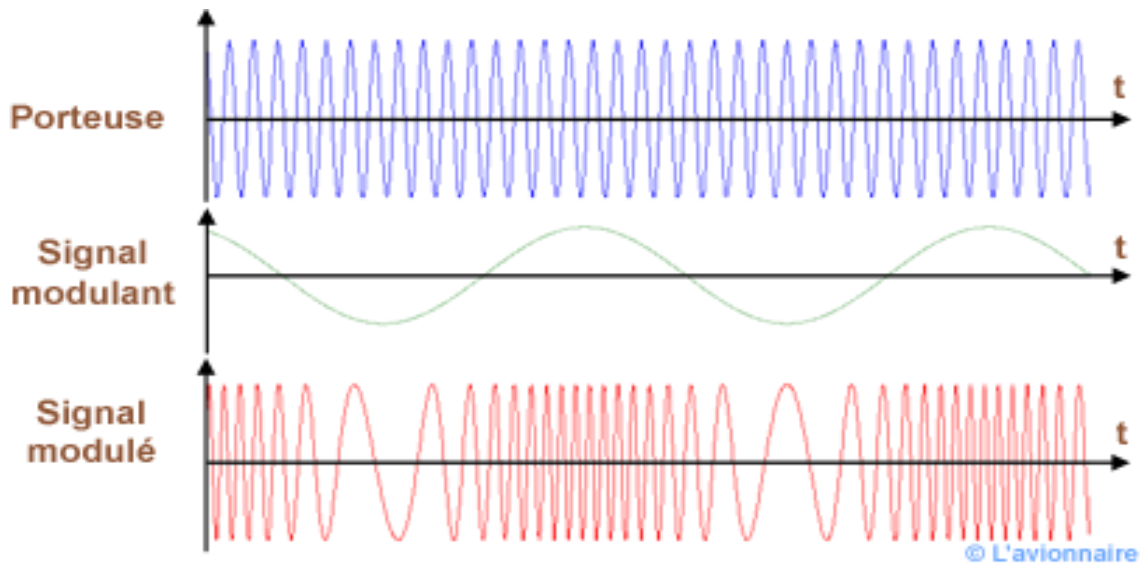


Figure 1.10 : Diagramme de modulation de fréquence. [30]

1.14.3 La modulation de phase

dans cette modulation on fait passer les donnée en modifiant la phase du signal.la fréquence et la puissance du signal reste fixe.

Il existe plusieurs types de modulation par phase comme BPSK (Binary Phase Shift Keying), QPSK (Quadratic PSK)... BPSK est binaire: deux phases sont utilisables, donc on peut faire passer deux types d'information au cours du temps (0 et 1). QPSK est quadratique: quatre phases différentes sont utilisables, donc quatre types d'information peuvent être envoyés au cours du temps (00, 01, 10 et 11).

On voit ici que plus le nombre de phases utilisées augmente, et plus la quantité d'information que l'on peut faire passer augmente également. Cependant le signal devient plus sensible aux erreurs puisque les phases sont de plus en plus proches. [4]

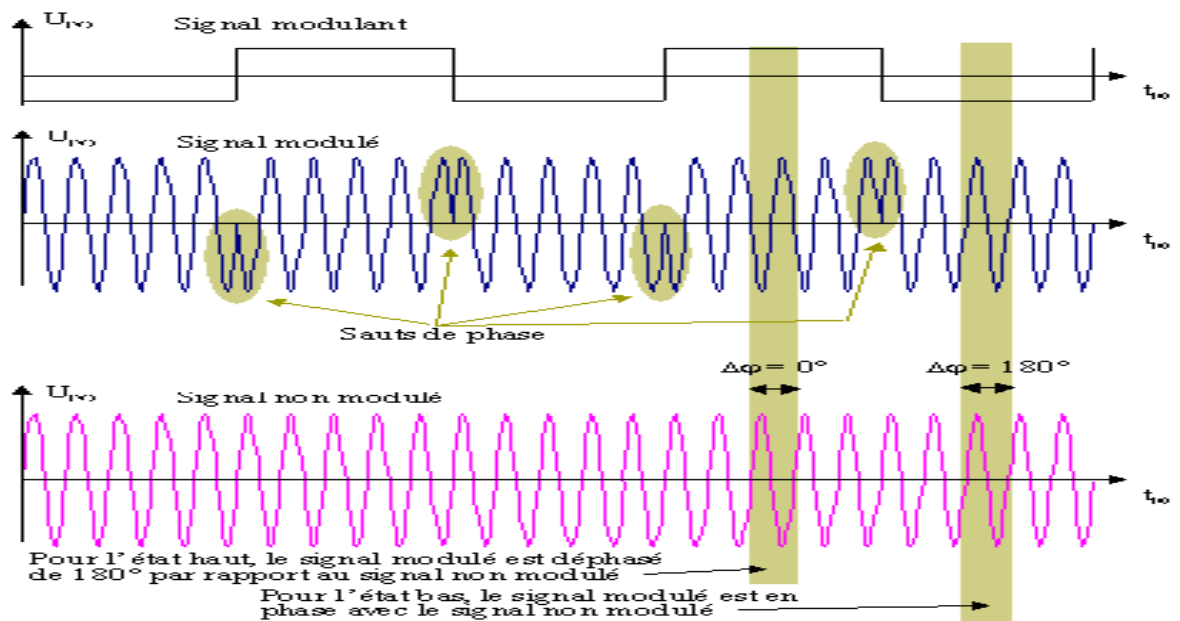


Figure 1.11 : Diagramme de la modulation de phase. [31]

1.15 Type de satellite

1.15.1 Par fonctionnement. [1]

- **Satellite passif ou miroir**

Les premiers satellites artificiels étaient de simples miroirs de signaux radio électriques. Ils réfléchissaient donc les signaux transmis par une station terrestre vers une autre station terrestre. Ce type de satellite est dit passif.

Le premier exemple de ce type de satellite est celui de la NASA, au début des années soixante, baptisé Echo. Les satellites passifs n'émettaient qu'avec de faible puissance vers les stations terrestres, obligeant ces dernières à être dotées de larges antennes (de 20 à 30 m de diamètre), à la fois, recevoir les faibles puissances et transmettre à forte puissance.

- **Satellite actifs**

La seconde évolution des satellites s'est traduite par le passage aux satellites dits actifs capables de traiter les signaux captés. Deux types de satellites actifs existent : les satellites transparents et les satellites régénératifs.

- **Satellite transparent**

La première génération des satellites actifs est représentée par les satellites transparents. Avec les satellites transparents, les signaux sont reçus sur une fréquence, puis ils sont amplifiés avant d'être retransmis aux antennes réceptrices sur une fréquence plus basse.

- **Satellite régénératif**

Les satellites régénératifs représentent la seconde génération des satellites actifs. Ces satellites ont la capacité de démoduler les signaux en bande de base puis de les remoduler avant de les retransmettre

1.15.2 Par utilisation

Il existe différents types de satellites:

- **Les satellites de télédétection**

Un satellite de télédétection est un satellite artificiel qui effectue des observations à distance par réception d'ondes électromagnétiques à l'aide de capteurs passifs ou actifs. [2][8]



Figure 1.12: Un satellite de télédétection. [2]

- **Les satellites de positionnement**

Un système de positionnement par satellites également désigné sous le sigle GNSS, est un ensemble de composants reposant sur une constellation de satellites artificiels permettant de fournir à un utilisateur par l'intermédiaire d'un récepteur portable de petite taille sa position 3D, sa vitesse 3D et l'heure. [2][8]

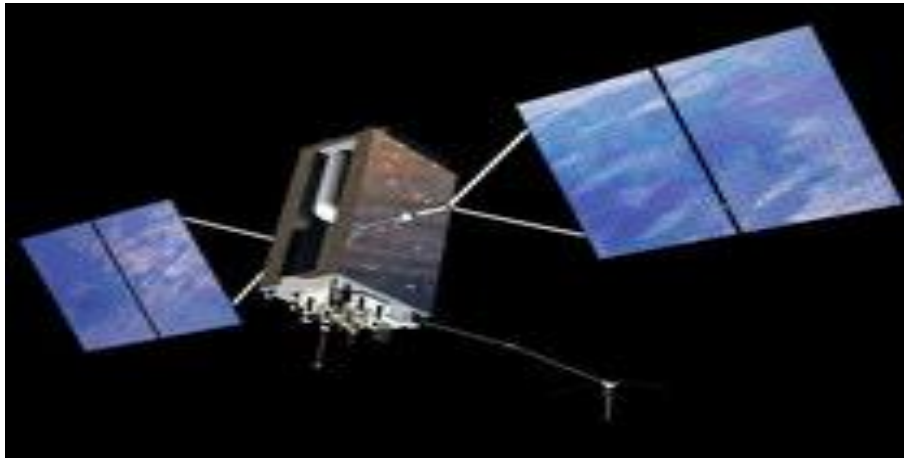


Figure 1.13: Un satellite de positionnement. [2]

- **Les satellites de télécommunication**

Un satellite de télécommunications est un satellite artificiel placé dans l'espace pour des besoins de télécommunications. [2][8]



Figure 1.14: Un satellite de télécommunication. [2]

1.16 Risque et sécurité

1.16.1 Brouillage

Un satellite géostationnaire est localisé dans l'espace (point fixe dans le ciel terrestre) et couvre un très grand nombre d'utilisateurs. Que se passerait-il si ce satellite était la cible d'un brouillage délibéré? C'est ce qui est arrivé au satellite Hot Bird 6 le 12 Juin 2009, peu après les élections iraniennes. Il a été la cible de signaux perturbateurs ce qui a fortement bouleversé les services qu'il proposait (Télévision et Internet). [4]

On a donc ici un risque important d'indisponibilité lié au fait que ces satellites soient accessibles à partir de n'importe où dans la zone de couverture et au fait qu'aucune redondance n'est assurée si le satellite ne répond plus correctement. Ce genre de piratage est difficile à tracer, ce qui rend les sanctions compliquées à appliquer. [4]

1.16.2 Hacking

Le principal frein à l'évolution des télécommunications satellites a longtemps été la réticence du grand public et des entreprises due à des problèmes de sécurité apparents. En effet, les communications peuvent être interceptées et analysées par un très grand nombre de personnes dans le cas d'un satellite géostationnaire (la couverture recouvrant à peu près un continent).

Pour limiter au maximum les risques d'attaques ou d'espionnages, les FAI doivent mettre en place des moyens suffisants pour garantir la confidentialité des données.

On voit donc ici que les FAI ont un rôle important à jouer dans la garantie de la confidentialité des informations qui transitent sur leur réseau pour éviter que ce genre de situations ne survienne à l'avenir. [4]

1.16.3 Solution

Les administrations nationales devraient s'efforcer de fournir des capacités de surveillance des services de radiocommunication spatiale pour garantir une utilisation fiable des licences et des orbites ainsi qu'un fonctionnement exempt de brouillage pour tous les différents services.

1.17 Conclusion

Dans notre premier chapitre on a décrit comment la communication par satellite est faite avec toutes ses fonctionnalités et phénomènes. Ensuite, on a abordé le satellite qui est le maillant essentiel dans toute communication distante avec ces différents orbites et types. Après on a parlé des ondes électromagnétiques et leur rôles primordiales dans toutes transmission satellitaires.

Enfin on peut dire que la communication satellitaire est un phénomène essentiel dans le monde connecté et cela demeurera dans les décennies à venir avec son développement qui ne cesse de s'accroître. Atteindra-t-elle ces limites un jour ? L'avenir nous le dira.

Pour notre deuxième chapitre nous allons nous concentrer sur un type de communication satellitaire en particulier qui est la DVB (Digital Video Broadcasting) pour la télévision.

Chapitre 2 : Le standard DVB-S

2.1 Introduction

Avec l'évolution des besoins de l'utilisateur d'aujourd'hui en termes de quantité de données, qualité d'images et des vidéos et le nombre de chaînes reçues, la capacité du canal ne supporte plus le flux énorme. Donc pour transmettre ces données nous devons passer par un traitement spécial, en optant pour des systèmes de diffusion tel que la DVB-S qui garantit une transmission efficace avec rapport signal sur bruit réduit, en utilisant l'échantillonnage, le codage la compression et la modulation plus évoluée. On va détailler dans ce chapitre comment la norme DVB-S peut garantir une diffusion fiable de télévision numérique.

2.2 Le standard DVB

2.2.1 Présentation

La DVB est une norme européenne de diffusion numérique pour la télévision, associée au format de compression MPEG 2, instaurée pour éviter un développement anarchique de la technologie numérique. Cette norme, comme le DAB pour la radio, utilise une transmission par paquets de données informatiques compressées. [15]

Cette norme pour la télé se décline en fonction des supports de diffusion : DVB-S pour n'importe quel répéteur satellite (largeur de bande de 36 à 72 MHz en Europe, modulation QPSK), DVB-CS pour la distribution collective, DVB-T pour le numérique hertzien (de 7 à 8 MHz, modulation QAM codée OFDM), DVB-MC pour la diffusion en MMDS et DVB-C pour les réseaux de télédistribution câblée (modulation QAM), voire en fonction des utilisations : DVB-CA, pour les contrôles d'accès, DVB-CI pour les interfaces des systèmes d'accès conditionnel et DVB-TXT pour l'utilisation du télétexte. [15]

Pour la diffusion, trois systèmes principaux sont définis : DVB-S pour le satellite, DVB-C pour le câble et DVB-T pour la diffusion terrestre. [16]

| Média | Standard | Procédé | Modulation | FEC | Largeur de canal [Mhz] | Débit de données utilisable par canal (Mbits/s) |
|-----------|----------|----------------|------------|-----|------------------------|---|
| Satellite | DVB-S | Single Carrier | Q-PSK | 2/3 | 33 | 33.8 |
| | | | Q-PSK | 7/8 | 33 | 44.4 |
| | DVB-S2 | | Q-PSK | 3/4 | 33 | 46 |
| | | | 8-PSK | 2/3 | 33 | 58.8 |
| Câble | DVB-C | Single Carrier | QAM-64 | - | 8 | 38.45 |
| | | | QAM-256 | - | 8 | 51.28 |
| | DVB-C* | | QAM-1024 | - | 8 | 65.8 |
| Terrestre | DVB-T | COFDM | QAM16 | 5/6 | 8 | 18.43 |
| | | | QAM64 | 7/8 | 8 | 31.67 |

Tableau 2.1 : Comparaison des normes DVB-S/DVB-C/DVB-T. [16]

2.2.2 Historique [17]

Jusqu'en 1990 environ, la télédiffusion numérique à domicile était considérée comme peu pratique et coûteuse à mettre en œuvre. En 1991, les radiodiffuseurs et les fabricants d'équipements grand public ont discuté de la manière de former une plate-forme paneuropéenne concertée pour développer la télévision numérique terrestre. Vers la fin de cette année, les diffuseurs, les fabricants d'électronique grand public et les organismes de réglementation se sont réunis pour discuter de la formation d'un groupe qui superviserait le développement de la télévision numérique en Europe.

Ce soi-disant European Launching Group (ELG) s'est élargi pour inclure les principaux groupes d'intérêt européens des médias, publics et privés, les fabricants d'électronique grand public, les opérateurs communs et les régulateurs. Il a rédigé le protocole d'accord (MoU) établissant les règles selon lesquelles ce nouveau et difficile jeu d'action collective serait joué.

À cette époque, un groupe distinct, le groupe de travail sur la télévision numérique, a préparé une étude sur les perspectives et les possibilités de la télévision numérique terrestre en Europe. Le rapport très respecté a introduit d'importants nouveaux concepts, tels que des propositions visant à permettre à plusieurs marchés de consommation différents d'être desservis en même temps (par exemple, télévision portable et TVHD).

Le concept du protocole d'accord était un départ vers un territoire inexploré et signifiait que les concurrents commerciaux devaient apprécier leurs exigences et leurs programmes communs. Il fallait instaurer la confiance et le respect mutuel.

Le protocole d'accord a été signé par tous les participants à ELG en septembre 1993, et le groupe de lancement s'est renommé Projet de diffusion vidéo numérique (DVB).

Le projet DVB a commencé la première phase de ses travaux en 1993. La tâche initiale consistait à développer une suite complète de technologies numériques de radiodiffusion par satellite, par câble et terrestre dans un seul organisme de «pré-normalisation». Le système DVB-S a été approuvé en 1994 et les premiers services de diffusion DVB en Europe ont commencé au printemps 1995 par l'opérateur de télévision payante Canal plus en France. Le système DVB-T a été approuvé plus tard, en 1997. Les premières émissions DVB-T ont commencé en Suède et au Royaume-Uni en 1998.

Les services DVB-T ont commencé dans certaines parties de l'Allemagne en 2002 et en 2003, il y a eu le premier arrêt analogique d'Europe à Berlin. En 1997, le développement du projet DVB avait suivi avec succès les plans initiaux et le projet était entré dans sa phase suivante, promouvant ses normes ouvertes à l'échelle mondiale et faisant de la télévision numérique une réalité. Les normes DVB ont été adoptées dans le monde entier et sont devenues la référence en matière de télévision numérique dans le monde. [17]

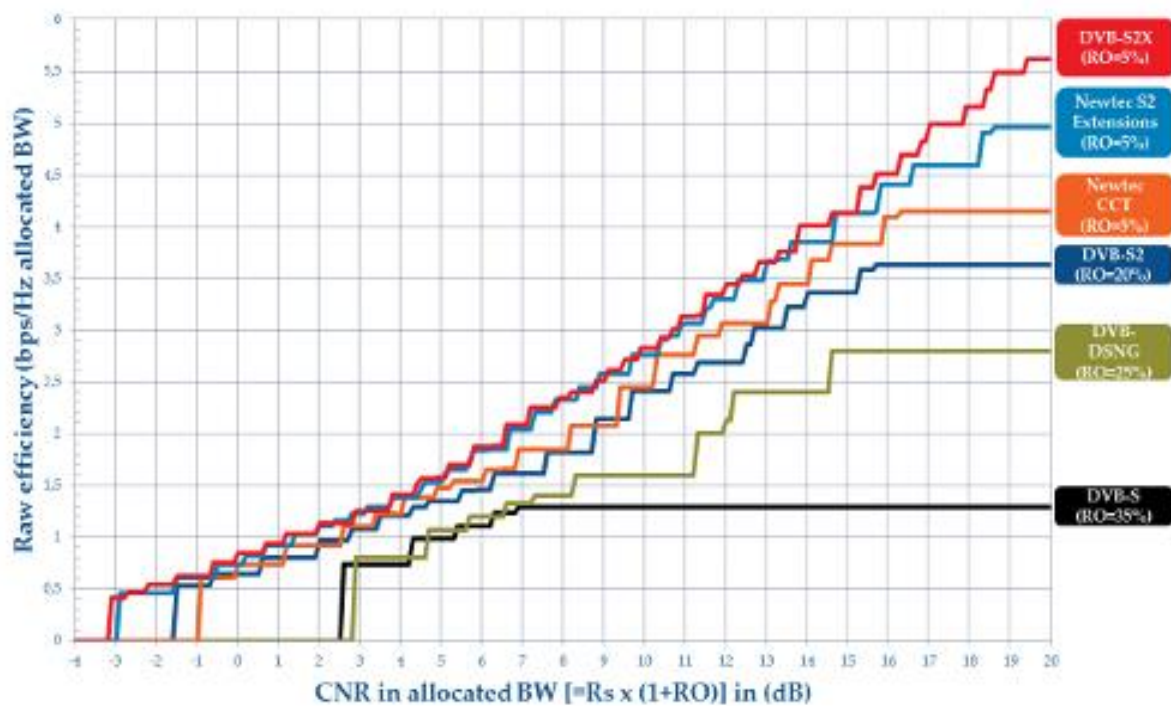


Figure 2.1 : Evolution du standard DVB [18]

2.2.3 La numérisation

C'est la conversion d'un signal analogique vers un signal numérique. Un signal analogique, pour être converti en signal numérique, pour cette opération on a besoin d'un convertisseur CAN. La numérisation consiste à prélever un certain nombre d'échantillons à une « fréquence d'échantillonnage », puis à les coder sur un certain nombre de bits, « la quantification ». [19]

✚ Echantillonnage

Cette opération est fondamentale en traitement de signal car à l'issue de l'opération le signal obtenu étant numérique il est possible de le traiter au moyen d'un ordinateur. Il s'agit donc au cours de cette opération de passer d'un signal continu $s(t)$ d'une variable t quelconque à une suite de nombres ou d'échantillons $\{s(n)\}$ avec $n \in \mathbb{N}$. Cette opération est réalisée au moyen d'un convertisseur analogique numérique (C.A.N.). Le C.A.N prend au cours de cette opération les valeurs de $s(t)$ à intervalles réguliers T_e . L'intervalle choisi est par définition la période d'échantillonnage qui est notée T_e . L'inverse de cette quantité est appelé fréquence d'échantillonnage F_e . Si un signal $s(t)$ est échantillonné à la fréquence F_e sur un intervalle T alors le

signal échantillonné sera de dimension finie et contiendra $N = T / T_e$ échantillons. L'intervalle entre deux échantillons est donc : $T_e = T / N$. [19]

Quantification

Pour quantifier un message échantillonné, on va donner à chaque valeur du signal un nombre binaire. C'est le CAN qui réalise cette opération. Chaque niveau de tension est codé sur p bits, chaque bit pouvant prendre deux valeurs (0 ou 1). Donc un convertisseur à p bits possède 2^p niveaux de quantification. Considérons un CAN 4 bits, il n'y a donc que $2^4 = 16$ valeurs possibles attribuables à toutes les valeurs prélevées lors de l'échantillonnage. L'opération se fait donc avec une perte d'information d'autant plus grande que p est petit. [20]

Codage

Le codage consiste à attribuer un nombre binaire à chaque amplitude d'un échantillon. La suite de nombre binaire est ensuite transmise en série (un nombre par période d'échantillonnage).

On voit bien que pour traduire le plus fidèlement possible le signal analogique, il faudra prendre un très grand nombre de mesure. [20]

2.2.4 Compression vidéo

Son principe c'est de réduire les redondances de l'information dans les données sans que cela ait un effet sur l'efficacité du signal cela peut être résumé dans deux points importants :

- Ne pas transmettre les informations redondantes.
- Ne pas transmettre les informations non ou peu perceptives par l'œil (l'oreille pour le cas d'un signal audio). [1]

➤ La norme MPEG

En 1990, le besoin de stocker sous forme numérique et de reproduire des images animées et le son stéréophonique associé sur diverses plates-formes a conduit à la formation par l'ISO d'un groupe d'experts (MPEG, Moving Pictures Experts Group) venant de toutes les parties concernées par le problème (informatique, télécommunications, électronique grand public, Semi-conducteurs, radiodiffusion, Université). Le travail de ce groupe s'est concrétisé tout d'abord en 1992 par la norme ISO/IEC, beaucoup plus largement connue sous le nom MPEG-1. Le but principal était de permettre le stockage. [1]

○ MPEG 1

Définie en 1988, il s'agit de la première norme audio et vidéo utilisée plus tard pour les Vidéo CD. Ce format offre une définition à l'écran de 352 x 240 pixels à 30 images par seconde ou de 352

x 288 à 25 images par seconde avec un débit d'environ 1,5 Mbit/s. Elle comprend le populaire format audio MPEG-1 partie 3 audio couche 3 (MP3). [21]

- **MPEG 2**

Les normes européennes qui couvrent la télédiffusion sont le résultat des travaux, démarrés en 1991, du groupe de travail ELG devenu DVB, dont l'objectif principal était la définition d'une norme de télévision numérique pour diffusion par satellite, câble ou réseau terrestre. MPEG-2 constitue la norme pour le codage de source du système défini par le DVB. Elle peut être décrite comme une boîte à outils de compression plus complexe que MPEG-1, dont elle peut également être considérée comme un sur-ensemble : en effet, elle en reprend tous les outils en y ajoutant d'autres. De plus, la norme prévoit en effet la compatibilité ascendante, ce qui signifie qu'un décodeur MPEG-2 doit pouvoir décoder des trains élémentaire de la norme MPEG-1. [1]

- **MPEG 4**

Dès 1995, le standard MPEG4 commença à émerger du point de vue théorique. Le premier document officiel le concernant fût écrit au début de 1998, c'est l'iso ISO 14496. Le but du MPEG4 est d'englober les codecs MPEG existant et de leur rajouter une nouvelle dimension permettant un standard beaucoup plus malléable et étendu. Il dépasse complètement la compression vidéo classique, le standard MPEG-4 se base sur le concept d'objets média (Media Objects) pour représenter des contenus audio-visuels. [1]

Ces objets peuvent être combinés et synchronisés. Ils interagissent avec l'utilisateur selon des limites fixées par leurs auteurs. Une hiérarchie lie les objets. Le niveau de base est constitué "d'objets médias primitifs" regroupant les images fixes, les vidéos, les sons, le texte, les graphiques, les visages parlants synthétiques et les sons synthétiques. MPEG-4 permet la composition de scènes complexes en standardisant la façon de placer, transformer, grouper, modifier et interagir avec les objets. [1]

2.3 Le Standard DVB-S

2.3.1 Présentation

La norme DVB-S (Digital Vidéo 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.

