الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Supérieure de Technologie
Département : Génie Électrique et Informatique Industrielle.

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Télécommunication

Spécialité : Systèmes de Télécommunication et Réseaux

Montage et paramétrage d'une chaîne de transmission DVB-S/DVB-S2 au niveau de l'entreprise TDA-Algérie.

Réalisé par
BEN ABDERRAHMANE Kamelia

Soutenu publiquement : le 6 juillet 2022

Composition du Jury :

Président : M. HARAOUBIA Brahim,	Professeur	ENST
Promoteur : Mme. BOUTERFAS Malika,	Maître de Conférences	ENST
Co-promoteur : M. BOUTEKEDJIRT Taha,	Ingénieur	TDA
Examinateur1 : Mme. CHIALI Imane,	Maître de Conférences	ENST
Examinateur2 : M. BEGHAMI Sami,	Maître de Conférences	ENST

Année universitaire 2021-2022

Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail pour la lumière de ma vie,ma raison de vivre, mes chères parents pour leur patience infinie, leur soutien sans faille, leur amour sans limite et leurs sacrifices qu'ils n'ont cessé de consentir à mon profit depuis ma naissance. Ce mémoire est autant le fruit de vos efforts, merci d'être toujours là pour moi.

À mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur ma mère Lynda tu étais toujours mon meilleur amie.

À mon papa Mohamed pour ce qu'il m'as apporté, merci de m'avoir aidée à me construire, merci d'être encore à mes côtés chaque jour.

À mon très cher frère Karim qui a été toujours là pour moi, à mes deux petit frère Amezian et Zinou, je n'oublierai jamais leur soutien.

À ma chère grande mère Zahoua.

À la mémoire de mes grands parents Ameziane, Amar, Ldjohar.

À toutes les personnes qui m'ont aidé de pré ou de loin tout au long de mon parcourt.

- Kamelia

Remerciement

Au terme de ce projet je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciement premièrement au DIEU qui m'a donné la santé et la volonté de faire cet humble travail, ma famille pour le soutien qu'elle m'a apporté tout au long de mes études, ainsi que l'ensemble du corps enseignents et personnels de l'École Nationale Supérieure de Technologie plus particulièrement les enseignants du département GEII qui m'ont fourni les outils nécessaires qui ont facilité la compréhension durant ce projet.

je remercie Monsieur BOUTKEDJIRT Taha ingénieur d'exploitation à la Télédiffusion d'Algérie (TDA) pour son entière disponibilité, son orientation et ces conseils, qui m'a encadré, et accompagné tout au long de cette expérience professionnelle avec beaucoup de patience et de pédagogie, sans oublier l'ensemble du personnels techniciens et ingénieurs qui ont contribué de loin ou du pré à réaliser mon projet dans des meilleurs conditions.

Je remercie Madame BOUTERFAS Malika pour son encadrement, son soutien, sa confiance et pour son encouragement et ses judicieux conseils qui m'ont facilité le travail et qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je désire aussi à remercie les membres de jury pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Table des matières

Introduction générale **1**

I les standards DVB-S/DVB-S2 pour la transmission numérique **4**

I.1 Introduction 5
I.2 La numérisation d'un signal 5
I.3 La compression vidéo 5
I.4 La modulation 7
I.4.1 La modulation PSK 7
I.5 Satellite de transmission 10
I.5.1 Définition 10
I.5.2 Principe d'une liaison satellite 11
I.5.3 Les bandes de fréquences 12
I.6 Le standard DVB (Digital Video Broadcasting) 12
I.6.1 Définition 12
I.6.2 Comment fonctionne l'envoi d'un programme TV avec la norme DVB ? 13
I.7 Le standard DVB-S 14
I.7.1 Définition 14
I.7.2 La chaîne de transmission DVB-S 14
I.7.3 Principaux paramètres d'une chaîne d'émission/réception DVB-S 15
I.8 le standard DVB-S2 18
I.8.1 Définition 18
I.8.2 La chaîne de transmission DVB-S2 18
I.8.3 Principaux paramètres d'une chaîne d'émission/réception DVB-S2 19

II Paramétrage des standards DVB-S/DVB-S2 **23**
II.1 Introduction 24
II.1.1 Méthodologie 24
II.1.2 Calcul pour les trois bandes passantes 28
II.1.3 La solution optimale 32