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

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

Il faut donc utiliser une transmission efficace à faible rapport signal sur 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.

Une nouvelle version DVB-S2 (Digital Video Broadcasting - Satellite 2) existe depuis maintenant quelques années, elle est beaucoup utilisée pour les transmissions HD. Les récepteurs DVB-S2 sont compatibles avec les émissions DVB-S, mais pas l'inverse. [21]

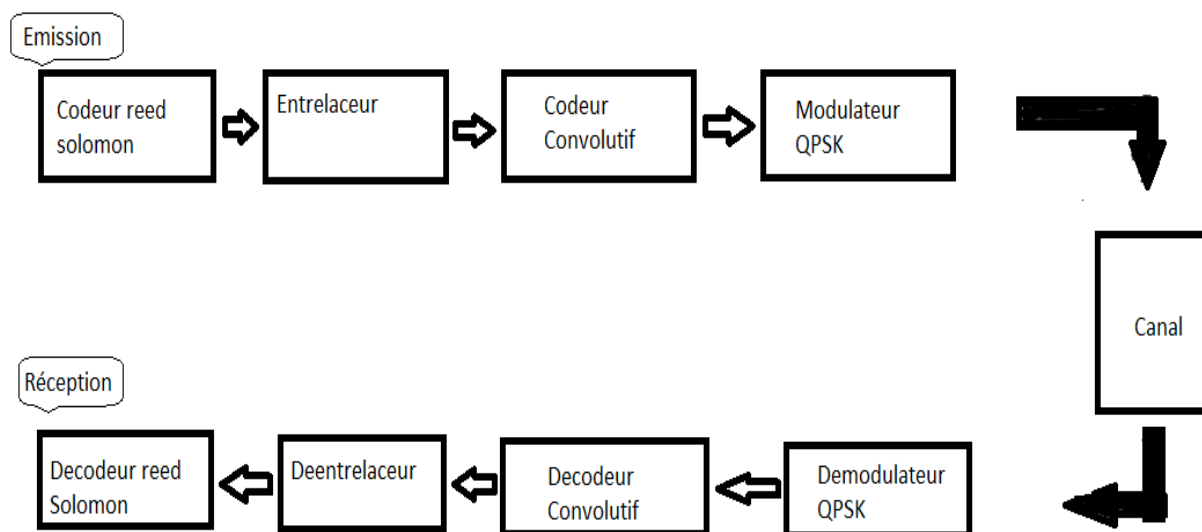


Figure 2.2 : Chaîne de transmission DVB-S [22]

2.3.2 Principaux paramètres d'une chaîne transmission DVB-S

Le tableau 2.2 résume les principales caractéristiques d'une chaîne d'émission réception DVB-S. Les différents blocs composant la chaîne d'émission-réception doivent être configurés de sorte à obtenir une continuité des signaux durant la transmission et d'apporter à cette dernière une robustesse vis-à-vis des erreurs pouvant intervenir durant la communication dans le canal bruité. [22]

| | |
|---|-------------------------------------|
| 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 1.2 : Paramètres d'une chaînes DVB-S [22]

- **Reed-Solomon**

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 $2t=n-k$. [23]

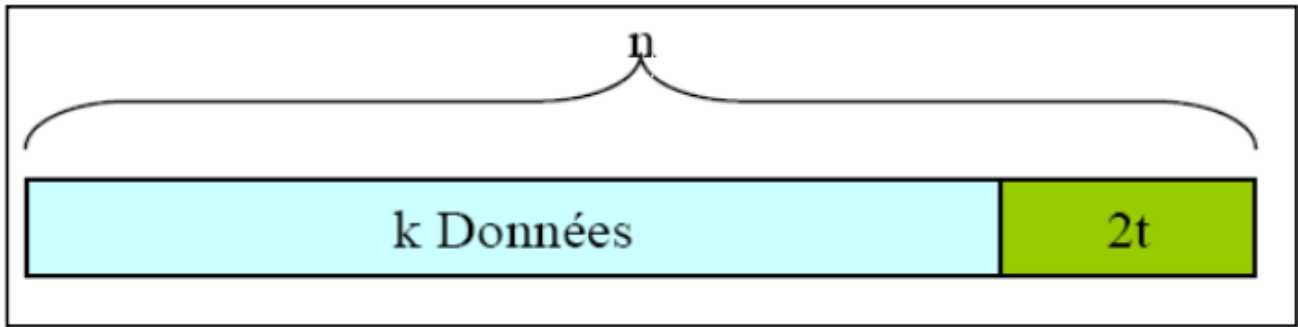


Figure 2.3 : Mot-Code de Reed Salomon [23]

- **L'entrelaceur**

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 est d'utiliser plusieurs registres à décalages qui vont induire un retard. L'entrelaceur utilise deux paramètres : le nombre de branche K et la profondeur T (En octet) du registre à décalage de base. [22]

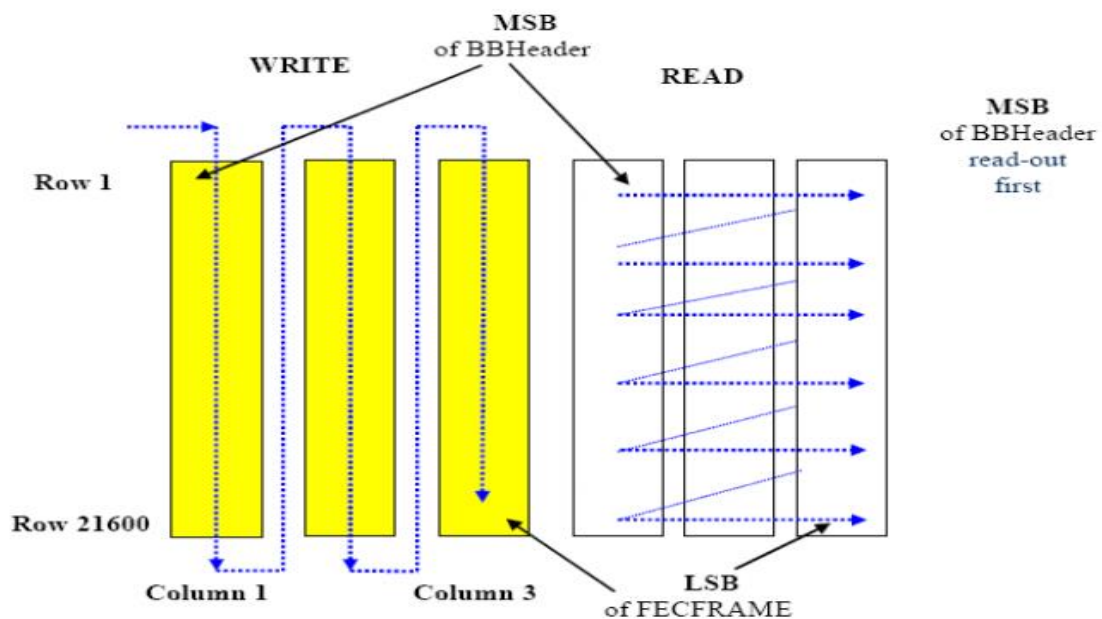


Figure 2.4 : Paramètres de l'entrelacement. [22]

- **Le codeur convolutif**

Les codes convolutifs, introduits en 1955 par Elias, 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 convolutive 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. 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. [21]

➤ **Principe**

Un codeur convolutif binaire génère les m_0 bits de contrôle chaque fois que l'on présente k_0 bits d'information à son entrée. Contrairement au codes en blocs, les $n_0 = k_0 + m_0$ bits de sortie ne dépendent pas seulement du bloc de k_0 bits à l'entrée du codeur, mais aussi des $m-1$ blocs précédents. Si le nombre m s'appelle contrainte, alors le nombre $n = m * k_0$ s'appelle longueur de contrainte.

Le principe général du codage convolutif est illustré par la figure 2.5. Ainsi le codeur convolutif est constitué d'un registre à décalage à $k_0 * (m-1)$ étages qui mémorise les derniers $m-1$ blocs de k_0 bits d'information, d'une logique combinatoire qui calcule le bloc de n_0 bits fournis par le codeur et d'un convertisseur parallèle/série. [21]

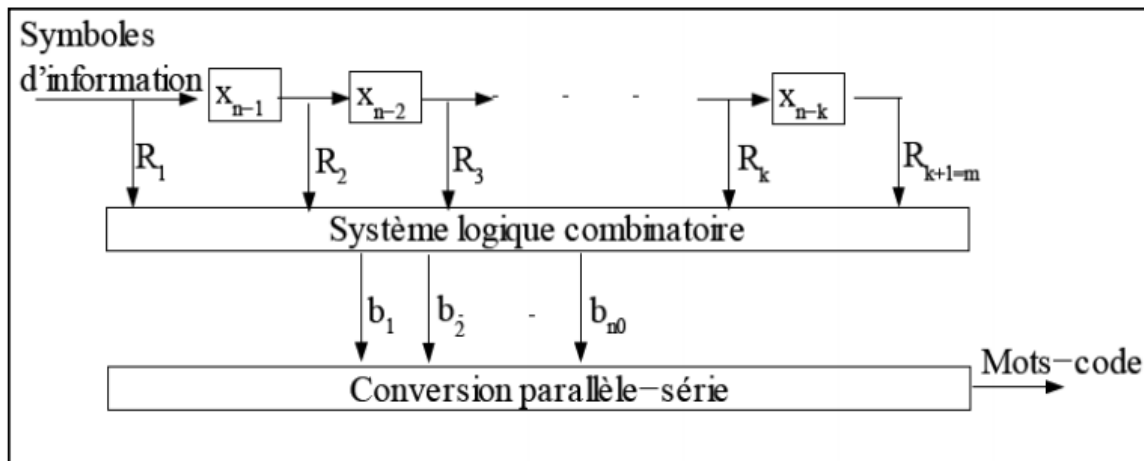


Figure 2.5 : Principe d'un codeur convolutif. [21]

○ **Le modulateur QPSK**

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

fonction des données à moduler, la porteuse est forcée dans une des quatre phases possibles, aussi appelée symbole. Le grand avantage de cette méthode est que chaque symbole code deux bits de données, donc double la quantité potentielle de données qui serait transmise avec une modulation d'amplitude ou de fréquence. La figure 2.6 illustre une implémentation typique de QPSK:

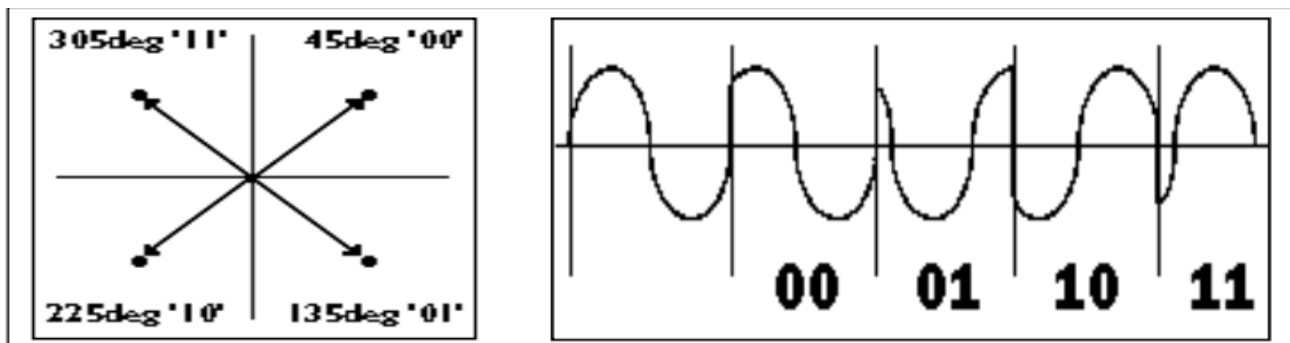


Figure 2.6 : Schéma de modulation QPSK. [23]

La figure 2.6 montre chaque paire possible de bits de données représentée par un angle de phase différent et un exemple de signal QPSK. A cause de l'utilisation du QPSK, le débit des données sont exprimés en débit symbole (symbol rate) plutôt qu'en débit binaire (bit rate). Dans le cas de la modulation QPSK, le débit binaire est deux fois le débit symbole. Par exemple un SR de 20MS/s (20 méga-symboles par seconde) équivaut à un débit binaire de 40Mb/s (40 mega-bits par seconde). [23]

2.3.3 Le poinçonnage

Le point négatif du codeur de base de rendement $\frac{1}{2}$ est de doubler le débit du train TS. C'est pour cela que l'on utilise un poinçonnage. Le poinçonnage consiste à ne pas envoyer tous les bits en sortie du codeur dans le but de réduire le débit total. Si 3 bits se présentent en entrée du codeur, on en récupère 6 en sortie mais on n'en transmettra que 4. Le rendement global sera alors de $\frac{3}{4}$. On appelle cela FEC $\frac{3}{4}$ ((Forward Error Correction, correction prédictive des erreurs). [1]

2.4 Le Standard DVB-S2

2.4.1 Présentation

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

introduites. Cet apport par le standard DVB-S2 s'explique par les modifications introduites au niveau codage et modulation. Le tableau 2.3 représente les principales différences du standard DVB S2 avec le DVB-S et le DVB-DSNG.

| Année | 1994 | 1997 | 2003 |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| Standard | DVB-S | DVB-DSNG | DVB-S2 |
| Mode de codage et de modulation | CCM | VCM | ACM |
| Codage | Viterbi, Reed Solomon | Viterbi, Reed Solomon | LDPC, BCH |
| Modulation | QPSK | QPSK, 8PSK | QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK |
| Format de données | MPEG2 | MPEG2, données | MPEG2, MPEG4, données |

Tableau 2.3 : Evolution des standards de communication par satellite [21]

Ces modifications introduites pour le standard DVB-S2, ont permis d'attendre une performance remarquable que nous allons détailler ensuite. [21]

2.4.2 Adaptation de flux

Cette section fournit à l'encodeur une longueur constante et une trame de bande de base aléatoire. La longueur demandée de la trame de bande de base dépend du débit de code FEC et, afin d'atteindre le nombre requis de bits, un remplissage de zéro est appliqué pour remplir la trame. [24]

L'étape suivante consiste à randomiser la trame de bande de base complète. Le polynôme pour la séquence binaire pseudo aléatoire (PRBS) est:

$$1 + X^{14} + X^{15}$$

Le bloc d'adaptation 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=188x8 bits (User Packet Length). Les types de données à l'entrée et à la sortie de ce bloc sont donnés dans le tableau 2.4 :

| Interface | Interface type | Connexion |
|-----------|--------------------|-------------------|
| Entrée | MPEG [1 , 4] | Multiplexeur MPEG |
| Entrée | Données génériques | Source de données |
| Entrée | Commande ACM | Unité de contrôle |
| Sortie | Trames de données | Bloc de réception |

Tableau 2.4 : Type de données pour un système de transmission DVB-S2. [23]

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 2.7.

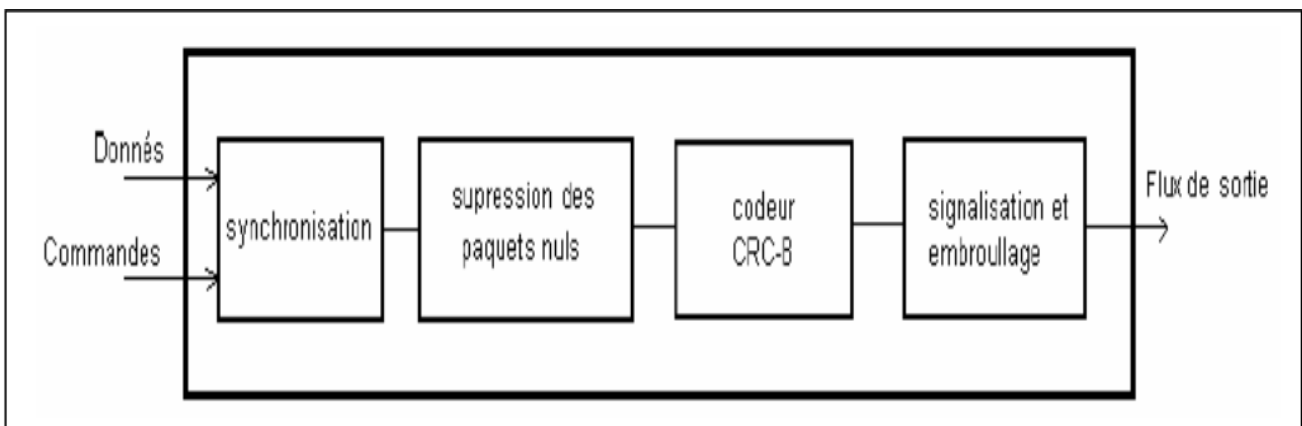


Figure 2.7 : Schéma d'un bloc d'adaptation. [23]

Les données sont ensuite regroupées dans des champs plus grands : DF (Data Field), pour lesquelles nous ajoutons des informations de signalisation de longueur fixe (80 bits) pour obtenir la trame BBFRAME (Base Band Frame) comme c'est montré dans la figure 2.8. [23][24]

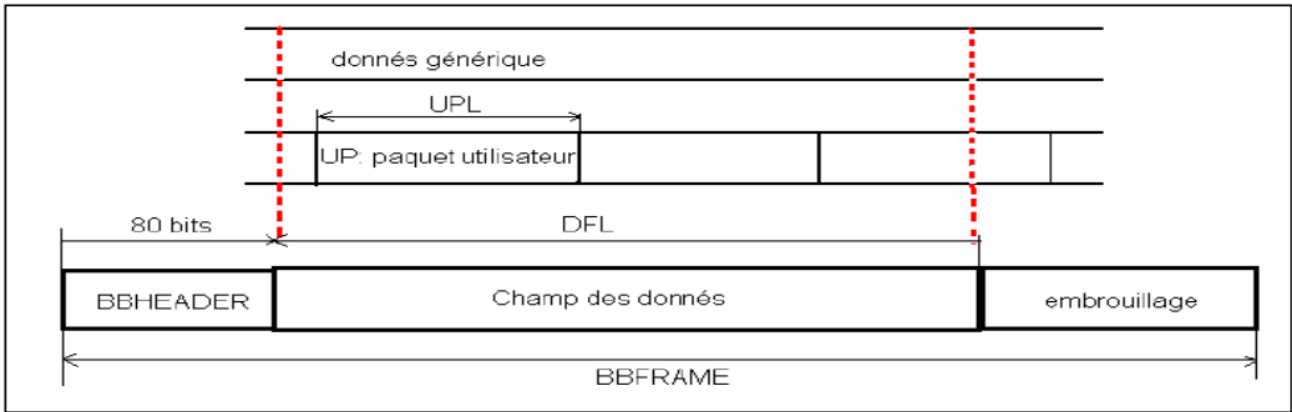


Figure 2.8 : Trame BBFrame. [23]

2.4.3 Codage des canaux (FEC)

En ce qui concerne FEC, la trame de bande de base est l'entrée du système et la trame FEC la sortie. La séquence d'entrée doit être traitée par le codeur externe (BCH) et par le codeur interne (LDPC) afin de composer le mot de code final qui sera transmis sur le canal. Ainsi, si nous définissons comme BCHFEC les bits de contrôle de parité du codeur externe BCH et LDPCFEC les bits du codeur LDPC interne, le paquet suivra la structure illustrée à la figure 2.9.

Comme mentionné précédemment, deux types de paquets de longueurs différentes sont disponibles: $\eta = 64800$ bits et $\eta = 16200$ bits. Le choix entre les deux se fait en fonction de l'application et de l'objectif de performance de la transmission. Un type supplémentaire de paquet est également disponible, et il a une longueur de $\eta = 32400$ bits.

Le codage canal adopté est une concaténation d'un code en bloc BCH (Bose-Chaudhuri-Hochquenghem code) et d'un code LDPC. Le code LDPC est un code linéaire caractérisé par sa grande capacité de détection d'erreur. Mais bien que ce code soit connu par sa complexité à cause de son besoin intense en mémoire, les problèmes posés par leur intégration matérielle commencent à être abordés. [24]

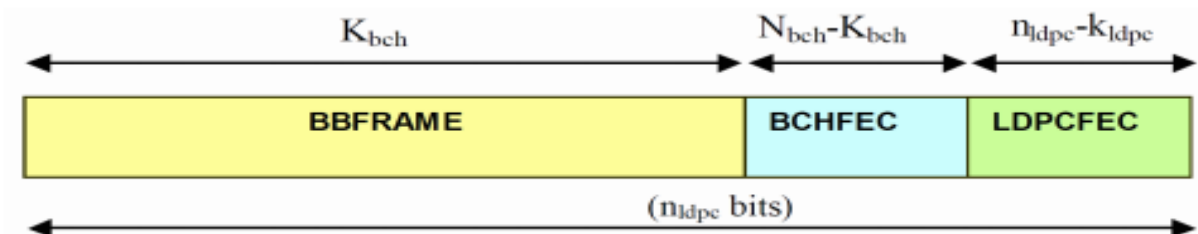


Figure 2.9 : Structure du paquet FEC. [24]

○ **Encodage BCH**

L'encodeur BCH est appliqué sur la trame de bande de base, qui est la sortie d'adaptation de flux. Sa tâche est de créer un paquet protégé contre les erreurs grâce au code BCH.

Afin de construire le polynôme du code de correction d'erreur, les premiers polynômes t dans les tableaux suivants doivent être multipliés. Le nombre de multiplicateurs change par rapport à la longueur de paquet de la trame de couche physique finale, qui pourrait être respectivement $\eta = 64800$ bits, $\eta = 32400$ bits ou $\eta = 16200$ bits. [24]

| | |
|-------------|---|
| $g_1(x)$ | $1+x^2+x^3+x^5+x^{16}$ |
| $g_2(x)$ | $1+x+x^4+x^5+x^6+x^8+x^{16}$ |
| $g_3(x)$ | $1+x^2+x^3+x^4+x^5+x^7+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{16}$ |
| $g_4(x)$ | $1+x^2+x^4+x^6+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{16}$ |
| $g_5(x)$ | $1+x+x^2+x^3+x^5+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{12}+x^{16}$ |
| $g_6(x)$ | $1+x^2+x^4+x^5+x^7+x^8+x^9+x^{10}+x^{12}+x^{13}+x^{14}+x^{15}+x^{16}$ |
| $g_7(x)$ | $1+x^2+x^5+x^6+x^8+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{13}+x^{15}+x^{16}$ |
| $g_8(x)$ | $1+x+x^2+x^5+x^6+x^8+x^9+x^{12}+x^{13}+x^{14}+x^{16}$ |
| $g_9(x)$ | $1+x^5+x^7+x^9+x^{10}+x^{11}+x^{16}$ |
| $g_{10}(x)$ | $1+x+x^2+x^5+x^7+x^8+x^{10}+x^{12}+x^{13}+x^{14}+x^{16}$ |
| $g_{11}(x)$ | $1+x^2+x^3+x^5+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{13}+x^{16}$ |
| $g_{12}(x)$ | $1+x+x^5+x^6+x^7+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{16}$ |

Tableau 2.5 : Polynôme BCH pour $n=64800$. [24]

| | |
|-------------|--|
| $g_1(x)$ | $1+x+x^3+x^5+x^{14}$ |
| $g_2(x)$ | $1+x^6+x^8+x^{11}+x^{14}$ |
| $g_3(x)$ | $1+x+x^2+x^6+x^9+x^{10}+x^{14}$ |
| $g_4(x)$ | $1+x^4+x^7+x^8+x^{10}+x^{12}+x^{14}$ |
| $g_5(x)$ | $1+x^2+x^4+x^6+x^8+x^9+x^{11}+x^{13}+x^{14}$ |
| $g_6(x)$ | $1+x^3+x^7+x^8+x^9+x^{13}+x^{14}$ |
| $g_7(x)$ | $1+x^2+x^5+x^6+x^7+x^{10}+x^{11}+x^{13}+x^{14}$ |
| $g_8(x)$ | $1+x^5+x^8+x^9+x^8+x^{10}+x^{11}+x^{14}$ |
| $g_9(x)$ | $1+x+x^2+x^3+x^9+x^{10}+x^{14}$ |
| $g_{10}(x)$ | $1+x^3+x^6+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{14}$ |
| $g_{11}(x)$ | $1+x^4+x^{11}+x^{12}+x^{14}$ |
| $g_{12}(x)$ | $1+x+x^2+x^3+x^5+x^6+x^7+x^8+x^{10}+x^{13}+x^{14}$ |

Tableau 0.6 : Polynôme BCH pour n=16200. [24]

| | |
|-------------|--|
| $g_1(x)$ | $1+x^2+x^3+x^5+x^{15}$ |
| $g_2(x)$ | $1+x+x^4+x^7+x^{10}+x^{11}+x^{15}$ |
| $g_3(x)$ | $1+x^2+x^4+x^6+x^8+x^{10}+x^{12}+x^{13}+x^{15}$ |
| $g_4(x)$ | $1+x^2+x^3+x^5+x^6+x^8+x^{10}+x^{11}+x^{15}$ |
| $g_5(x)$ | $1+x+x^2+x^4+x^6+x^7+x^{10}+x^{12}+x^{15}$ |
| $g_6(x)$ | $1+x^4+x^6+x^7+x^7+x^{12}+x^{13}+x^{15}$ |
| $g_7(x)$ | $1+x^2+x^4+x^5+x^7+x^{11}+x^{12}+x^{14}+x^{15}$ |
| $g_8(x)$ | $1+x^2+x^4+x^6+x^8+x^9+x^{11}+x^{14}+x^{15}$ |
| $g_9(x)$ | $1+x+x^2+x^4+x^5+x^7+x^9+x^{11}+x^{12}+x^{13}+x^{15}$ |
| $g_{10}(x)$ | $1+x+x^2+x^3+x^4+x^7+x^{10}+x^{11}+x^{12}+x^{13}+x^{15}$ |
| $g_{11}(x)$ | $1+x+x^2+x^4+x^9+x^{11}+x^{15}$ |
| $g_{12}(x)$ | $1+x^2+x^4+x^8+x^{10}+x^{11}+x^{13}+x^{14}+x^{15}$ |

Tableau 0.7 : Polynôme BCH pour n=32400. [24]

○ Encodage LDPC

En DVB-S2, un codage systématique LDPC est appliqué, dont l'entrée est une trame d'information de longueur K_{LDPC} , qui est codée dans un mot de code de taille n_{LDPC} . Ces types de codes sont définis par des matrices de contrôle de parité clairsemées H et spécifiquement, en DVB-S2, afin de réduire la complexité, la matrice est de la forme :

$$H (N - K) \times N = A (N - K) \times K B K \times N$$

Où B est un escalier triangulaire inférieur. Une périodicité de $M = 360$ a été définie pour limiter le stockage.

Le but de l'encodeur est de trouver les bits de parité $n_{LDPC} - k_{LDPC}$ et de les ajouter à la trame d'entrée. La procédure est brièvement expliquée ici:

- Initialiser à zéro tous les bits de contrôle de parité.
- Accumuler le premier bit de la trame qui doit être encodé dans la position spécifiée.
- Effectuez également cette opération pour les 359 bits suivants, mais l'accumulation de la position doit être définie selon $(x + m \bmod 360 \times q) \bmod (n_{ldpc} - k_{ldpc})$. Où q est un paramètre qui est prédéfini en fonction du débit de code.
- Appliquer périodiquement la même procédure (avec une période égale à 360).
- Enfin, en commençant par $k = 1$, effectuez $p_k = p_k + p_{k-1}$. Toutes ces sommes sont réalisées dans le domaine galoisien. [24]

2.4.4 Ordre de modulation supérieure

Le standard DVB-S n'a défini que deux modulations qui sont le BPSK (Binary Phase Shift Keying) et le QPSK. Alors que quatre schémas de modulation sont proposés par le DVB-S2, ces schémas sont donnés par les modulations QPSK, 8PSK, 16 APSK et 32 APSK dans la figure 2.10 :

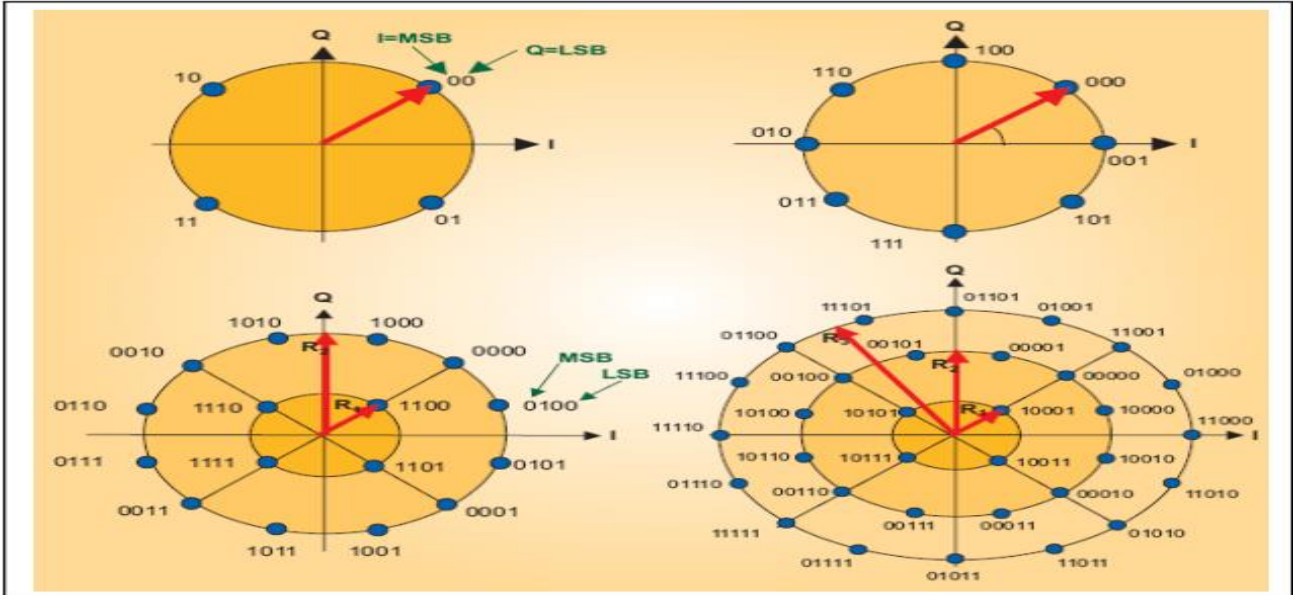


Figure 0.10 : Constellations DVB-S2 avant brouillage des couches physiques. [23]

2.4.5 Modulation et codage Variable

Afin de garantir la qualité de service requise par les différentes applications et d'exploiter les ressources spectrales d'une manière plus efficace, le DVB-S2 adopte à la fois un codage variable et une constellation variable. Les différentes possibilités de modulation et de taux de codage sont indiqués dans le tableau 2.8 : [23]

| 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 0.1 : Modulation et codage variable utilisé. [23]

2.4.6 Organisation suivant le schéma de constellations

Ce bloc a pour fonction la génération des symboles suivant le type de modulation adopté. Par exemple, et comme le montre le schéma de constellation 16APSK dans la figure 8, les bits sont regroupés en des symboles de 4 bits. [23]

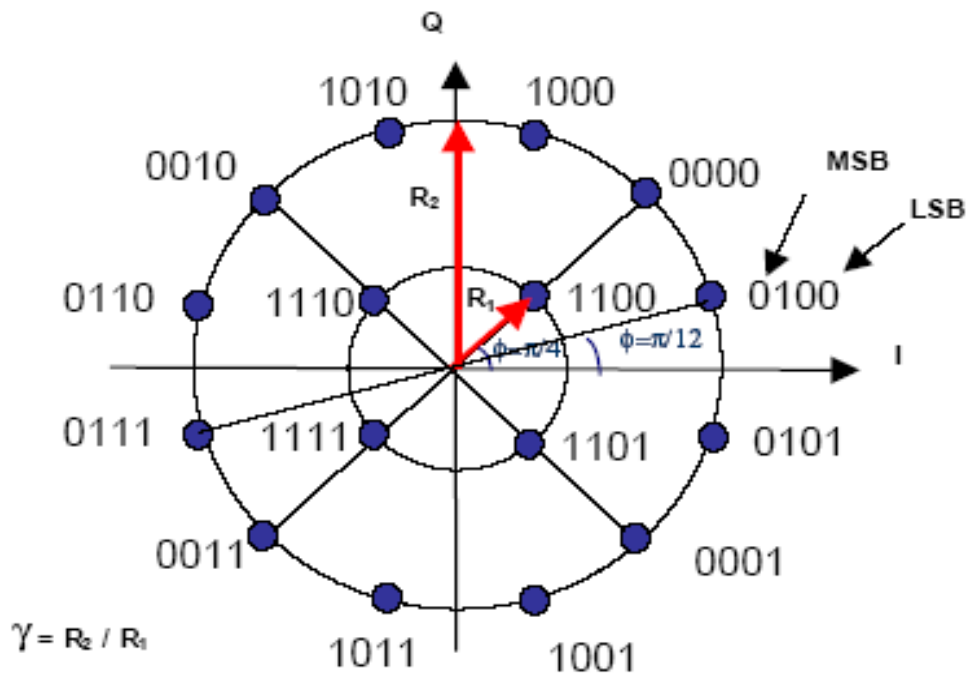


Figure 2.11 : Schéma de constellations 16APSK. [23]

2.4.7 Application du DVB-S2

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

- Radiodiffusion de la télévision SD et HD.
- Services interactifs, y compris l'accès Internet, pour les applications grand public.
- Applications professionnelles, telles que les liaisons TV de contribution et le journalisme électronique par satellite.
- Transmission de contenus TV vers des émetteurs VHF/UHF terrestres.
- Transmission de contenus de données et agrégation des liens Internet (trunking). [22]

2.5 Le Standard DVB-S2X

2.5.1 Présentation

Environ 10 ans après la naissance du système DVB-S2, le consortium DVB a approuvé l'extension de la norme DVB-S2, indiquée par le nom DVB-S2X (S2 eXtension), pour améliorer les performances en ciblant les segments du marché de DVB-S2, tels que la diffusion télévisée, les applications DSNG (Digital Satellite News Gathering) et la transmission de données pour les réseaux stratégique mais en forte expansion, comme le secteur mobile (aérien, ferroviaire et naval)

et celui des applications professionnelles comme VSAT (Very Small Aperture Terminal) dans des régions caractérisées par une forte atténuation du signal reçu, due aux perturbations atmosphériques.

Le nouveau système DVB-S2X conserve la même architecture générale du DVB-S2, ainsi que toutes les configurations, afin d'assurer la compatibilité avec les signaux de type DVB-S2, ainsi que pour une mise sur le marché rapide et facile. [25]

2.5.2 Principales caractéristique du standard DVB-S2X

La norme DVB-S2X nous permet d'opérer dans des domaines d'intérêt consolidés tels que la diffusion TV (DTH, Direct To Home), les applications interactives haut débit pour les particuliers et les professionnels, le DSNG et d'autres applications professionnelles, la contribution et la distribution TV, la distribution de données et de sites Web (Internet Trunking), mais introduit également de nouvelles configurations visant de nouveaux domaines d'intérêt. En fait, le nouveau système est capable de fonctionner même dans des conditions de rapport signal sur bruit non conventionnelles, et en particulier dans des conditions de :

- **Très faible rapport signal / bruit (VL-SNR, Very-Low SNR)**

De -3 à -10 dB, typique des régions caractérisées par une forte atténuation du signal reçu due aux perturbations atmosphériques, comme les zones tropicales en particulier pour la bande Ka et les services aux terminaux mobiles (avions, trains rapides, navires, etc.);

- **Rapport signal / bruit très élevé (VH-SNR, Very-High SNR)**

Plus de 12 dB, pour les applications professionnelles à haut rendement spectral (atteignant des rendements spectraux d'environ 6 bps / Hz avec une modulation 256APSK). [25]

2.5.3 Nouveau MODCOD

Comme pour DVB-S2, la transmission de données DVB-S2X est également protégée par la concaténation de 2 codes correcteurs FEC (Forward Error Correction), le code interne LDPC (Low Density Parity Check) et le BCH externe (Bose Chaudhuri Hocquenghem), est basé sur les constellations APSK (Amplitude Phase Shift Keying).

Quant à la longueur de bloc du code LDPC, en plus du bloc long (64800 bits) et court (16200 bits), déjà présent en DVB-S2, pour lequel de nouveaux débits de code sont définis, certaines configurations avec bloc médium, de 32400 bits, sont introduites.

En plus des constellations DVB-S2 (QPSK, 8PSK, 16APSK et 32APSK) de nouvelles configurations tel que : (8APSK, 16APSK et 32APSK) ont été ajoutées, ainsi que les nouveaux (64APSK 128APSK et 256APSK) pour les applications haut débit et professionnel.

Le gain offert par ces MODCOD par rapport aux homologues du canal non linéaire peut même atteindre jusqu'à 1 dB, pour la même efficacité spectrale.

Les nouvelles configurations de modulation et de taux d'encodage (MODCOD) proposées sont environ deux fois plus élevées que les modes présents dans DVB-S2. Cela permet d'obtenir une plus grande granularité dans le plan de rapport efficacité spectrale / signal sur bruit, comme on peut le voir sur la figure 2.12, pour un modèle simplifié d'un canal non linéaire, dans la plage de rapport signal sur bruit typique des applications de diffusion. , et la figure 2.13, sur un canal linéaire, pour toute la gamme des rapports signal sur bruit couverts par DVB-S2X. [25]

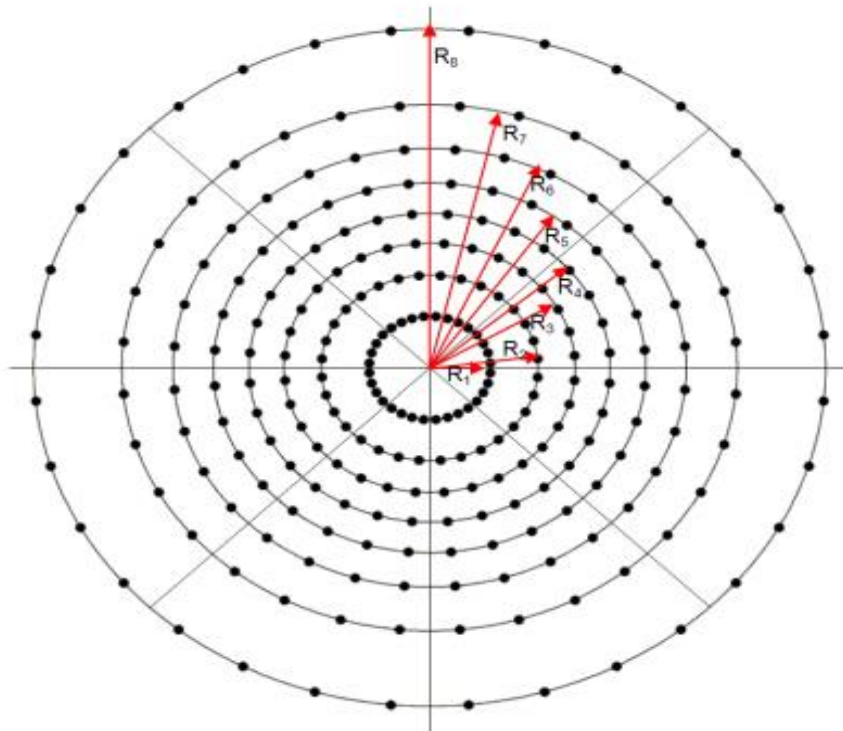


Figure 2.2 : Schéma de constellations 256 APSK. [25]

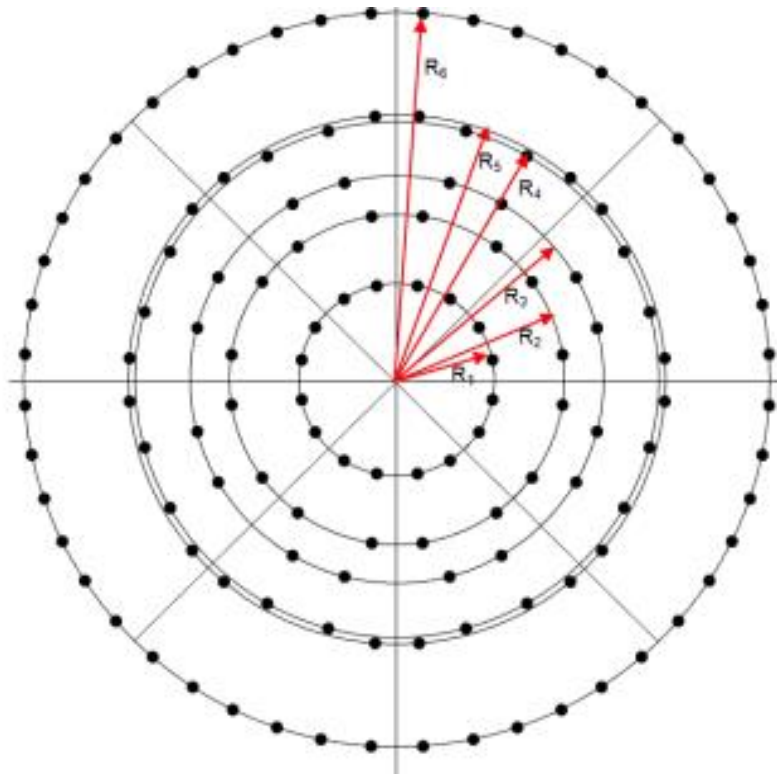


Figure 2.3 Schéma de constellations 128 APSK.[25]

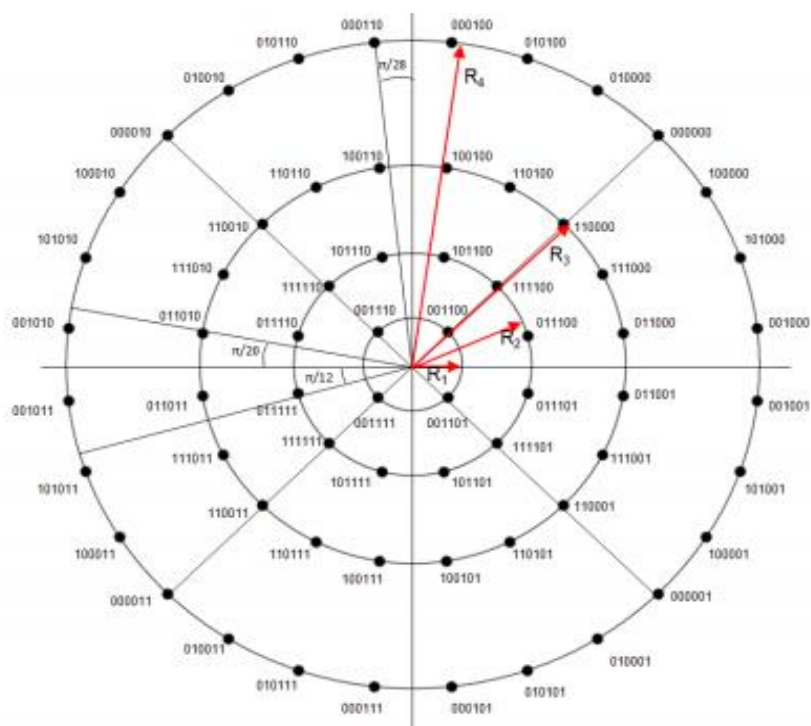


Figure 2.4 Schéma de constellations 64 APSK.[25]

2.5.4 Nouveaux roll-off plus serrés

Pour réduire l'occupation de fréquence du signal, et permettre une plus grande flexibilité dans la configuration du système en fonction des besoins opérationnels, le S2X introduit de

nouvelles valeurs d'atténuation plus petites (15%, 10% et 5%) en plus de celles déjà présentés en DVB-S2 (35%, 25%, 20%).

Donc le gain qui peut être obtenu grâce à l'utilisation de roll-off plus serrés dépend beaucoup de la flexibilité de l'opérateur du satellite à pouvoir modifier les contraintes sur le débit de symboles et les masques d'émission. S'il n'y a pas de contraintes sur le débit de symboles utilisable, l'avantage offert par des réductions plus strictes pour optimiser l'efficacité spectrale d'un schéma de transmission typique est minime. Néanmoins, l'utilisation des diminutions plus étroites peut être utile pour contrôler les interférences sur les canaux adjacents en raison de l'augmentation du débit de symboles. [25]

2.5.5 Le VCM devient normatif pour DTH

Le S2X rend également le mode VCM (Variable Coding and Modulation) normatif pour tous les scénarios d'application: en DVB-S2, pour DTH, le mode normatif était CCM (Constant Coding and Modulation), tandis que le VCM était optionnel. De cette manière, en faisant varier la configuration du système, et donc la protection sur le signal, trame par trame, il est possible d'utiliser le bon compromis entre puissance du signal et efficacité spectrale, en fonction des besoins spécifiques des services transmis. [25]

2.5.6 Le PLHEADER

Comme pour DVB-S2, la trame de la couche physique (PLFRAME) est précédée d'un en-tête de couche physique (PLHEADER), dont la fonction est de transporter les bits nécessaires à la synchronisation des appareils récepteurs avec le signal transmis et des informations supplémentaires telles que la longueur de la trame de données, la présence de symboles pilotes pour faciliter la synchronisation du récepteur et le schéma de modulation et de codage utilisé; Pour signaler les nouveaux MODCOD, le nombre de bits du PLHEADER a été augmenté de 7 à 8. De plus, en association avec le MODCOD VL-SNR, un en-tête spécial (VL-SNR Header) est prévu capable de garantir la synchronisation sur les terminaux mobiles fonctionnant en VL-SNR, ainsi que l'identification du MODCOD utilisé. [25]

2.5.7 Les séquences de brouillage

Pour atténuer les interférences dans le même canal, le S2X ajoute 6 nouvelles séquences de brouillage à la séquence DVB-S2 dans les applications DTH. Dans certains cas spécifiques, en effet, des situations de brouillage co-canal élevé (CCI, Co-Channel Interference) se produisent déjà

aujourd'hui, et on s'attend à ce que cela devient de plus en plus fréquent à l'avenir dans les configurations de satellites multipoints (en particulier en bande Ka). [24][25]

Même à des niveaux de protocole plus élevés, DVB-S2X introduit de nouvelles fonctionnalités, qui permettent une flexibilité et des performances accrues. En particulier, le concept de liaison de canal est introduit, pour diviser un grand flux de transmission sur plusieurs répéteurs de satellite et l'utilisation de nouvelles transmissions par IP (GSE- Generic Stream Encapsulator, GSE-lite). [24][25]

Enfin, le nouveau standard définit une nouvelle structure optionnelle Super-Frame, pour permettre de futures transmissions multi-formats capables de garantir de forts gains en termes de capacité et de flexibilité du système et de favoriser le développement de techniques avancées (atténuation des interférences, faisceau -hopping, etc.) pour améliorer significativement les performances des réseaux pour les services haut débit interactifs. [24][25]

2.5.8 Première transmission DVB-S2X [25]

Le 21 octobre 2014, le premier signal standard DVB-S2X a été transmis depuis le 'Le Centre de Recherche Rai de Turin', contenant un flux d'images de test 4k (UHD, Ultra High Definition) utilisant le nouveau standard de compression HEVC (High Efficiency Video Coding).

Le transport de flux (Transport Stream), réalisé dans les laboratoires du CRIT, a été envoyé au modulateur Newtec MDM6100 DVB-S2X, qui a généré le signal de la bande IF 70MHz. Ce signal a été transféré à la station mobile ITA646 à travers laquelle la liaison montante a été établie vers le satellite Eutelsat 5W, le transpondeur KB11. Ce satellite à 6 dB de G / T au-dessus de Turin et 53 dBW de PIRE comme illustré sur la figure 2.15.