III Implémentation, tests et optimisation **33**
III.1 Introduction 34
III.2 Montage d'une chaîne DVB-S/DVB-S2 en boucle locale . . 34
III.2.1 Description du matériel utilisé 36
III.2.2 Vérification du paramétrage théorique 37
III.2.3 Optimisation de l'efficacité spectrale 39
III.3 Les performances de la chaîne DVB-S/DVB-S2 en termes de BER et C/N 41
III.3.1 Diagramme de constellation pour DVB-S/DVB-S2 obtenu sur SATLINK. 44
III.4 Tests réels de transmission satellite 47

Conclusion générale **50**

Annexes **54**

Table des figures

I.1 Exemple de diagramme de constellation pour BPSK [1]. . 8
I.2 Diagramme de constellation pour QPSK [1]. 9
I.3 Diagramme de constellation pour 8-PSK [1]. 9
I.4 Diagramme de constellation pour la modulation 16-APSK [4]. 10
I.5 Diagramme de constellation pour la modulation 32-APSK [4]. 10
I.6 Image d'un satellite [1]. 11
I.7 La liaison satellite ascendante et descendante [8]. 11
I.8 Les bandes de fréquences [1]. 12
I.9 Évolution du standard DVB [10]. 13
I.10 la chaîne de transmission DVB-S [13]. 14
I.11 Réponse en fréquence du filtre de Nyquist pour trois valeurs du roll-off [14] 16
I.12 Mot-code de Reed Salomon [11]. 16
I.13 La chaîne de transmission DVB-S2 [17] 18
I.14 Le codage et la modulation adaptatifs (ACM) [17]. 21
I.15 Le codage et la modulation variable(VCM) [17]. 21

II.1 Interface graphique Bitrate Calculator pour le calcul du débit binaire pour DVB-S. 26
II.2 Affichages des paramètres sortie pour standard DVB-S. . 26
II.3 Interface graphique Bitrate Calculator pour le calcul du débit binaire pour DVB-S2. 27
II.4 Affichages des paramètres sortie pour standard DVB-S2. . 27

III.1 Montage d'une chaîne DVB-S/DVB-S2. 35
III.2 La porteuse pure. 36
III.3 Le signal modulé. 36
III.4 Interface de configuration du codeur. 38

III.5 Interface de configuration du modulateur. 38
III.6 Courbes des débits binaires relatifs à une bande passante de 10 MHz, obtenus sur le montage en boucle locale. . . . 40
III.7 Les atténuateurs utilisés pour l'atténuation du signal DTH. 42
III.8 Affichage des résultats obtenus sur IRD pour DVB-S. . . 42
III.9 Affichage des résultats obtenus sur IRD pour DVB-S2. . . 43
III.10 Courbes de BER en fonction de C/N pour DVB-S/DVB-S2. 43
III.11 Appareil de mesure SATLINK. 44
III.12 Diagramme de constellation pour la QPSK à un puissance de 6 dB. 45
III.13 Diagramme de constellation pour la QPSK à une puissance de 8.2 dB. 45
III.14 Diagramme de constellation pour la 8-PSK à une puissance de 10.1 dB. 45
III.15 Diagramme de constellation pour la 8-PSK à une puissance de 13.4 dB. 46
III.16 La station FLAYWAY de TDA. 47
III.17 Les équipements utilisés dans la station FLAYWAY de TDA. 48
III.18 Paramètres de codage BCH (pour FECFRAME n_{ldcp}=64800). 54
III.19 Paramètres de codage BCH (pour FECFRAME n_{ldcp}=16 200). 55
III.20 La zone de couverture du satellite Eutelsat 7B à 7.0°E . . 57

Liste des tableaux

I.1 Principaux paramètres d'une chaîne DVB-S [9]. 15
I.2 Modulation et taux de codage utilisés [9]. 22

II.1 Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S. 28
II.2 Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S2. 29
II.3 Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S. 29
II.4 Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S2. 30
II.5 Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S. 31
II.6 Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S2. 31

Introduction générale

L'avènement de la télévision numérique est considéré comme une avancée innovante et représente la première évolution significative de la technologie de la télévision.