La constellation choisie était 16APSK avec code de correction d'erreur (FEC) 26/45 pour une efficacité spectrale résultante de 2,46 bits / s / Hz. Le roll-off utilisé était de 5%.

Disposant d'une bande de 18 MHz, un débit de symboles de 17 Mbaud a été adopté, capable de transporter, avec les paramètres choisis, jusqu'à 41,8 Mbit / s.

Pour la réception, une parabole de 90 cm a été utilisée, suffisante pour recevoir le signal du satellite Eutelsat 5W avec une grande marge de réception. Lors de la transmission, le démodulateur DVB-S2X utilisé, Newtec MDM6100, indiquait en effet une marge de réception d'environ 6 dB, en ligne avec ce qui était attendu sur la base du budget de liaison.

Les récepteurs 4k commerciaux équipés de démodulateurs DVB-S2X n'étant pas encore disponibles, la sortie TS du démodulateur professionnel utilisé pour recevoir le signal du satellite Eutelsat 5W a été remodelée en DVB-S et pour pouvoir utiliser un téléviseur 4k équipé d'un récepteur DVB classique -S.

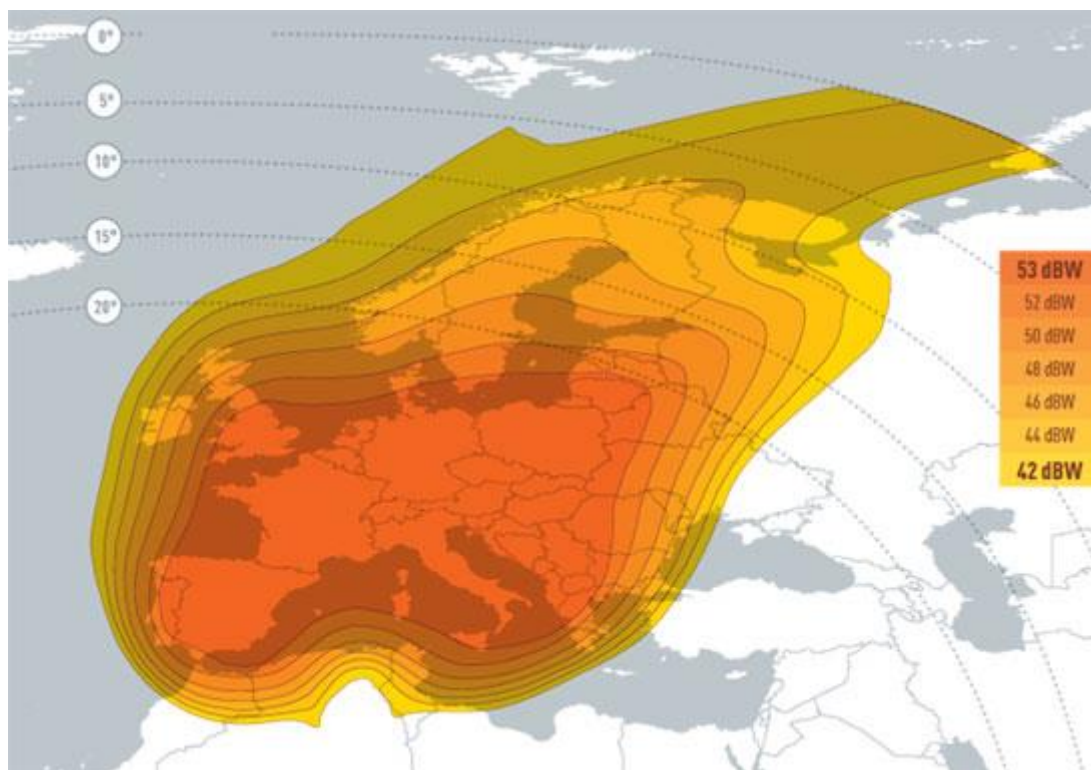


Figure 2.5 : Zone de Couverture du satellite Eutelsat 5W. [25]

2.5.9 Transmission UHD avec DVB-S2X via Satellite

La transmission par satellite ultra-haute définition (UHD) utilisant la nouvelle norme de transmission DVB-S2X est déjà en cours. La première transmission vidéo 4K UHD par satellite au monde à l'aide de DVB-S2X a été présentée à CommunicAsia 2014.

Il ne s'agit plus de savoir si le DVB-S2X jouera un rôle dans les réseaux de diffusion UHD, mais plutôt de savoir quand l'adoption de masse aura lieu.

En tant que successeur de la norme DVB-S2, DVB-S2X permet une rentabilité, une interopérabilité et une croissance accrues sur le marché des communications par satellite - tout cela est particulièrement pertinent lorsqu'il s'agit de fournir UHDTV.

Des applications telles que la contribution et la distribution sportives ouvrent la voie à la 4K devenant «la nouvelle norme» dans les années à venir.

La combinaison des technologies mises en œuvre sur DVB-S2X permet une optimisation de l'efficacité jusqu'à 51% dans une liaison satellite professionnelle. Pour les réseaux SRD (Software-Defined Radio), le gain moyen sera d'environ 20%, même si les gains de la liaison de canal sont exclus.

En effet, pour que l'UHD devienne aussi populaire que la HD, le DVB-S2X sera essentiel pour garantir les meilleures performances avec des débits de franchissement de barrière avec une disponibilité de service optimale. [26]

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre on a détaillé les trois normes satellitaires DVB-S, leurs fonctionnements, ainsi que leurs évolutions et les principaux étapes de cette transmission avec les principaux blocs et caractéristiques qui constituent les standards DVB-S/S2/S2X.

Dans notre troisième chapitre nous allons entamer la partie pratique, ainsi nous allons simuler les trois normes de DVB-S avec le logiciel MATLAB-SIMULINK afin de comparer les performances de chaque standard.

Chapitre 3 : Simulation et comparaison des Standards DVB-S/S2/S2X

3.1 Introduction

Afin de comparer les performances et l'évolution du Standard DVB-S à a travers le temps, qui à permet à l'utilisateur de recevoir plus des chaines de télévisions avec une qualité d'image maximales en passant par : SD, HD, UHD, 4K et ainsi de suites. Nous allons simuler la transmission des trois standards DVB-S à l'aide du simulateur Simulink.

Simulink est un simulateur qui fait partie du logiciel Matlab, qui va nous aider à faire une modélisation des différentes chaines de transmission de chaque standard et comparer les résultats obtenus à travers plusieurs paramètres comme l'efficacité spectrale, le type de modulation et le nombre de bits reçu par chaque standard ainsi que le débit et le format des données.

3.2 Présentation du logiciel Matlab

3.2.1 Historique

MATLAB est une abréviation de Matrix LABORatory. Écrit à l'origine, en Fortran, par C. Moler, MATLAB était destiné à faciliter l'accès au logiciel matriciel développé dans les projets LINPACK et EISPACK. La version actuelle, écrite en C par MathWorks Inc., existe en version professionnelle et en version étudiant. Sa disponibilité est assurée sur plusieurs plates-formes : Sun, Bull, HP, IBM, compatibles PC (DOS, Unix ou Windows), Macintosh, iMac et plusieurs machines parallèles.

MATLAB est un environnement puissant, complet et facile à utiliser destiné au calcul scientifique. Il apporte aux ingénieurs, chercheurs et à tout scientifique un système interactif intégrant calcul numérique et visualisation. C'est un environnement performant, ouvert et programmable qui permet de remarquables gains de productivité et de créativité. MATLAB est un environnement complet, ouvert et extensible pour le calcul et la visualisation. Il dispose de plusieurs centaines (voire milliers, selon les versions et les modules optionnels autour du noyau Matlab) de fonctions mathématiques, scientifiques et techniques. L'approche matricielle de MATLAB permet de traiter les données sans aucune limitation de taille et de réaliser des calculs numériques et symboliques de façon fiable et rapide. Grâce aux fonctions graphiques de MATLAB, il devient très

facile de modifier interactivement les différents paramètres des graphiques pour les adapter selon nos souhaits. [31]

3.2.2 Pourquoi Matlab ?

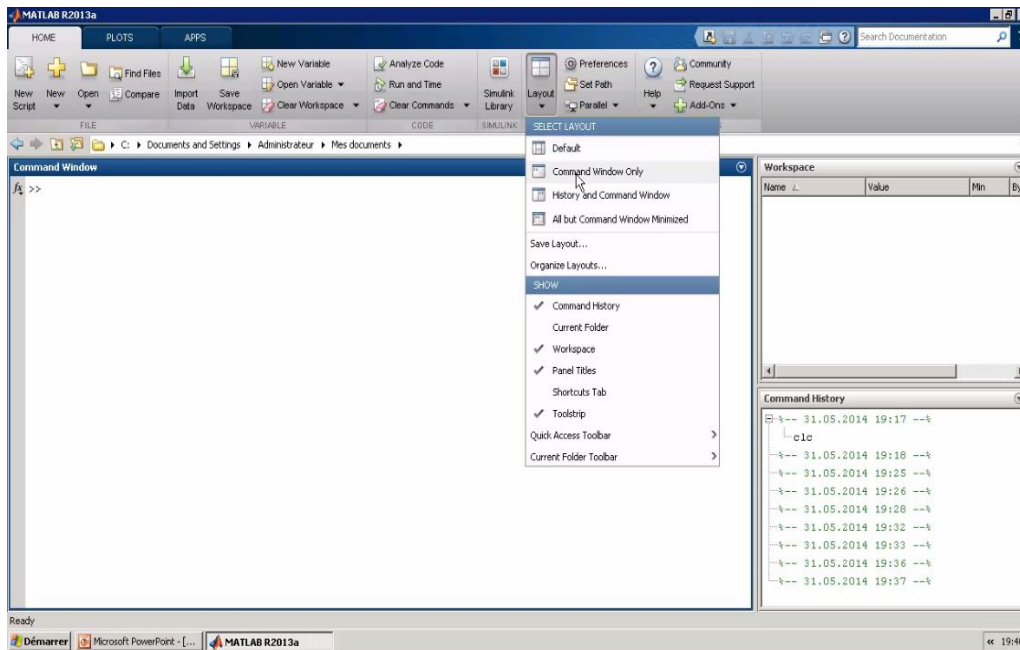


Figure 3.1 : Interface MATLAB

MATLAB permet le travail interactif soit en mode commande, soit en mode programmation ; tout en ayant toujours la possibilité de faire des visualisations graphiques. Considéré comme un des meilleurs langages de programmations (C ou Fortran), MATLAB possède les particularités suivantes par rapport à ces langages :

- La programmation facile.
- La continuité parmi les valeurs entières, réelles et complexes.
- La gamme étendue des nombres et leurs précisions.
- La bibliothèque mathématique très compréhensive.
- L’outil graphique qui inclut les fonctions d’interface graphique et les utilitaires.
- La possibilité de liaison avec les autres langages classiques de programmations (C ou Fortran).

[31]

3.2.3 Présentation Simulink

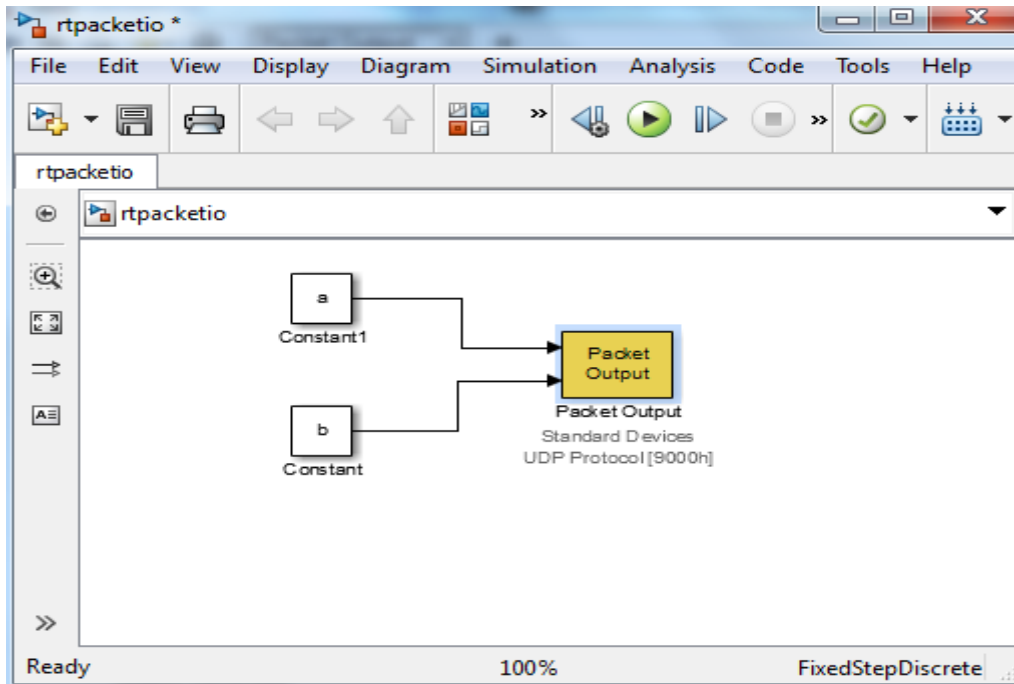


Figure 3.2 : Interface SIMULINK

SIMULINK est un environnement de diagramme fonctionnel destiné à la simulation multi domaine et à l'approche de conception par modélisation Model-Based Design. Il prend en charge la conception et la simulation au niveau système, la génération automatique de code, ainsi que le test et la vérification en continu des systèmes embarqués.

SIMULINK propose un éditeur graphique, un ensemble personnalisable de bibliothèques de blocs et des solveurs pour la modélisation et la simulation de systèmes dynamiques. Il est intégré à MATLAB, ce qui nous permet d'incorporer les algorithmes MATLAB dans les modèles et d'exporter le résultat des simulations vers MATLAB pour compléter les analyses. [31]

3.2.4 Les principales fonctionnalités de SIMULINK sont

- ✓ Éditeur graphique pour la création et la gestion de diagrammes fonctionnels hiérarchiques.
- ✓ Bibliothèques de blocs prédéfinis pour la modélisation de systèmes en temps continu ou en temps discret.
- ✓ Moteur de simulation avec des solveurs ODE à pas fixes ou variables.
- ✓ Scopes et affichage de données pour la consultation du résultat de la simulation.
- ✓ Outils de gestion de données et de projets pour les données et fichiers des modèles.
- ✓ Outils d'analyse de modèles pour l'affinage de l'architecture de modèle et l'augmentation de la vitesse de simulation.

- ✓ Bloc MATLAB Function pour l'import d'algorithmes MATLAB dans les modèles.
 - ✓ Outil Legacy Code Tool pour l'import rapide de code C et C++ existant dans les modèles.
- [32]

3.3 Modélisation et simulation du standard DVB-S

3.3.1 Réalisation de la chaîne de transmission DVB-S

A l'aide de la bibliothèque de Simulink on a réussi à compléter la modélisation de la chaîne de transmission de la norme DVB-S avec l'introduction, des paramètres correspondants. Dans la figure 3.3 on représente la chaîne de transmission réalisé à travers Simulink.

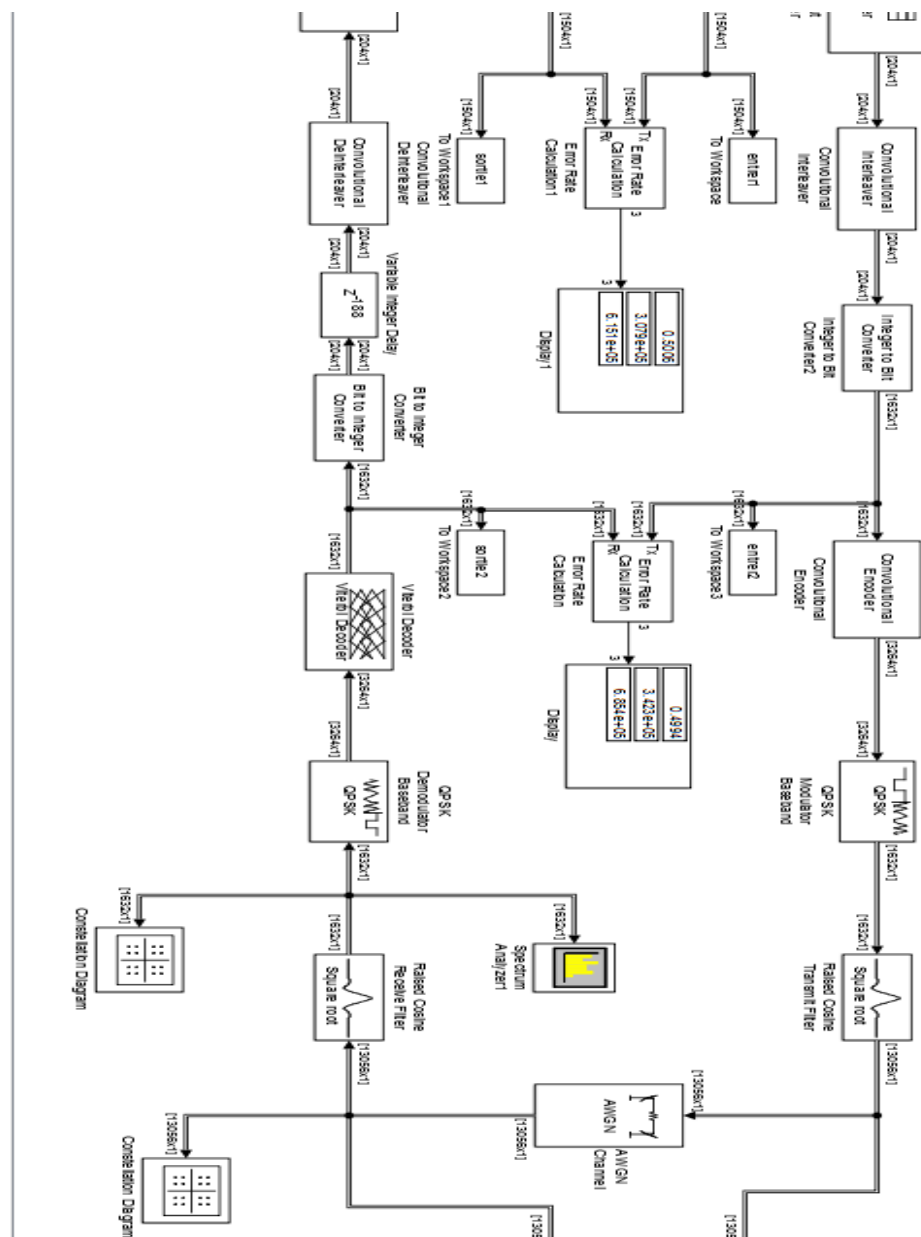


Figure 3.3 : Modélisation d'une chaîne de transmission DVB-S avec Simulink

Comme le montre la figure on a ajouté deux diagrammes de constellation : le premier est placé après le canal AWGN et l'autre est placé après le filtre.

On a aussi ajouté deux analyseurs de spectre l'un est après le canal AWGN et l'autre après le filtre. Notre but est d'observer l'impact de l'atténuation du signal causé par le canal AWGN sur notre signal de transmission, et le rôle de filtre (Raised Cosine Receive Filter) dans la stabilisation du signal.

3.3.2 Paramétrage de quelques blocs de la chaine de transmission DVB-S

Quelques blocs de notre chaine de transmission ont besoin d'un paramétrage spécifique, pour que la compilation fonctionne correctement. On a introduit 3.4 les paramétrages utilisés pour les blocs les plus importants dans notre chaine :

- **Reed Solomon Encoder**

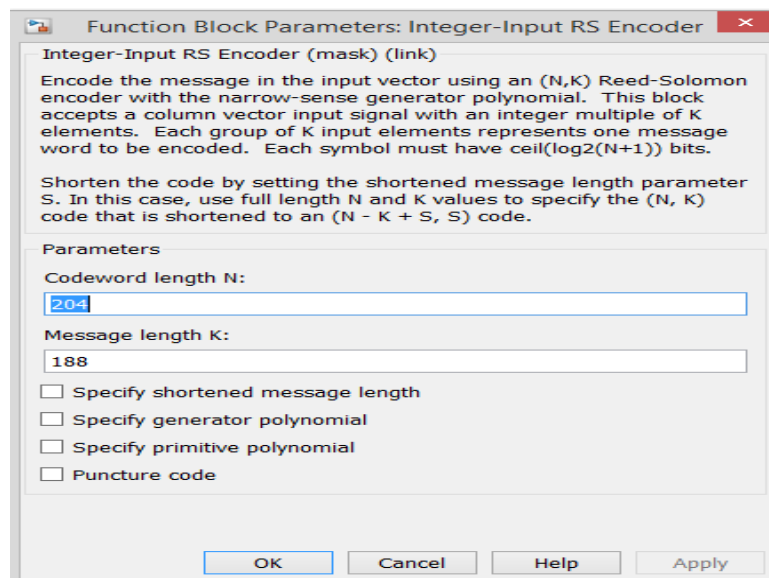


Figure 3.4 : Paramétrage du Reed Solomon Encoder

- **Viterbi Decoder**

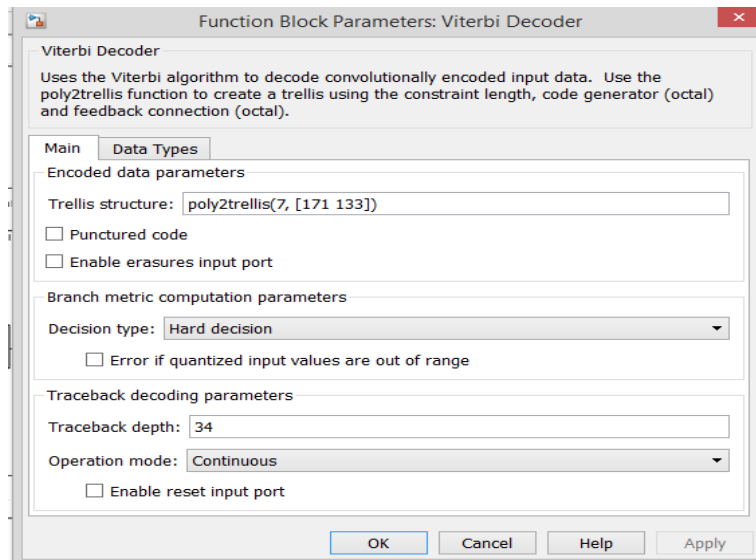


Figure 3.5 : Paramétrage du Viterbi Decoder

- **Raised Cosine Transmit Filter**

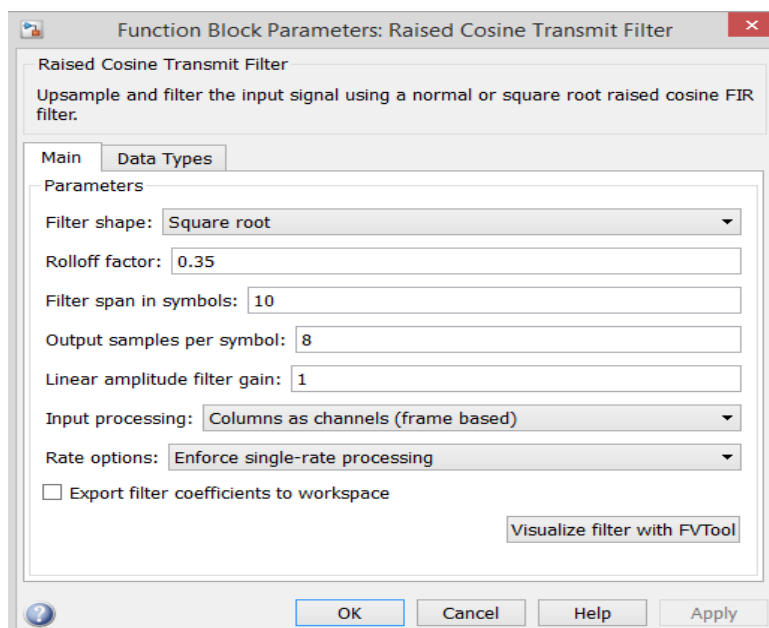


Figure 3.6 : Paramétrage du Raised Cosine Transmit Filter

3.3.3 Compilation et discussion des résultats

Après avoir réalisé notre chaîne de transmission du standard DVB-S, on a introduit les paramètres d'initialisation comme la longueur des paquets transporté (188 octets) et le roll off

(0.35). On a réussi à obtenir les résultats de transmission à travers les analyseurs de spectre et les diagrammes de constellation.

Dans les figures 3.7 et 3.8, 3.9, 3.10 on trouvera les résultats de la transmission d'un signal à travers la norme DVB-S :

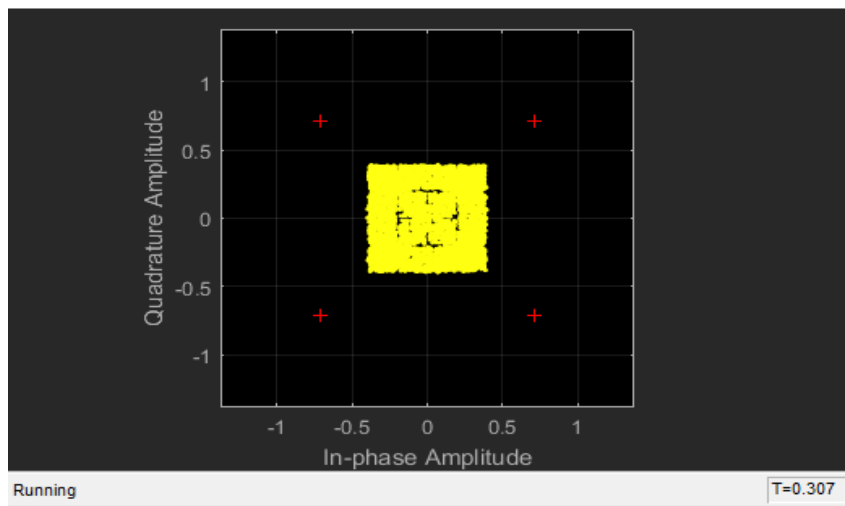


Figure 3.7 : Diagramme de constellation DVB-S avant filtre

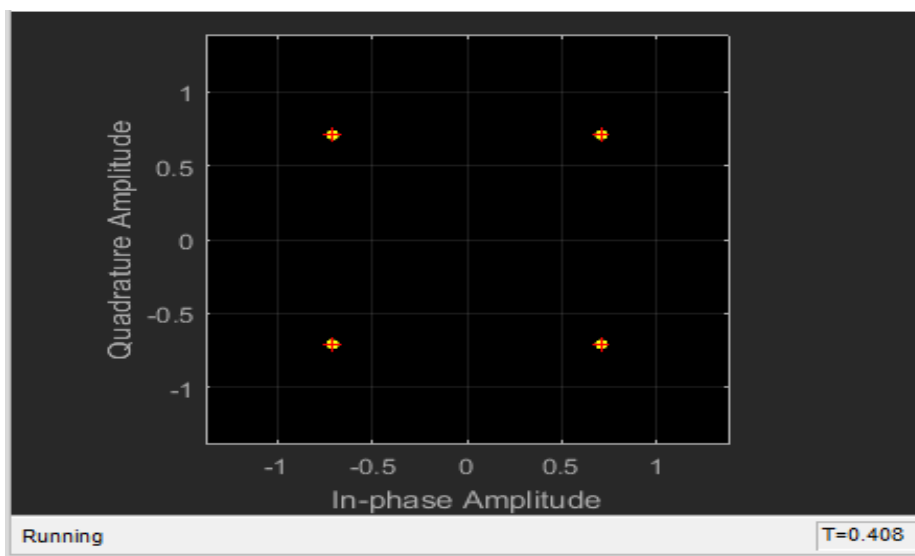


Figure 3.8 : Diagramme de constellation DVB-S après filtre

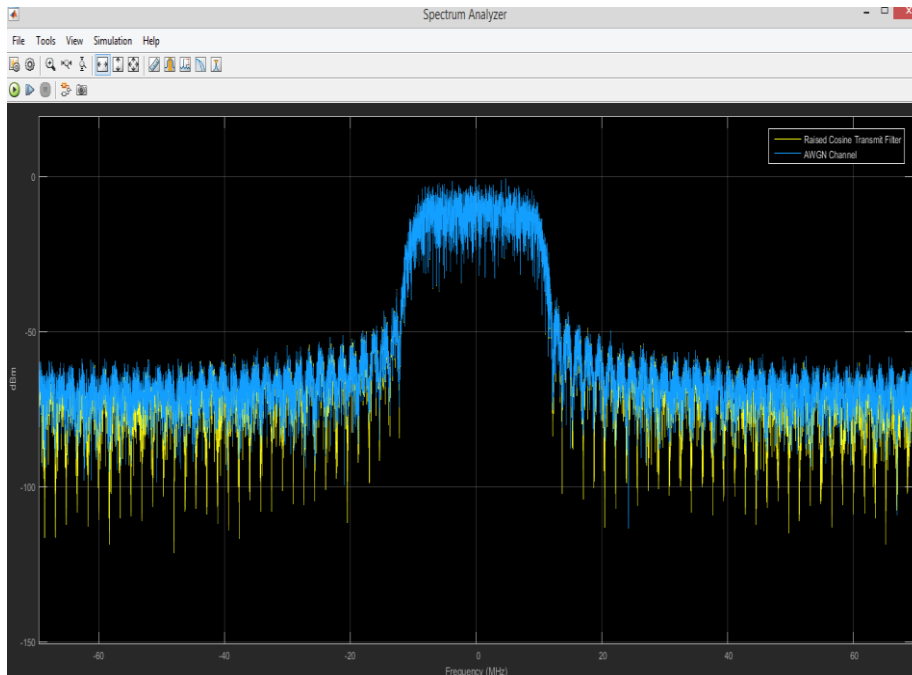


Figure 3.9 : Spectre du signal transmis avec DVB-S avant et après canal AWGN

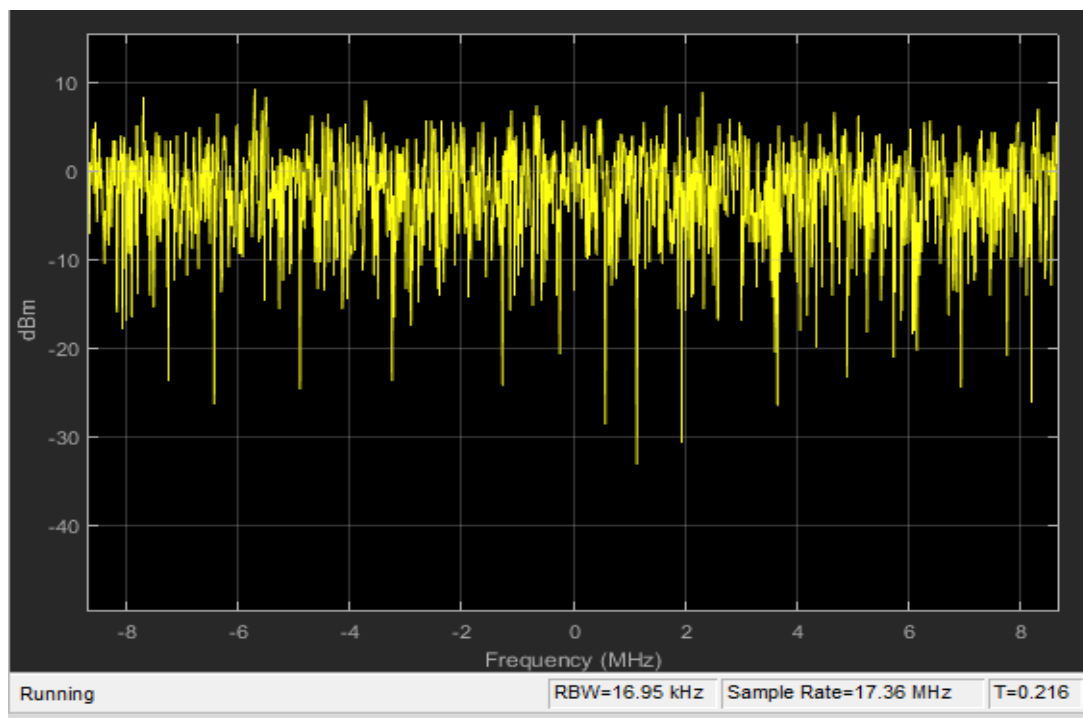


Figure 3.10 : Spectre du signal transmis avec DVB-S après filtre

Compilation et commentaires sur les résultats :

La simulation de la chaîne DVB-S nous permet de visualiser la constellation et le spectre avant et après le filtre. Cela va nous faciliter la comparaison pour bien voir l'incidence des paramètres qu'on va induire dans les blocks de la chaîne de transmission.

3.4 Modélisation et simulation du standard DVB-S2

3.4.1 Modélisation de la chaîne de transmission DVB-S2

Pour simuler la chaîne de transmission DVB-S nous avons utilisé le logiciel MATLAB-SIMULINK en introduisant les paramètres correspondants. La figure 3.11 montre la chaîne de transmission DVB-S2 :

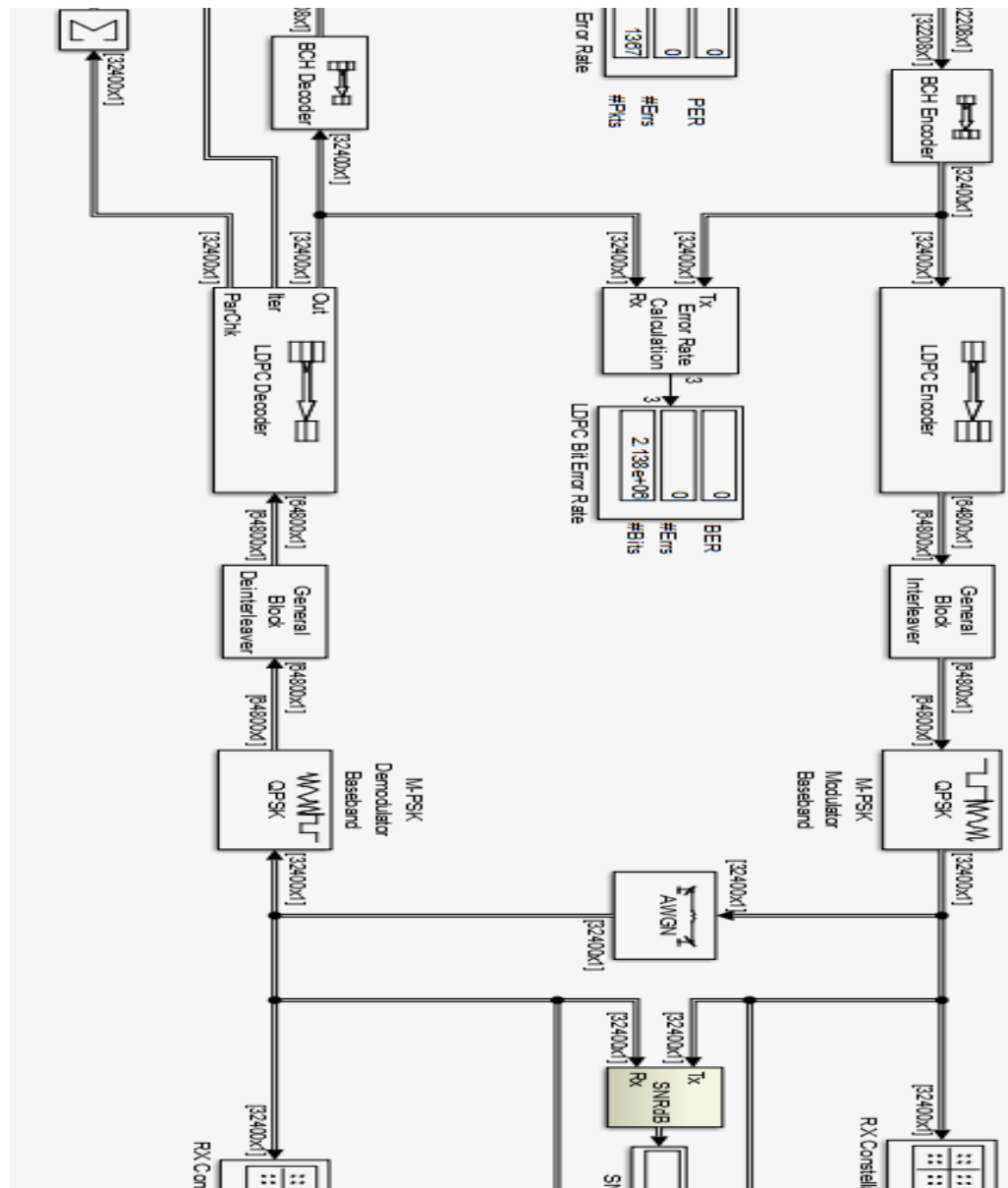


Figure 3.11 : Modélisation d'une chaîne de transmission DVB-S2 avec Simulink

Dans cette norme du DVB-S2 on va suivre les performances de la transmission du signal à travers le diagramme de constellation placé à la sortie du canal AWGN et le TEB affiché au niveau du bloc Display.

3.4.2 Paramétrage de quelques blocs de la chaîne de transmission DVB-S2

Quelques blocs de notre chaîne de transmission ont besoin d'un paramétrage spécifique, pour que la compilation fonctionne correctement. On a introduit 3.12 et 3.13 les paramètres utilisés pour les blocs les plus importants dans notre chaîne DVB-S2 :

- **BCH Encoder**

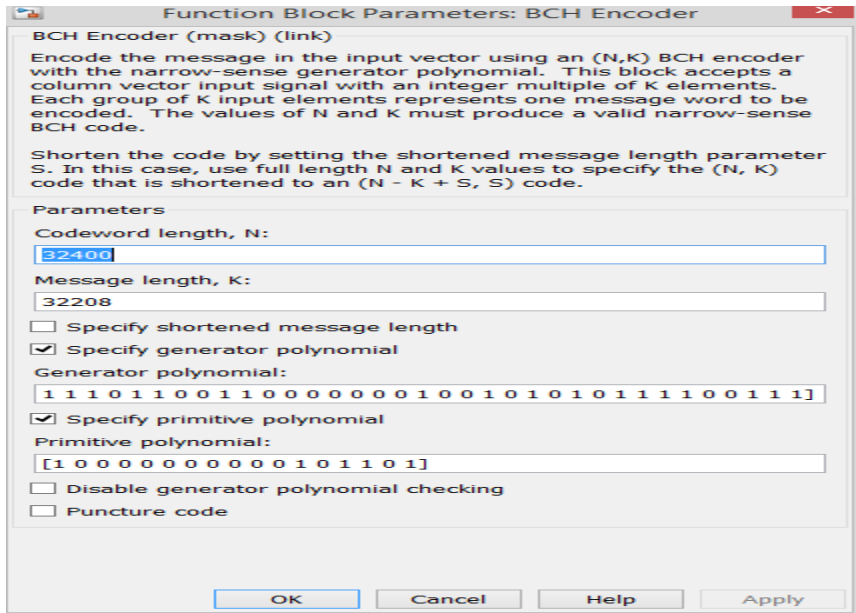


Figure 3.12 : Paramétrage du bloc BCH Encoder

- **LDPC Encoder**

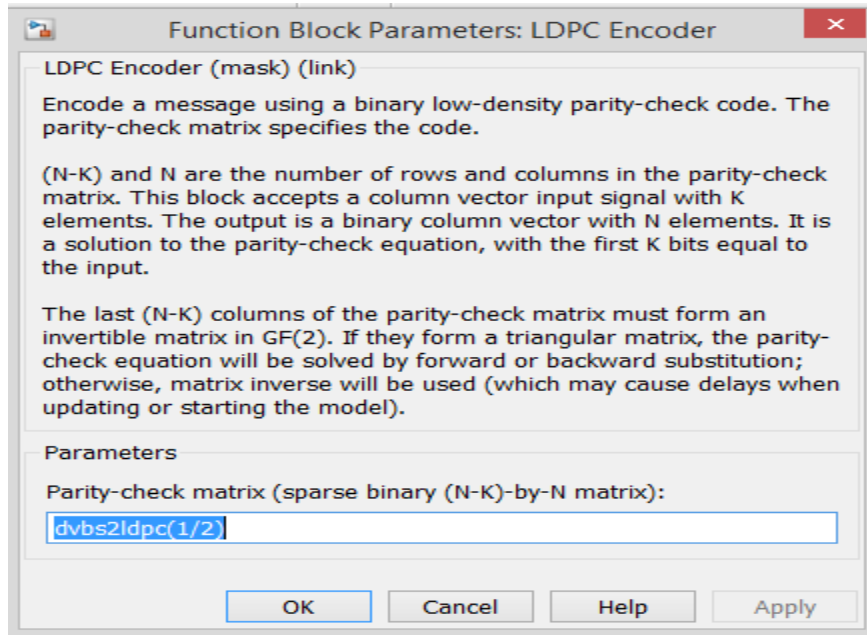


Figure 3.13 : Paramétrage du bloc LDPC Encoder

3.4.3 Compilation et discussion sur les résultats

La modélisation de la chaîne de transmission du Standard DVB-S2 a montré une différence majeure dans les blocs, les types de modulation et la valeur du SNR obtenu après la compilation. Nous avons choisi la QPSK car elle est commune au trois standards DVB-S. Dans les figures 3.14, et 3.15 on va montrer les résultats de la compilation d'une chaîne de transmission DVB-S2 avec une modulation QPSK au niveau de Simulink :

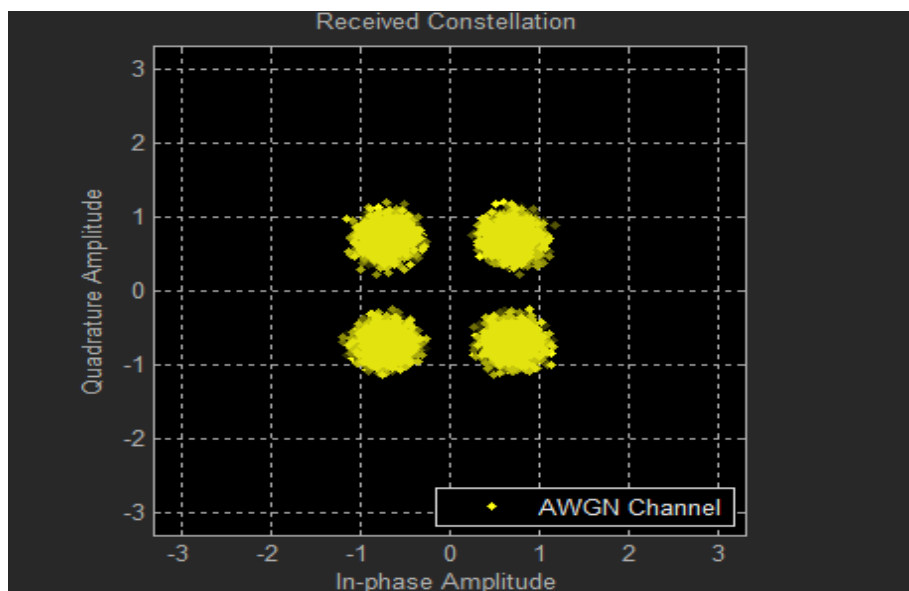


Figure 3.14 : Diagramme de constellation DVB-S2 après un canal AWGN

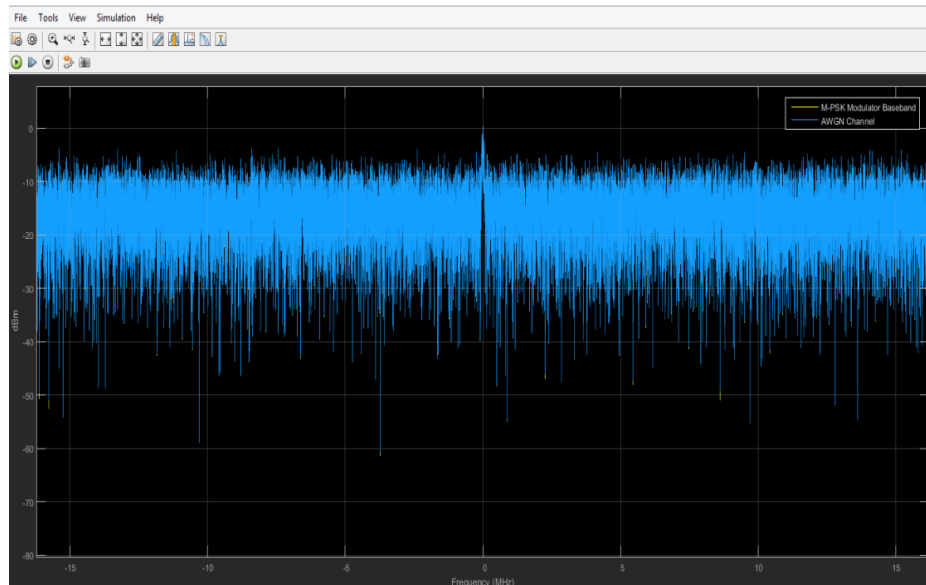


Figure 3.15 : Spectre du signal transmis avec DVB-S2

3.5 Modélisation et simulation du standard DVB-S2X

3.5.1 Modélisation de la chaine de transmission DVB-S2X

Après avoir réalisé les chaînes de transmission des standards DVB-S et DVB-S2 et la présentation des résultats obtenus, on a pu modéliser une chaîne de transmission du standard DVB-S2X qui représente une extension de la norme DVB-S2. La chaîne de transmission DVB-S2X est représentée dans la figure 3.16 :

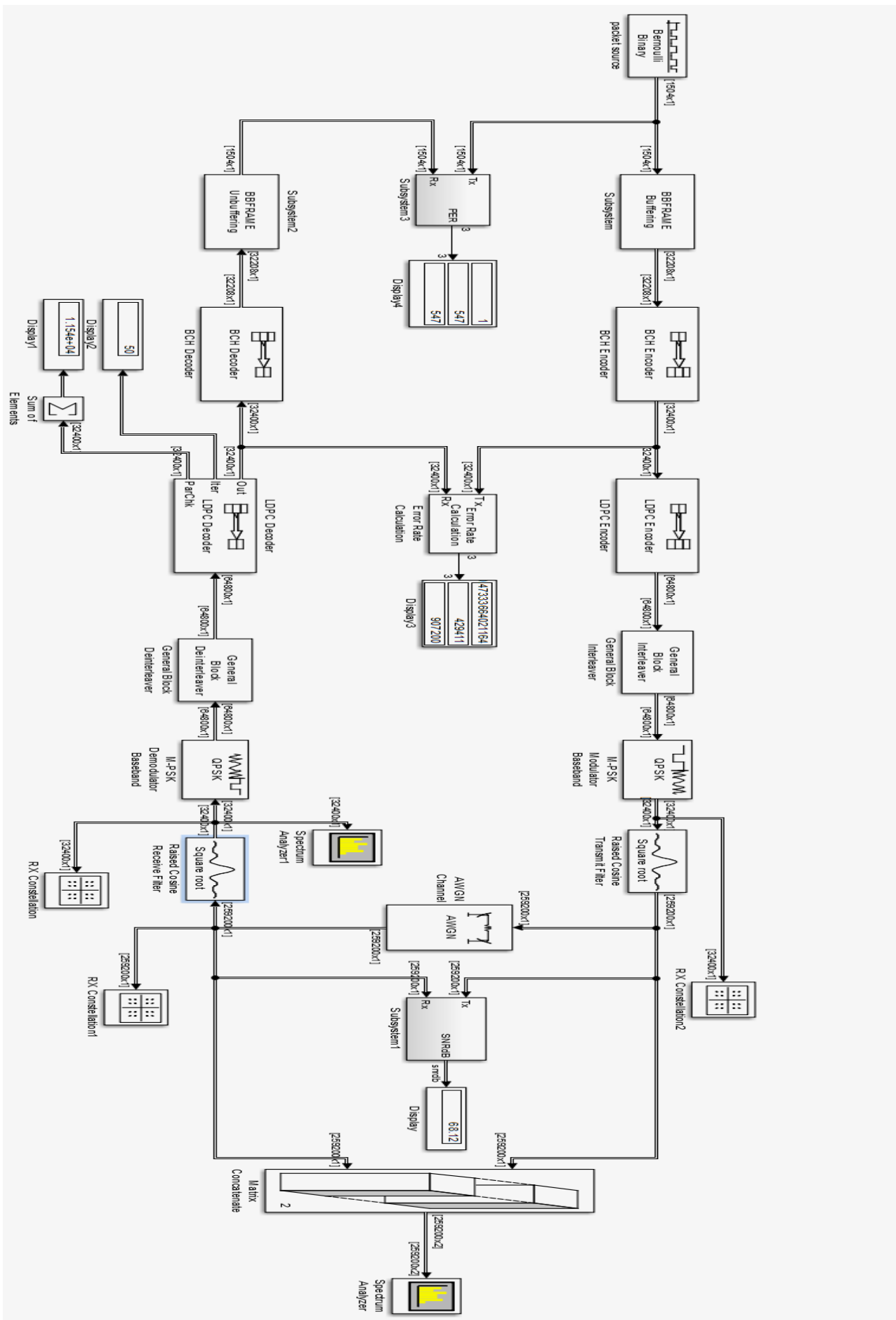


Figure 3.16 : Modélisation d'une chaîne de transmission DVB-S2X avec Simulink

Dans la chaîne de transmission DVB-S2X on a ajouté un filtre de transmission par rapport à la chaîne DVB-S. On a utilisé une modulation QPSK car on peut l'utiliser sur les trois standards DVB-S.

3.5.2 Compilation et discussion des résultats

Le DVB-S2X nous permette un gain plus efficace grâce aux nouveaux types de modulation (256A-PSK utilisé dans notre cas) et des pourcentages du roll off plus serrés, ce qui est présenté dans les figures 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 et 3.21 :

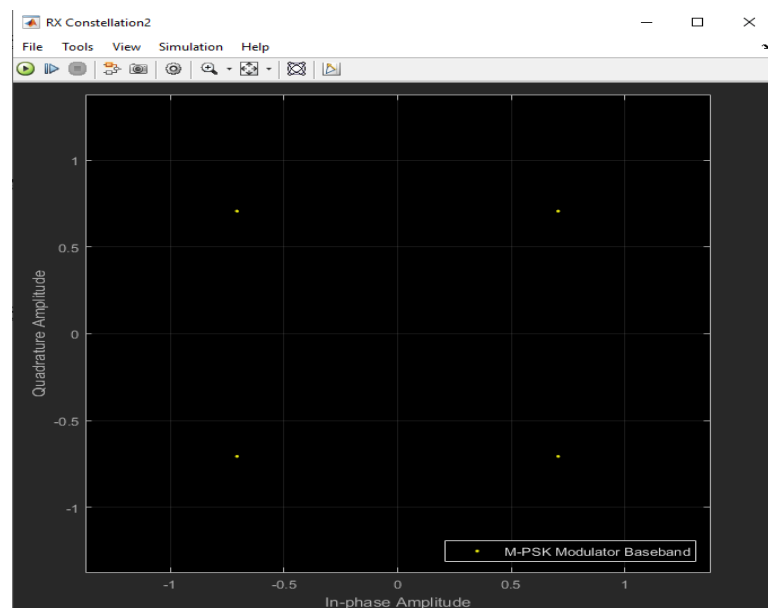


Figure 3.17 : Diagramme de constellation DVB-S2X avant canal AWGN.

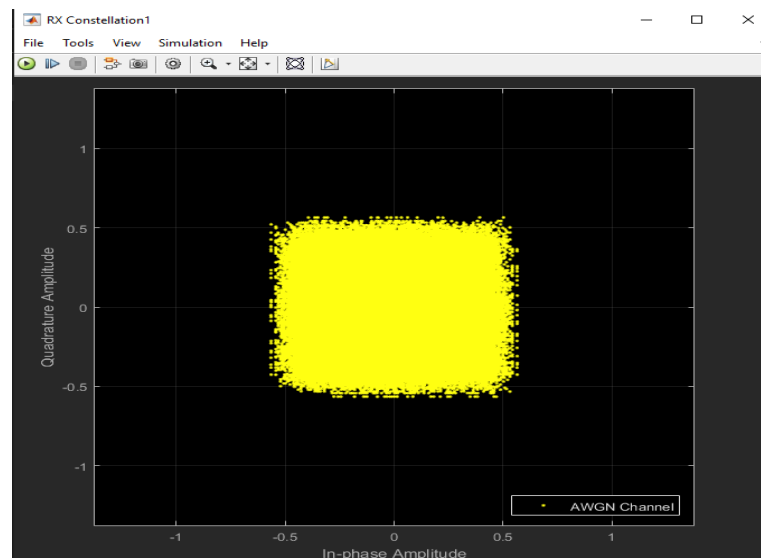


Figure 3.18 : Diagramme de constellation DVB-S2X après un canal AWGN

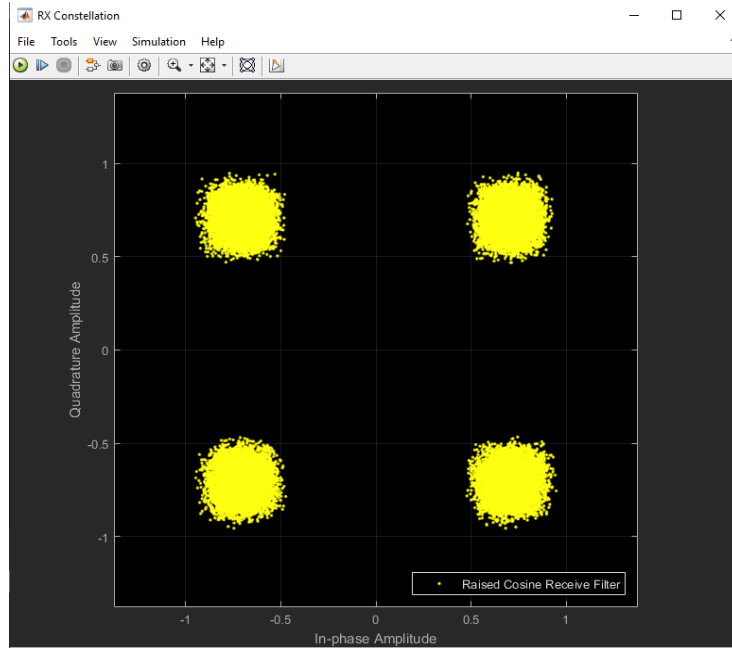


Figure 3.19 : Diagramme de constellation DVB-S2X après filtre

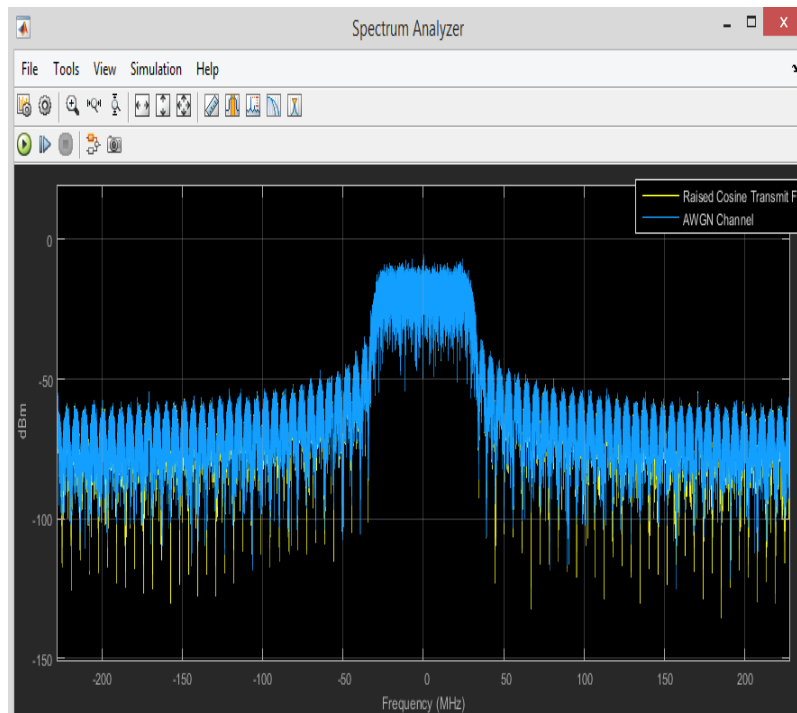


Figure 3.20 : Spectre du signal transmis avec DVB-S2X avant et après canal AWGN

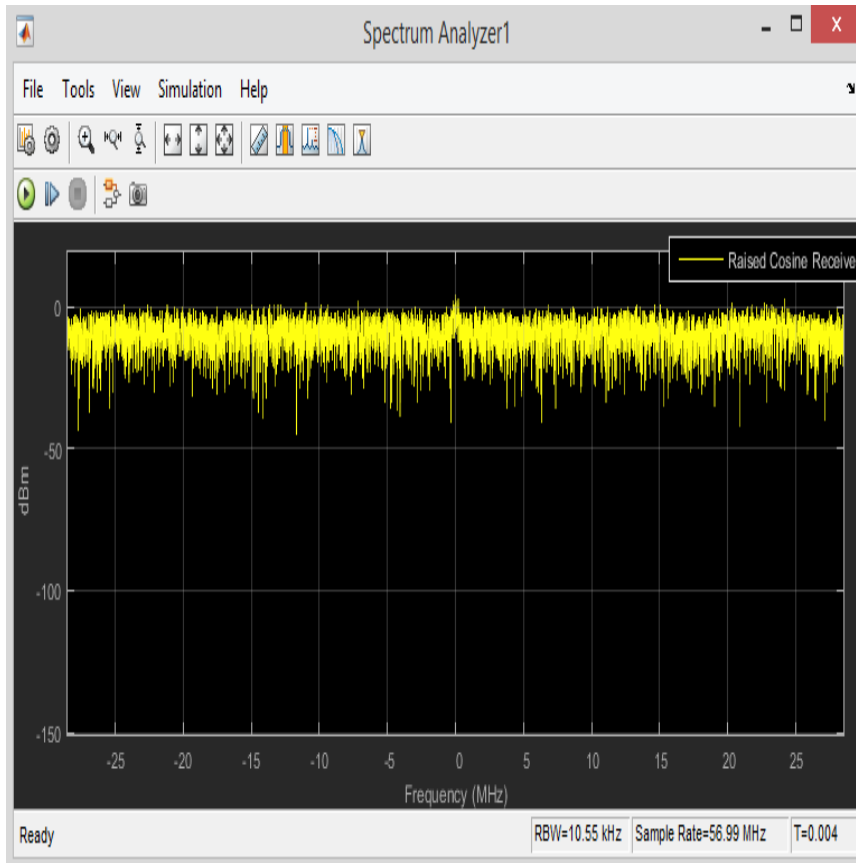


Figure 3.21 : Spectre du signal transmis avec DVB-S2X avant canal AWGN

Discussion des résultats :

La simulation du standard DVB-S2X nous permet d'observer le changement du spectre et des constellations du signal. On remarque qu'avant de passer par le canal AWGN l'information est claire sur les constellations, après l'introduction du bruit le signal se déforme. Mais après être passée par le filtre de réception, l'information se regroupe sur les quatre constellations

3.6 Etude comparative entre les standards DVB-S/S2/S2X

3.6.1 Rapport entre la qualité de transmission et le facteur Roll-off

Pour notre comparaison nous avons pris plusieurs valeurs de roll-off qui sont présentés dans les tableaux 3.1 et 3.2 en fixant la valeur du SNR à 20 dB.

Pour chaque valeur nous avons simulé le standard DVB-S et DVB-S2X pour observer l'effet du facteur roll-off sur chacun de ces résultats (constellation et spectres) en prélevant les valeurs de TEB :

Dans cette partie de comparaison nous n'avons pas pris en compte le standard DVB-S2, car sa chaîne de transmission ne contient pas un bloc de filtre de transmission qui nous permet d'induire le facteur du roll-off.

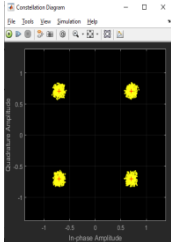
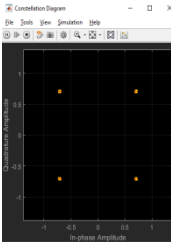
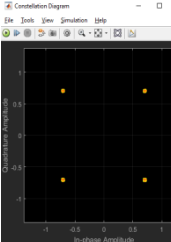
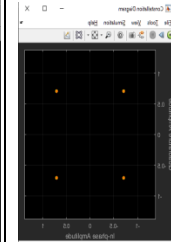
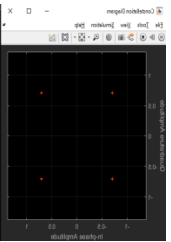
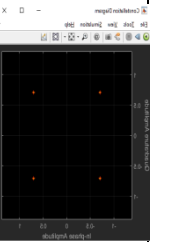
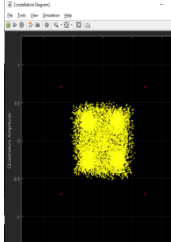
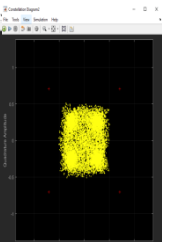
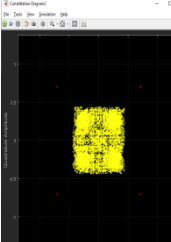
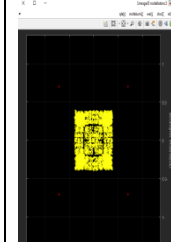
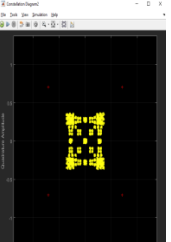
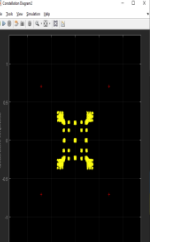
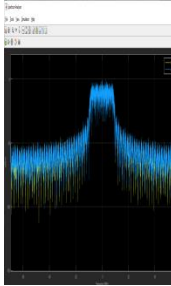
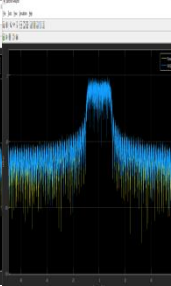
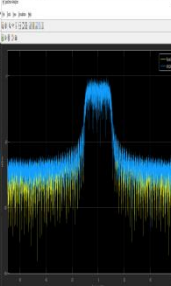
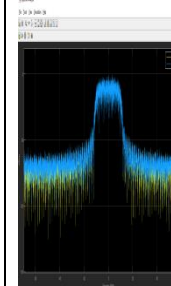
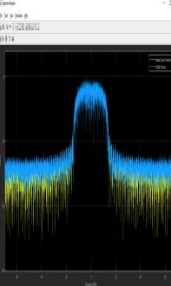
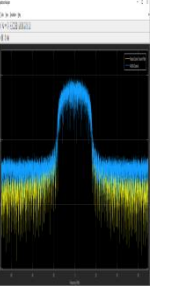
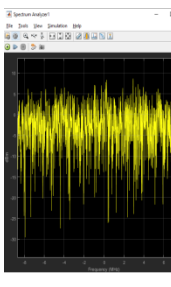
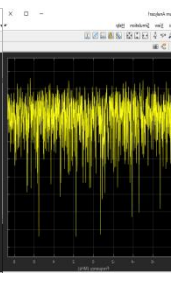
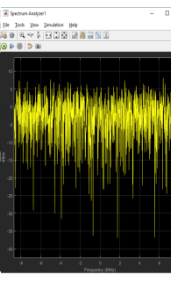
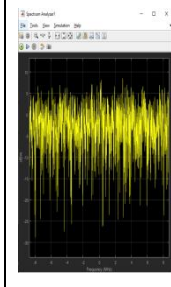
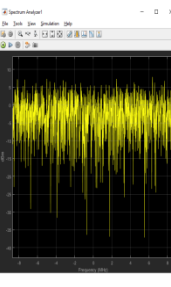
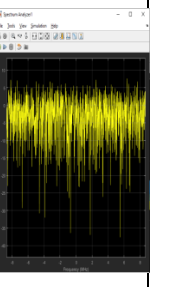
| Roll-off | 0.10 | 0.15 | 0.25 | 0.35 | 0.60 | 0.90 |
|---|---|---|---|--|---|---|
| TEB _{DVB-S} | 0.499705 | 0.499715 | 0.499732 | 0.499735 | 0.499743 | 0.499759 |
| Constellation après filtre De réception |  |  |  |  |  |  |
| Constellation après canal AWGN |  |  |  |  |  |  |
| Spectre avant et après AWGN |  |  |  |  |  |  |
| Spectre après filtre |  |  |  |  |  |  |

Tableau 3.1 : Résultats de compilation DVB-S avec changement du facteur Roll-off

| Roll-off | 0.10 | 0.15 | 0.25 | 0.35 | 0.60 | 0.90 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| TEB DVB-S2X | 0.4739 | 0.4743 | 0.4745 | 0.4848 | 0.4850 | 0.4852 |
| Constellation avant canal AWGN | | | | | | |
| Constellation après canal AWGN | | | | | | |
| Constellation après filtre | | | | | | |
| Spectre avant et après AWGN | | | | | | |
| Spectre après filtre | | | | | | |

Tableau 3.2 : Résultats de compilation DVB-S2X avec changement du facteur Roll-off

- **Commentaire sur les résultats**

- **Standard DVB-S :** on remarque clairement qu'à chaque fois qu'on augmente le facteur roll-off le taux d'erreur binaire TEB augmente. Aussi plus on augmente le roll-off plus la qualité de notre spectre augmente jusqu'à la valeur du roll-off=0.35. Après cette valeur on remarque la perte de notre signal à cause du pourcentage élevé d'atténuation du signal.
- **Standard DVB-S2X :** on remarque pratiquement la même chose par contre, 100% des valeurs du TEB de ce standard sont moins élevé par rapport au DVB-S.

3.6.2 Rapport entre la qualité de transmission et le SNR

Pour notre comparaison nous avons pris différentes valeurs du SNR qui sont présentés dans les tableaux 3.3, 3.4 et 3.5 en fixant le roll off du DVB-S à 0.35 et 0.15 pour DVB-S2X.

Ces valeurs du SNR sont induites dans le bloc AWGN CHANNEL.

Pour chaque valeur nous avons simulé le standard DVB-S, DVB-S2 et DVB-S2X pour observer l'effet du SNR sur chacun de ces résultats (constellation et spectres) en prélevant les valeurs de TEB :

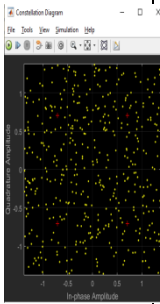
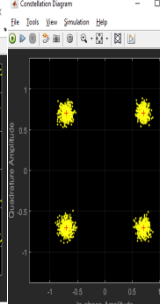
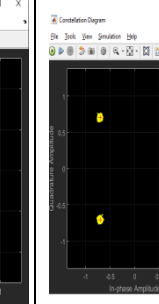
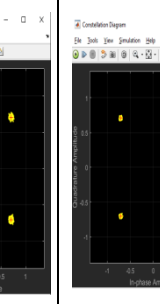

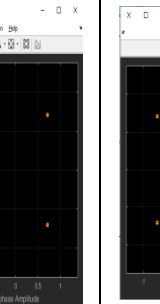
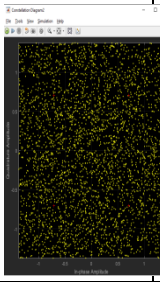
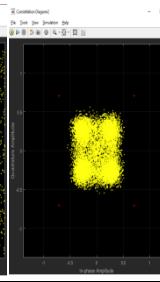
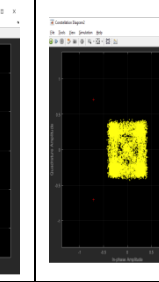
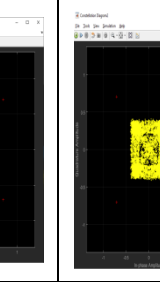
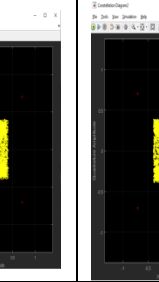
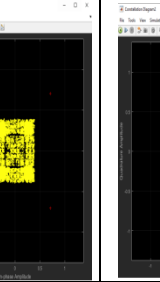
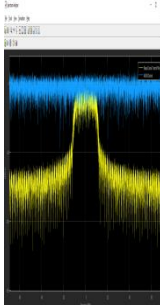
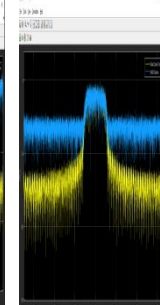
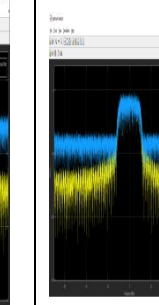
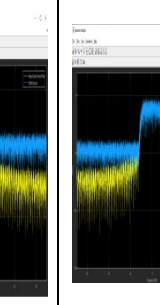
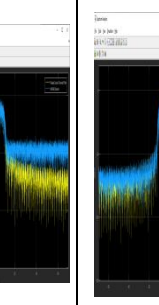
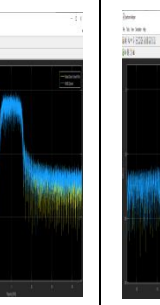
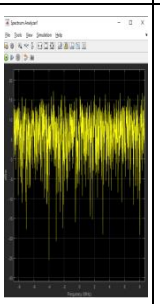
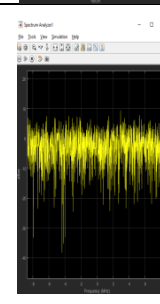
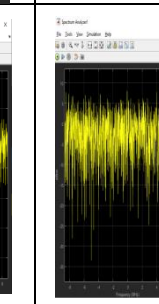
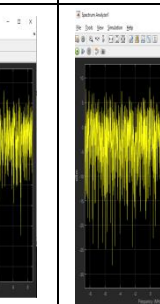
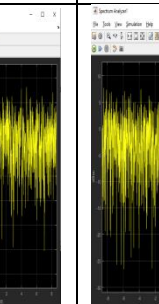
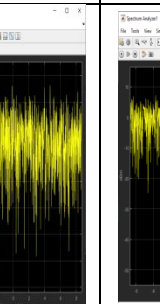
| SNR | -50 | -20 | -10 | 5 | 20 | 50 |
|-----------------------------|---|---|---|--|---|---|
| TEB _{DVB-S} | 0.5090 | 0.5083 | 0.5077 | 0.5067 | 0.5053 | 0.5051 |
| Constellation après filtre |  |  |  |  |  |  |
| Constellation après AWGN |  |  |  |  |  |  |
| Spectre avant et après AWGN |  |  |  |  |  |  |
| Spectre après filtre |  |  |  |  |  |  |

Tableau 3.3 : Résultats de compilation DVB-S avec changement du facteur SNR

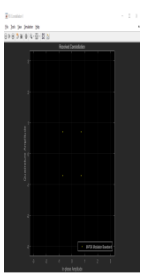
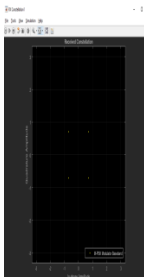

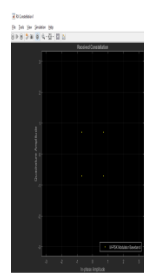
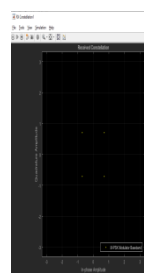

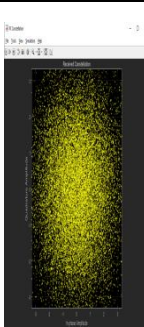
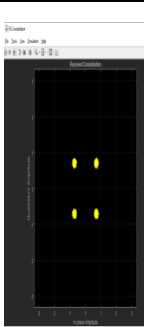
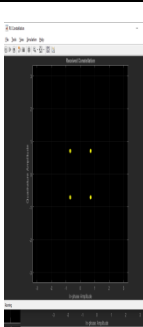
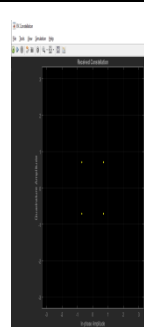
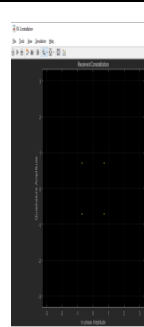

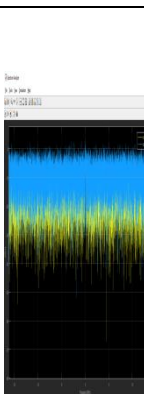
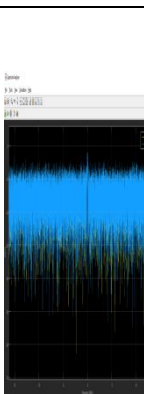
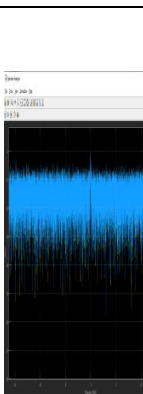
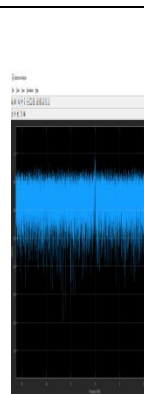
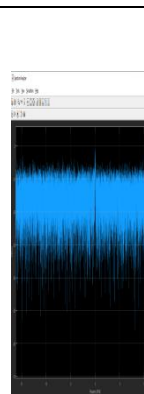
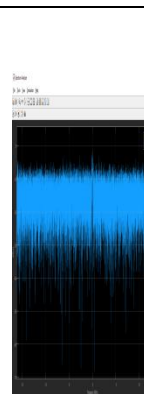
| SNR | -50 | -20 | -10 | 5 | 20 | 50 |
|-----------------------------------|--|--|--|---|--|--|
| TEB _{DVB-S2} | 0.3222 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Constellation avant AWGN |  |  |  |  |  |  |
| Constellation après AWGN |  |  |  |  |  |  |
| Spectre avant et après canal AWGN |  |  |  |  |  |  |

Tableau 3.4 : Résultats de compilation DVB-S2 avec changement facteur SNR

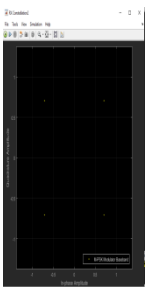
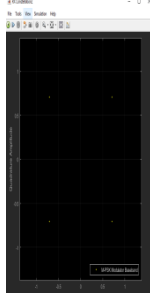
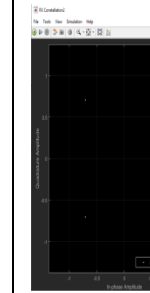
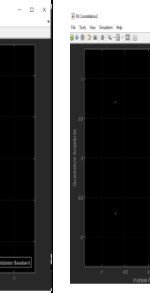
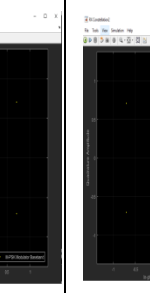
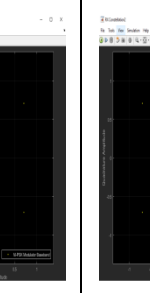

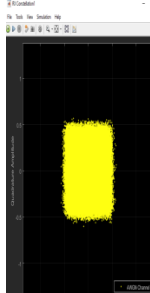
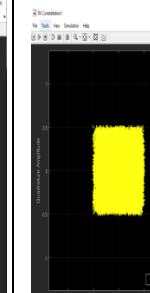
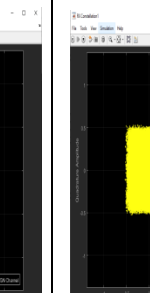
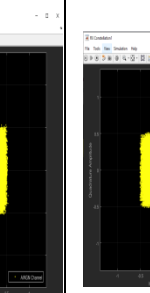
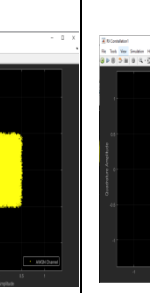
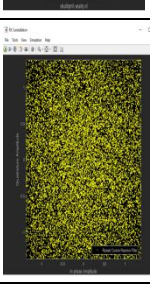
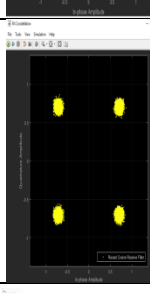
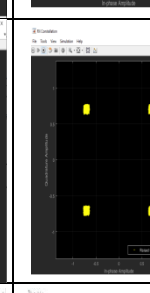
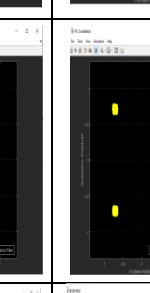
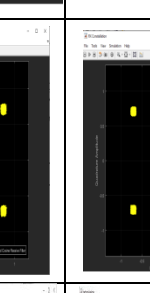
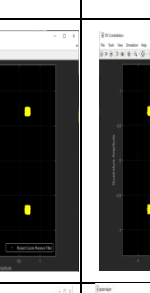
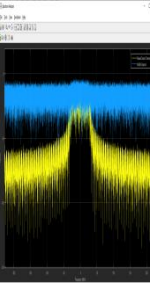
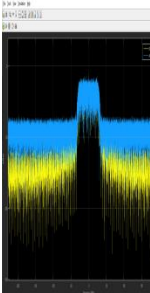
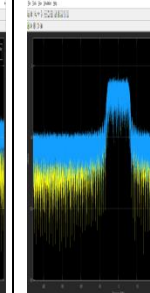
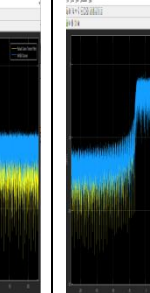
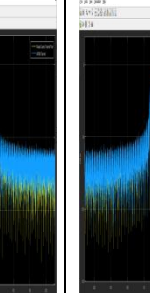
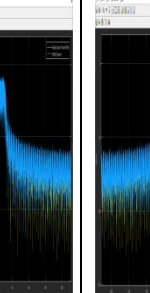
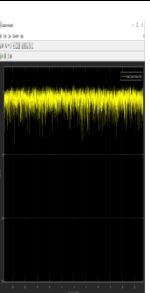
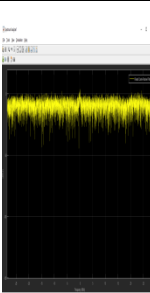

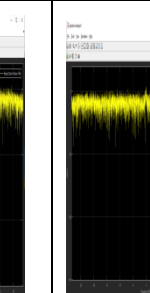
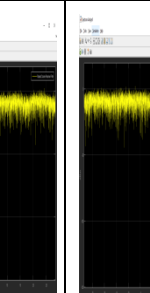
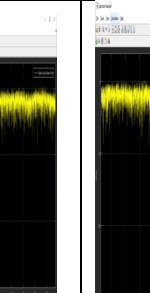
| SNR | -50 | -20 | -10 | 5 | 20 | 50 |
|--------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| TEB _{DVB-S2X} | 0.4849 | 0.4742 | 0.4740 | 0.4737 | 0.4732 | 0.4730 |
| Constellation avant canal AWGN |  |  |  |  |  |  |
| Constellation après canal AWGN |  |  |  |  |  |  |
| Constellation après filtre |  |  |  |  |  |  |
| Spectre avant et après AWGN |  |  |  |  |  |  |
| Spectre après filtre |  |  |  |  |  |  |

Tableau 3.5 : Résultats de compilation DVB-S2X avec changement du facteur SNR

Discussion des résultats :

- ✓ On remarque une diminution dans la valeur du TEB à chaque fois que le SNR augmente pour chaque standard en excluant le standard DVB-S2 parce qu'il ne contient pas le bloc du filtre où on fixe le facteur roll-off.
- ✓ On remarque aussi les valeurs du TEB du standard DVB-S2X sont moins élevées que ceux du DVB-S.

3.6.3 Discussion des résultats graphiquement

- ✓ Après avoir représenté les résultats des simulations sous forme de tableau. Dans cette partie on va présenter les résultats obtenus graphiquement dans les figures 3.22 et 3.23 :

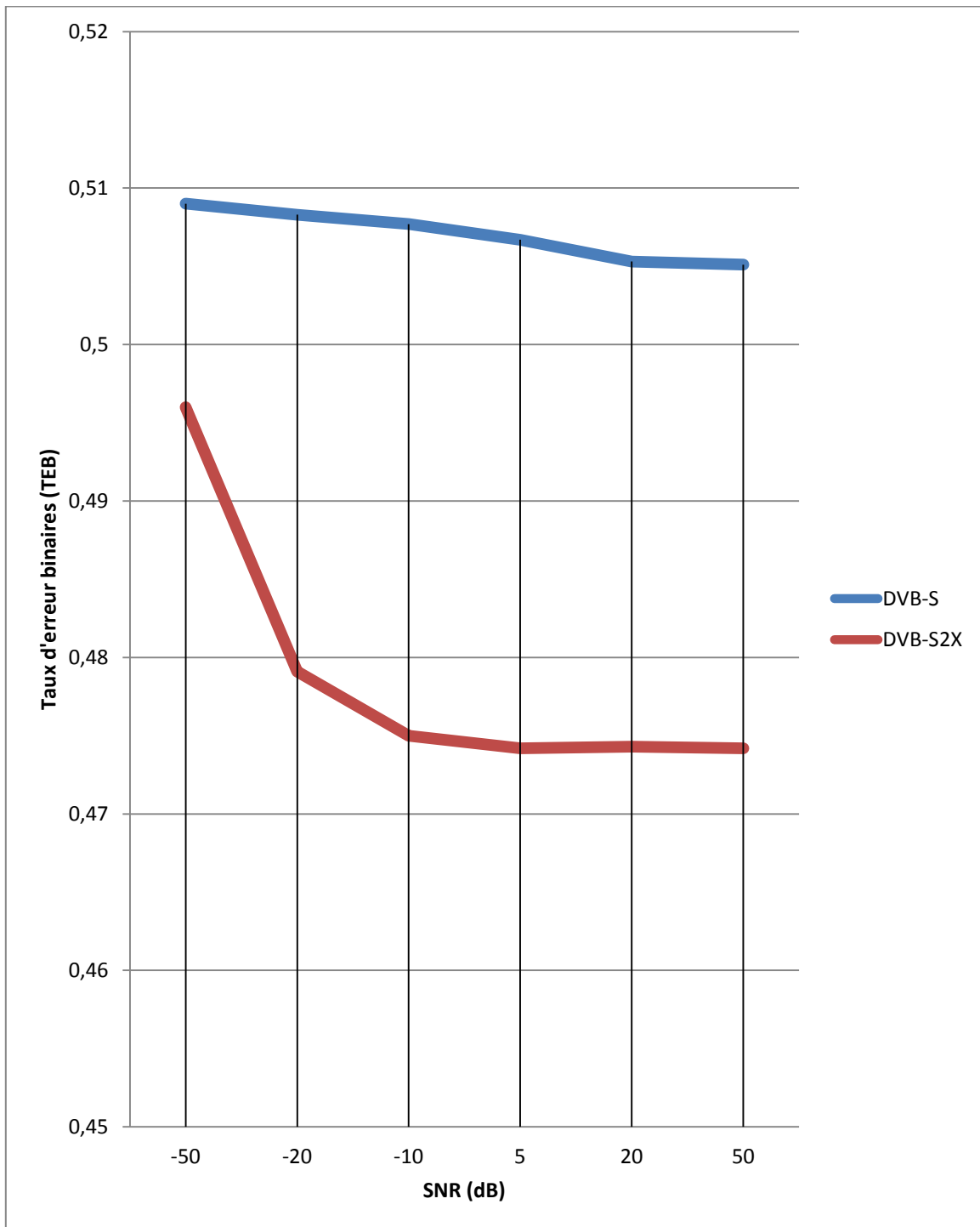


Figure 3.22 : Changement de TEB en fonction du SNR dans les standard DVB-S/S2/S2X

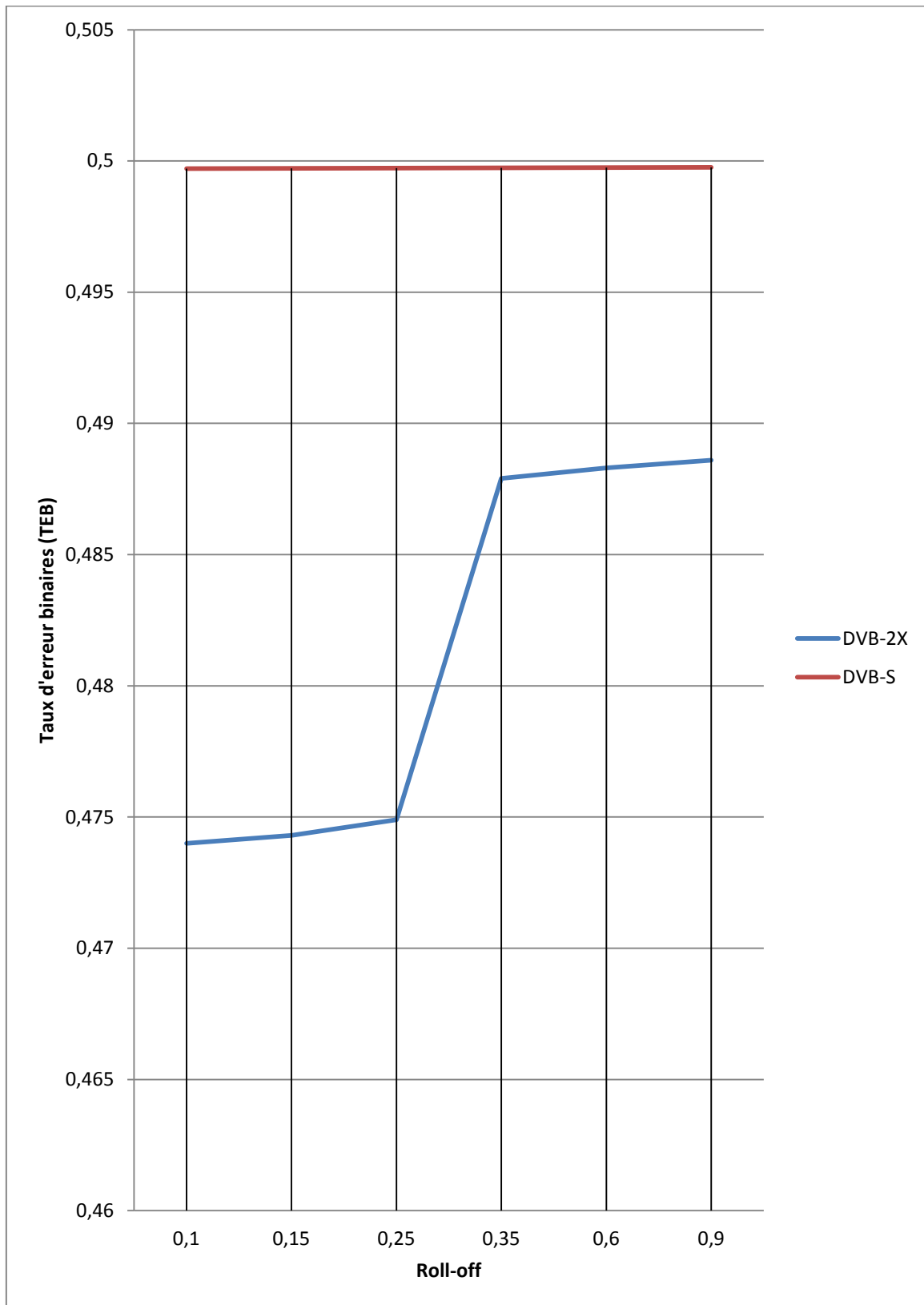


Figure 3.23 : Changement de TEB en fonction du Roll-off dans les standard DVB-S/S2X

Dans la figure 3.22 on voit clairement que le TEB diminue en augmentant le SNR. On observe aussi que les valeurs du TEB dans le DVB-S sont supérieures à 100 % à ceux du DVB-S2X.

Dans la figure 3.23 on remarque que le TEB augmente en élevant la valeur du roll-off. On remarque que le TEB du DVB-S est plus élevé à 100% que celui du DVB-S2.

3.7 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons simulé les trois standards DVB satellite sous Simulink. Cela a été important pour déterminer les performances de ces transmissions .on a pu varier les deux facteurs roll-off et SNR pour voir leur incidence sur le signal puis comparer les trois standards.

On a déduit que la transmission sous le standard DVB-S2X est la plus performante, ce qui valide notre simulation.

Conclusion Générale et perspective :

Le travail effectué dans ce mémoire qui est la comparaison entre les trois standards DVB-S nous a permis d'approfondir nos connaissances dans un domaine qui est toujours à l'ordre du jour et en constante évolution dans les transmissions sans fil.

Donc, à la fin de notre projet de fin d'étude, nous avons conclu plusieurs résultats par rapport à l'objectif tracé dans notre introduction général qui est l'étude et la comparaison des performances des trois normes du DVB Satellitaire qui est la norme utilisée dans la diffusion des chaînes de Télévision.

Dans le premier chapitre qui est la transmission satellitaire en général, nous avons présenté les principales caractéristiques et phénomènes qui entrent dans la conception des satellites et les communications satellitaires, pour à la fin conclure l'intervalle d'utilisation de ces transmissions et leur fiabilité ainsi que le matériel et les étapes nécessaires de cette transmission et comment ce type de transmission à jouer un rôle très important dans le développement de la diffusion de la vidéo par satellite.

Ainsi, dans notre deuxième chapitre nous avons entamé notre sujet à la base qui est la DVB Satellitaire avec ses trois standards. Nous avons observé les différences entre eux par rapport à leurs efficacités spectrales dans les transmissions et les principaux éléments qui constituent leurs chaînes de transmissions avec une explication détaillée de chaque élément et leur fonctionnement.

Enfin, dans notre troisième chapitre nous avons simulé à l'aide de MATLAB SIMULINK les trois chaînes de transmission DVB-S en variant les valeurs du SNR d'un côté et du Roll-off de l'autre en gardant le même type de modulation. La simulation a été validée et on a pu comparer les trois standards pour en conclure après l'observation des résultats des constellations, des spectres du signal et des taux d'erreurs binaires que le standard DVB-S2X est le plus performant en terme de qualité du signal à la réception, qualité d'image capturée et les nombres de chaînes qui peuvent être reçues au niveau du transpondeur par rapport aux normes antérieures DVB-S et DVB-S2.

Néanmoins, les résultats de ce modeste travail constituent les bases d'un travail à poursuivre et à améliorer pour une étude beaucoup plus approfondie qui pourra faire l'objet d'une thèse de doctorat.

Ainsi, les perspectives futures sont de faire une étude comparative en variant les types de modulations pour chaque standard DVB –S et observer les résultats sur l'efficacité spectrale et le TEB soit sur une simulation comme c'était le cas dans notre projet ou une étude pratique sur des équipements réels

Bibliographie :

[1] **Remmide Ayoub & Bouregaa Boubaker**, Configuration et paramétrage d'une station terrienne DVB-S/DVB-S2 pour la distribution TV et Radio, Mémoires de fin d'études Master-USDB-2017.

[9] **Martial Coulon**, SYSTEMES DE TELECOMMUNICATIONS, ENSEEIHT - Télécom-Réseaux - Electronique - SCR Année 2007-2008.

[11] **DESMOULIERE Jean-Baptiste et CHEVILLARD Christophe**, La modulation de signaux analogiques et la boucle à verrouillage de phase dans les télécommunications, 2004.

[12] **Matthew Clark**, ITUNews Magazine : No.2, 2019.

[21] **Rabah Abdelhamid & Sid Ali Adghar**, Etude et réalisation d'une chaîne de la diffusion par satellite en utilisant la norme DVB-S et DVB-S2 : cas du bouquet MCPC de TDA vers le satellite Eutelsat 7 W A, Mémoire fin d'études- UMMTO-2017.

[24] **Giacomo Da Broi**, Performance evaluation of DVB-S2X over satellite channels, Projet fin d'études d'ingénieur, Università degli Studi di Padova-2015.

[25] **Daniele Airola Gnota & Andrea Bertella & Fulvio Bonacossa & Vittoria Mignone & Bruno Sacco & Mirto Tabone & Michele Visintin**, DVB-S2X in Onda da Torino, 2015.

[26] **Pradman P. Kau**, UHD Transmission with DVB-S2X, APSCC NEWS Q4 2015.

Webographie :

[2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Satellite_artificiel, 23-03-2020

[3] <http://www.caminteresse.fr/>, 01-04-2020

[4] http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2009/Les_Reseaux_Satellites/index.html, 06-04-2020

[5] NASA, <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-satellite-58.html>, 21-03-2020

[7] https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4419-7671-0_13, 04-04-2020

[8] <https://les-satellites.jimdofree.com/les-satellites-artificiels/types-de-satellites/>, 22-04-2020

- [10] <https://web.maths.unsw.edu.au/~lafaye/CCM/transmission/transmode.htm> PDF, 29-04-2020
- [13] http://mecaspa.cannes-aero-patrimoine.net/COURS_SA/GEOSTAT/geostat.html, 05-05-2020
- [14] <https://www.bac-s.net/document/physique-chimie/chaine-de-transmission-dinformations-physique-chimie-terminale-s-5147.html>, 03-06-2020
- [15] <https://www.telesatellite.com/lexique/dvb/> 04-06-2020
- [16] <https://www.exoco-lmd.com/television-numerique/cours-comment-fonctionne-la-television-numerique/?action=dlattach;attach=933>, 02-07-2020
- [17] <https://dvb.org/about/history/>, 15-07-2020
- [18] <http://www.digitaltvnews.net/?p=24285>, 16-07-2020
- [19] https://www.assistancescolaire.com/eleve/1re/enseignement-scientifique/reviser-le-cours/1_sci_30, 16-07-2020
- [20] <https://mongosukulu.com/index.php/contenu/informatique-et-reseaux/telecommunications/702-numerisation-dun-signal-analogique>, 26-07-2020
- [22] <https://www.academia.edu/>, 28-07-2020
- [23] <http://read.pudn.com/downloads163/doc/fileformat/744794/dvb-s2.pdf>, 02-09-2020
- [27] https://www.researchgate.net/figure/Hybrid-wireless-network-topologies-with-a-satellite-overlay-for-military-operations-and_fig1_277183457, 04-09-2020
- [28] https://www.researchgate.net/figure/Hybrid-wireless-network-topologies-with-a-satellite-overlay-for-military-operations-and_fig1_27718345707-09-2020
- [29] https://fr.wikipedia.org/wiki/Modulation_d%27amplitude, 15-09-2020
- [30] <https://www.tperadio.wikeo.fr/la-modulation-de-frequence.html>, 17-09-2020
- [31] <https://www.iro.umontreal.ca/~mignotte/IFT2425/Matlab.pdf>, 17-09-2020
- [32] <https://matlabpourtous.com/presentation/presentation-de-simulink/>, 18-09-2020

Annexes

Annexe A:

Dans cette partie on va voir en détails les trois principaux blocs de la chaîne de transmission du standard DVB-S, ainsi que leurs fonctionnements et applications :

1. Le Codeur Reed Solomon:

Le codeurs Reed – Solomon est un groupe de codes de correction d'erreur qui ont été introduits par Irving S. Reed et Gustave Solomon en 1960. Ils ont de nombreuses applications, dont les plus importantes incluent les technologies grand public telles que les CD, les DVD, les disques Blu-ray, les codes QR, les technologies de transmission de données telles que DSL et WiMAX, les systèmes de diffusion tels que les communications par satellite, DVB et ATSC, et les systèmes de stockage comme RAID 6.

Les codes Reed – Solomon fonctionnent sur un bloc de données traité comme un ensemble d'éléments de champ fini appelés symboles. Les codes Reed – Solomon sont capables de détecter et de corriger plusieurs erreurs de symboles. En ajoutant $t = n - k$ symboles de contrôle aux données, un code Reed-Solomon peut détecter (mais pas corriger) toute combinaison de jusqu'à et y compris t symboles erronés, ou localiser et corriger jusqu'à et y compris $\lfloor t / 2 \rfloor$ erroné symboles à des endroits inconnus. En tant que code d'effacement, il peut corriger jusqu'à et y compris les effacements à des emplacements connus et fournis à l'algorithme, ou il peut détecter et corriger des combinaisons d'erreurs et d'effacements.

Il existe deux types de base de codes Reed – Solomon - la vue d'origine et la vue BCH - la vue BCH (utilisé dans normes DVB-S2/S2X) étant la plus courante, car les décodeurs de vue BCH sont plus rapides et nécessitent moins de stockage de travail que les décodeurs de vue d'origine.

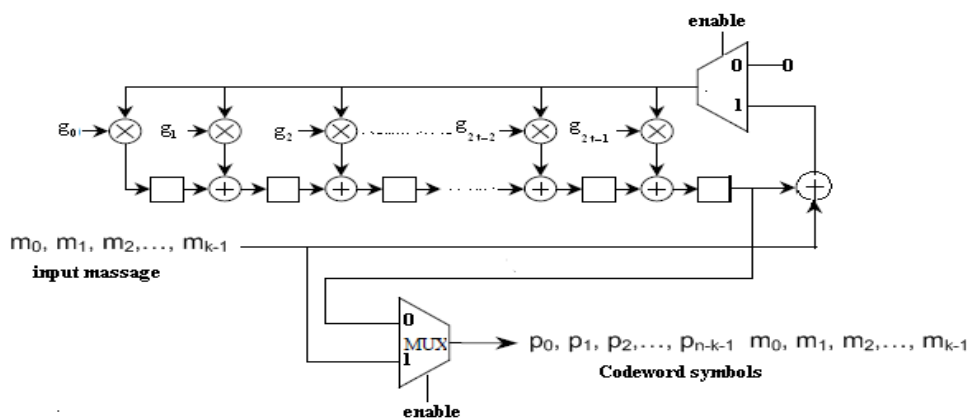


Figure 1: Architecture d'un codeur Reed-Solomon

1.1 Applications des codeurs Reed-Solomon :

- **Stockage de données :**

Le codage Reed – Solomon est très largement utilisé dans les systèmes de stockage de masse pour corriger les erreurs de rafale associées aux défauts de support.

Le codage Reed – Solomon est un élément clé du disque compact. Il s'agissait de la première utilisation d'un codage de correction d'erreur puissant dans un produit de grande consommation, et les DAT et les DVD utilisent des systèmes similaires. Dans le CD, deux couches de codage Reed – Solomon séparées par un entrelaceur convolutif à 28 voies donnent un schéma appelé Cross-Interleaved Reed – Solomon Coding (CIRC). Le premier élément d'un décodeur CIRC est un code Reed – Solomon interne (32,28) relativement faible, raccourci d'un code (255,251) avec des symboles de 8 bits. Ce code peut corriger jusqu'à 2 erreurs d'octets par bloc de 32 octets. Plus important encore, il marque comme efface tous les blocs incorrigibles, c'est-à-dire les blocs avec des erreurs de plus de 2 octets.

- **Code Bar :**

Presque tous les codes à barres bidimensionnels tels que PDF-417, MaxiCode, Datamatrix, QR Code et Aztec Code utilisent la correction d'erreur Reed-Solomon pour permettre une lecture correcte même si une partie du code à barres est endommagée. Lorsque le lecteur de code à barres ne peut pas reconnaître un symbole de code à barres, il le traitera comme un effacement.

Le codage Reed – Solomon est moins courant dans les codes à barres unidimensionnels, mais il est utilisé par la symbologie PostBar.

- **Transmission des données :**

Des formes spécialisées de codes Reed-Solomon, en particulier Cauchy-RS et Vandermonde-RS, peuvent être utilisées pour surmonter le caractère peu fiable de la transmission de données sur des canaux d'effacement. Le processus de codage suppose un code de RS (N, K) qui résulte en N mots de code de longueur N symboles chacun stockant K symboles de données, en cours de génération, qui sont ensuite envoyés sur un canal d'effacement.

Toute combinaison de K mots de code reçus à l'autre extrémité suffit pour reconstruire l'ensemble des N mots de code. Le débit de code est généralement fixé à 1/2 à moins que la probabilité d'effacement du canal puisse être modélisée de manière adéquate et soit considérée

comme inférieure. En conclusion, N vaut généralement 2K, ce qui signifie qu'au moins la moitié de tous les mots de code envoyés doivent être reçus afin de reconstruire tous les mots de code envoyés.

2. L'entrelaceur :

L'entrelaceur permet de doubler la fréquence d'images perçue d'un affichage vidéo sans consommer de bande passante supplémentaire. Le signal entrelacé contient deux champs d'une image vidéo capturée consécutivement. Cela améliore la perception du mouvement par le spectateur et réduit le scintillement en tirant parti du phénomène phi.

Cela double efficacement la résolution temporelle (également appelée résolution temporelle) par rapport aux images non entrelacées (pour des fréquences d'images égales aux fréquences de trame). Les signaux entrelacés nécessitent un affichage capable nativement d'afficher les champs individuels dans un ordre séquentiel. Les écrans CRT et les écrans plasma ALiS sont conçus pour afficher des signaux entrelacés.

Un écran de télévision basé sur une ligne à alternance de phase (PAL), par exemple, balaye 50 champs toutes les secondes (25 impairs et 25 pairs). Les deux ensembles de 25 champs fonctionnent ensemble pour créer une image complète toutes les 1/25 de seconde (ou 25 images par seconde), mais avec l'entrelacement créent une nouvelle demi-image toutes les 1/50 de seconde (ou 50 champs par seconde). Pour afficher une vidéo entrelacée sur des écrans à balayage progressif, la lecture applique un désentrelacement au signal vidéo (ce qui ajoute un décalage d'entrée).

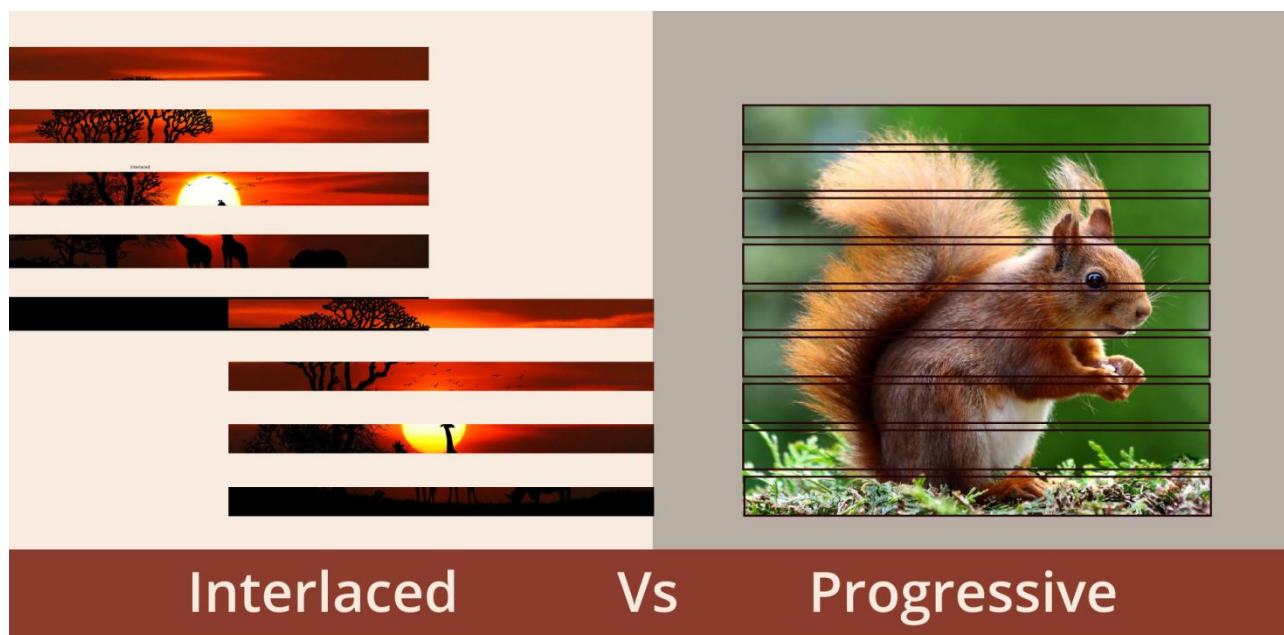


Figure 2: Différence entre une vidéo entrelacée et une vidéo progressive

2.1 Avantages de l'entrelacement :

L'un des facteurs les plus importants de la télévision analogique est la bande passante du signal, mesurée en mégahertz. Plus la bande passante est grande, plus toute la chaîne de production et de diffusion est coûteuse et complexe. Cela comprend les caméras, les systèmes de stockage, les systèmes de diffusion et les systèmes de réception: terrestres, par câble, par satellite, Internet et les écrans des utilisateurs finaux (téléviseurs et écrans d'ordinateur).

Pour une bande passante fixe, l'entrelacement fournit un signal vidéo avec une fréquence de rafraîchissement de l'affichage deux fois plus élevée pour un nombre de lignes donné (par rapport à une vidéo à balayage progressif à une fréquence d'images similaire, par exemple 1080i à 60 demi-images par seconde, contre 1080p à 30 images complètes par seconde). Le taux de rafraîchissement plus élevé améliore l'apparence d'un objet en mouvement, car il met à jour sa position sur l'écran plus souvent, et lorsqu'un objet est stationnaire, la vision humaine combine les informations de plusieurs demi-images similaires pour produire la même résolution perçue que celle fournie par un plein cadre progressif. Cette technique n'est cependant utile que si le matériel source est disponible avec des taux de rafraîchissement plus élevés. Les films de cinéma sont généralement enregistrés à 24 ips et ne bénéficient donc pas de l'entrelacement, une solution qui réduit la bande passante vidéo maximale à 5 MHz sans réduire le taux de balayage d'image effectif de 60 Hz.

3. Le codeur convolutif :

Le codage par convolution est une méthode de codage largement utilisée qui n'est pas basée sur des blocs de bits mais plutôt les bits de code de sortie sont déterminés par des opérations logiques sur le bit actuel dans un flux et un petit nombre de bits précédents. Dans le codeur, les bits de données sont entrés dans un registre à décalage de longueur K , appelé longueur de contrainte. Lorsque chaque bit entre à gauche du registre, les bits précédents sont décalés vers la droite tandis que le bit le plus ancien du registre est supprimé. Deux ou plusieurs opérations de sommation binaire, disons r , créent des bits de code qui sont émis pendant une période de flux de données.

Par conséquent, le débit binaire du code est $1/r$ fois le débit de données et le codeur est appelé un codeur convolutif de débit $1/r$ de longueur de contrainte K . Les connexions des étages du registre à décalage au r sont également nécessaires pour définir complètement le codeur.

La figure 3 montre un exemple avec $K = 3$, $r = 2$, et les vecteurs générateurs sont choisis comme $[1 \ 1 \ 1]$ et $[1 \ 0 \ 1]$. Les temps d'échantillonnage discrets sont étiquetés n . Le flux de données entre à gauche et le bit actuel à l'instant n , le bit le plus récent $n - 1$ et le bit le plus ancien suivant à $n - 2$ occupent le registre à décalage. Deux bits de parité sont commutés dans l'intervalle entre n et n

- 1 à partir de l'additionneur supérieur puis de l'additionneur inférieur. Lorsque le bit de données suivant arrive, le registre à décalage déplace son contenu vers la droite. Les bits antérieurs $K - 1$, dans ce cas deux, déterminent l'état du codeur. Ils sont représentés en gris sur la même figure. Il y a $2K - 1$ états. Pour chaque état du codeur, il existe deux possibilités de bits de code de sortie, selon que le bit d'entrée est «zéro» ou «un». La progression des états dans le temps est donc fonction du flux de données.

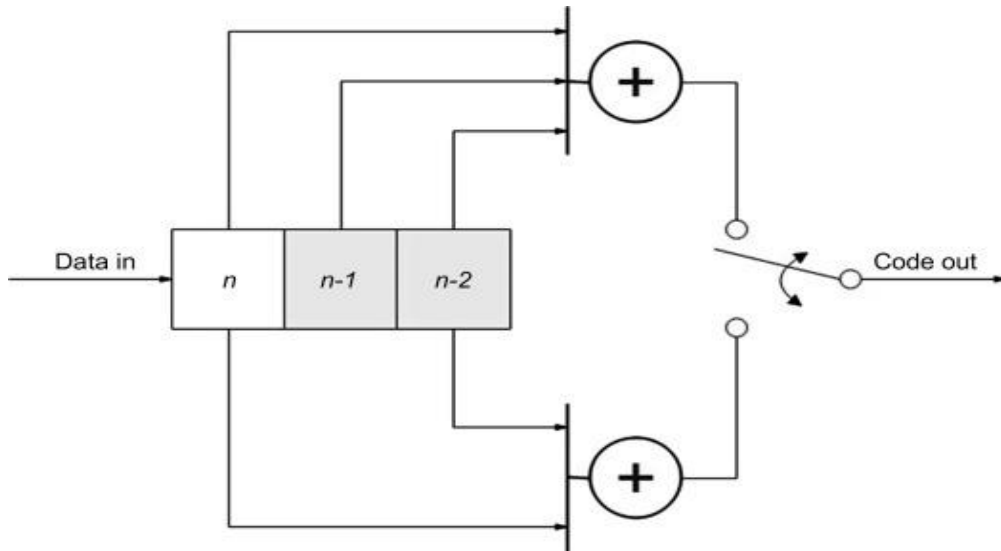


Figure 3: Le fonctionnement d'un codeur convolutif

Annexe B :

Afin d'expliquer plus précisément le fonctionnement des blocs principaux de la chaîne de transmission DVB-2/2X (puisque c'est la même chaîne avec changement du Roll-off et de type de modulation), on va entamer ces blocs en détail dans cette partie B de notre annexe :

2. BCH Encoder :

Dans la théorie du codage, les codes BCH ou codes Bose – Chaudhuri – Hocquenghem forment une classe de codes cycliques de correction d'erreur qui sont construits à l'aide de polynômes sur un corps fini (également appelé champ de Galois). Les codes BCH ont été inventés en 1959 par le mathématicien français Alexis Hocquenghem, et indépendamment en 1960 par Raj Bose et D. K. Ray-Chaudhuri. Le nom Bose – Chaudhuri – Hocquenghem (et l'acronyme BCH) provient des initiales des noms de famille des inventeurs (à tort, dans le cas de Ray-Chaudhuri).

L'une des principales caractéristiques des codes BCH est que lors de la conception du code, il existe un contrôle précis du nombre d'erreurs de symbole corrigées par le code. En particulier, il est possible de concevoir des codes BCH binaires capables de corriger des erreurs sur plusieurs bits. Un autre avantage des codes BCH est la facilité avec laquelle ils peuvent être décodés, à savoir, via une méthode algébrique connue sous le nom de décodage de syndrome. Cela simplifie la conception du décodeur pour ces codes, en utilisant un petit matériel électronique de faible puissance.

Les codes BCH sont utilisés dans des applications telles que les communications par satellite, les lecteurs de disques compacts, les DVD, les lecteurs de disque, les lecteurs à semi-conducteurs, la cryptographie à résistance quantique et les codes à barres bidimensionnels.

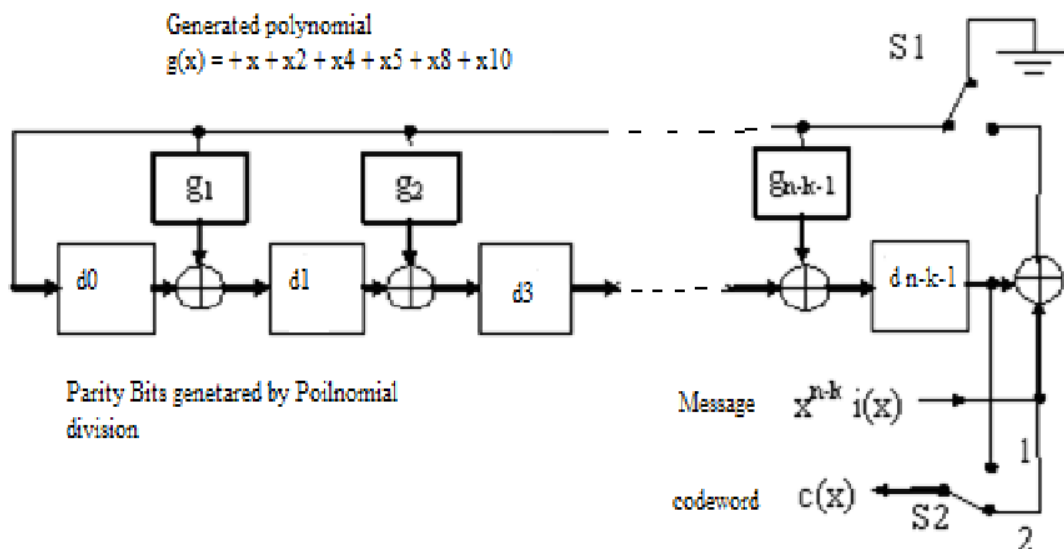


Figure 4: Implementation d'un code BCH à un message

1.1 Construction d'un BCH d-correcteur de longueur n sur F_p :

Pour la construction d'un BCH d-correcteur de longueur n sur F_p (avec n et p premiers entre eux) comme on a fait dans les tableaux 2.5, 2.6 et 2.7, on procède comme décrit.

Soit m l'ordre de q modulo n, c'est à dire m est le plus petit entier tel que $p^m = 1 \pmod n$.

On se place alors dans le corps fini F_q ($q = p^m$), id est $F_q = F_p[x] / P(x)$ irréductible de $F_p[x]$ de degré m. On trouve un élément primitif α du corps et on en considère les puissances $\alpha^1, \alpha^2, \dots, \alpha^{2d}$.

Pour chacune de ces puissances α^i , on en détermine la classe cyclotomique: $\{\alpha^i, \alpha^{i \cdot 2}, \alpha^{i \cdot 4}, \dots, \alpha^{i \cdot 2^j}\}$, et le polynôme minimal associé $(x - \alpha^i) \cdot (x - \alpha^{i \cdot 2}) \cdot (x - \alpha^{i \cdot 4}) \cdot \dots \cdot (x - \alpha^{i \cdot 2^j})$.

Le polynôme générateur $g(x)$ du code BCH est le produit de tous les polynômes minimaux associés aux classes cyclotomiques.

La dimension du code construit est alors n moins le degré de $g(x)$.

On dénote un code ainsi construit avec la notation BCH (n, dimension du code, d).

Dans la suite, on simplifiera le problème en considérant que le code soit engendré sur F_2 .

Les messages seront donc composés de bits = $\{0, 1\}$.

Codage d'un message (sur F_2)

Le codage $c(x)$ d'un message $m(x)$ est tout simplement le reste de sa division pour $g(x)$, ou $m(x) \pmod{g(x)}$, ajouté au message originaire (opportunément décalé).

Décodage d'un message (sur F_2)

Soit $r(x)$ le message reçu; on sait qu'il peut être affecté par 'd' erreurs. Pour en corriger les erreurs, on en calcule les 2d syndromes s : $s_1 = r(\alpha)$, $s_2 = r(\alpha^2)$, $s_3 = r(\alpha^3)$, ...

Si le message reçu est correct, tous les syndromes sont nuls.

Si les syndromes ne sont pas nuls, on cherche le polynôme correcteur $\sigma(x) = x^d + \sigma_1 \cdot x^{d-1} + \sigma_2 \cdot x^{d-2} + \sigma_3 \cdot x^{d-3} + \dots$, où les valeurs de σ sont trouvés selon les formules suivantes:

- Pour un BCH 1-correcteur: $\sigma_1 = s_1$
- Pour un BCH 2-correcteur: $\sigma_1 = s_1$, $\sigma_2 = (s_3 + (s_1)^3) \cdot s_1^{-1}$
- Pour un BCH 3-correcteur: $\sigma_1 = s_1$, $\sigma_2 = (s_5 + (s_1)^2 \cdot s_3) \cdot (s_1^3 + s_3)^{-1}$, $\sigma_3 = s_1^3 + s_3 + s_1 \cdot \sigma_2$

On calcule ensuite la valeur du polynôme correcteur dans $\alpha^0, \alpha^1, \alpha^2, \dots, \alpha^n$ (on rappelle que n est la longueur du code BCH). Cette valeur $\sigma(\alpha^k)$ est nulle s'il y a une erreur dans le bit en position k , qui peut être alors corrigé (en 0 s'il est 1 et vice-versa).

Remarque: Un code d -correcteur assure la détection et la correction d'un maximum de ' d ' erreurs, donc un message contenant plus de ' d ' erreur sera faussement identifié comme correct.

2. Codeur LDPC :

Dans la théorie de l'information, un code de contrôle de parité à faible densité LDPC est un code correcteur d'erreur linéaire utilisé dans la transmission d'un message sur un canal de transmission bruyant. Un code LDPC est construit en utilisant un graphe de Tanner clairsemé (sous-classe du graphe bipartite). Les codes LDPC sont des codes approchant la capacité, ce qui signifie qu'il existe des constructions pratiques qui permettent de fixer le seuil de bruit très près du maximum théorique (la limite de Shannon) pour un canal symétrique sans mémoire. Le seuil de bruit définit une limite supérieure pour le bruit de canal, jusqu'à laquelle la probabilité de perte d'informations peut être rendue aussi faible que souhaité. En utilisant des techniques de propagation de croyances itératives, les codes LDPC peuvent être décodés dans le temps de manière linéaire à leur longueur de bloc.

Les codes LDPC sont de plus en plus utilisés dans les applications nécessitant un transfert d'informations fiable et très efficace sur des liaisons à bande passante ou à canal de retour contraint en présence de bruit corrompant. La mise en œuvre des codes LDPC a pris du retard par rapport à celle d'autres codes, notamment les codes turbo.

Les codes LDPC sont également connus sous le nom de codes Gallager, en l'honneur de Robert G. Gallager, qui a développé le concept LDPC dans sa thèse de doctorat au Massachusetts Institute of Technology en 1960.

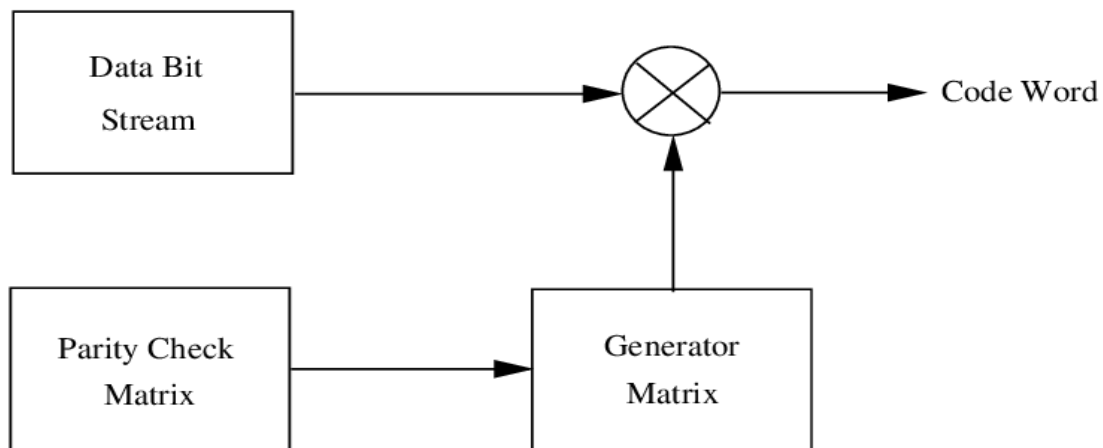


Figure 5: Diagramme de blocs d'un codeur LDPC

2.1 Applications des codeurs LDPC:

En 2003, un code LDPC de style IRA (irrégulière répétition accumulée) a battu six codes turbo pour devenir le code de correction d'erreur dans la nouvelle norme DVB-S2 pour la transmission par satellite de la télévision numérique. Le comité de sélection DVB-S2 a fait des estimations de la complexité du décodeur pour les propositions Turbo Code en utilisant une architecture de décodeur série beaucoup moins efficace plutôt qu'une architecture de décodeur parallèle. Cela a forcé les propositions de Turbo Code à utiliser des tailles de trame de l'ordre de la moitié de la taille de trame des propositions LDPC.

En 2008, LDPC a battu les codes turbo convolutifs en tant que système de correction d'erreur directe (FEC) pour la norme ITU-T G.hn. G.hn a choisi les codes LDPC plutôt que les turbo codes en raison de leur moindre complexité de décodage (en particulier lorsqu'ils fonctionnent à des débits de données proches de 1,0 Gbit / s) et parce que les turbo codes proposés présentaient un plancher d'erreur significatif dans la plage de fonctionnement souhaitée.

Les codes LDPC sont également utilisés pour 10GBASE-T Ethernet, qui envoie des données à 10 gigabits par seconde sur des câbles à paires torsadées. Depuis 2009, les codes LDPC font également partie de la norme Wi-Fi 802.11 en tant que partie optionnelle de 802.11n et 802.11ac, dans la spécification PHY à haut débit (HT).

Certains systèmes OFDM ajoutent une correction d'erreur externe supplémentaire qui corrige les erreurs occasionnelles (le "plancher d'erreur") qui dépassent le code interne de correction LDPC même à de faibles taux d'erreur sur les bits. Par exemple: le code Reed-Solomon avec modulation codée LDPC (RS-LCM) utilise un code externe Reed-Solomon. Les normes DVB-S2, DVB-T2 et DVB-C2 utilisent toutes un code externe de code BCH pour éliminer les erreurs résiduelles après le décodage LDPC.