La télévision numérique est la transmission des signaux de télévision à l'aide d'un codage numérique, contrairement à la technologie de télévision analogique antérieure. Elle profère une utilisation plus économique de la bande passante ; elle peut transmettre jusqu'à sept canaux dans la même bande passante qu'un seul canal analogique, et offre de nombreuses nouvelles fonctionnalités que la télévision analogique n'offre pas. Une transition de la diffusion analogique à la diffusion numérique a commencé vers 2000. Différentes normes de diffusion de télévision numérique ont été adoptées dans différentes parties du monde. La diffusion vidéo numérique (DVB) fait partie de ces normes basées sur la transmission par canaux : Terrestre : DVB-T et DVB-T2, Cable : DVB-C et DVB-C2, Satellite : DVB-S et DVB-S2.

Le standard DVB-S2 (Digital Video Broadcasting - Satellite) est une version améliorée du DVB-S en terme d'efficacité et de fiabilité des canaux de diffusion. Ces deux standards sont actuellement en exploitation au niveau de l'établissement publique de la télédiffusion d'Algérie (TDA) pour assurer la transmission de ses programmes.

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, nous nous sommes intéressés à la chaîne de transmission numérique des standards DVB-S/DVB-S2 afin de résoudre une problématique de l'entreprise TDA. En prévision des jeux méditerranéens d'Oran (JMO-Algérie 2022) prévus du 25 juin au 06 juillet 2022, la Télédiffusion d'Algérie-TDA assurera les transmissions té-

lévisuelles de cet événement. A cet effet, TDA a demandé à l'opérateur satellite de lui transmettre les offres pour des différentes bandes passantes disponibles sur Eutelsat 7B pour une location permanente du 24/06/2022 au 06/07/2022. L'opérateur satellite a proposé trois bandes passantes de différentes capacités : 6 MHz, 9 MHz et 24 MHz. Le besoin de TDA est de transmettre quatre programmes HD en même temps, avec un signal le plus robuste possible, en occupant le maximum de bande passante allouée. Un premier objectif est de déterminer la bande passante optimale avec les paramètres (MODCOD : modulation, codage) adéquats qui satisfont aux besoins de TDA pour couvrir l'évènement. Le deuxième objectif consiste à implémenter ce paramétrage de la chaîne de transmission DVB-S/DVB-S2 et vérifier les résultats obtenus en boucle locale (sans transmission satellite). Un dernier objectif est d'optimiser les paramètres de cette chaîne pour un maximum de débit binaire (améliorer l'efficacité spectrale) et d'étudier ses performances en terme de taux d'erreur binaire (BER) et signal sur bruit (C/N).

Notre travail est organisé en trois chapitres :

Le premier chapitre présente quelques notions sur la numérisation des signaux et la norme DVB. Les deux standards DVB-S et DVB-S2 ainsi que les éléments des ses deux chaînes. Leurs étapes de transmission y sont développes.

Le deuxième chapitre présente une première partie de notre travail effectué au sein de l'établissement publique de télédiffusion d'Algérie (TDA) pour définir la capacité de la bande passante et les paramètres qui correspond au besoins de l'entreprise afin d'assuré les transmissions télévisuelle des jeux méditerranéens d'Oran (Algérie) prévus du 25 juin au 06 juillet 2022, pour cela on a fait une étude sur les débits binaire pour chaque bande passante prenant compte des différents paramètres : (FEC, Modulation (DVB- S/DVB-S2)). Les débits binaires sont calculés en utilisant les formules exactes issues de la littérature. Ces résultats sont confrontés à ceux obtenus à partir du calculateur disponible au niveau de TDA.

Le troisième chapitre est consacré à la vérification des résultats obtenus dans le deuxième chapitre, à savoir les débits binaires propre à chaque bande passante. Le montage de la chaîne de transmission DVB-S/DVB-S2 en utilisant le matériel de l'entreprise est d'abord décrit. Le paramétrage de cette chaîne est par la suite implémenté en boucle locale, suivi d'une étude d'optimisation en terme d'efficacité spectrale. Une étude comparative en terme de performance (taux d'erreur binaire (BER) et signal sur bruit C/N) est conduite sur les deux standards. Enfin, un test réel est effectué, à priori, afin de déterminer le restant des paramètres (azimut, élévation) pour la couverture en directe du match Algérie VS Cameroun prévu le 29 mars 2022.

Dans la conclusion générale, nous reprenons les résultats principaux obtenus durant cette étude, afin de comparer l'efficacité des deux standards utilisés et conclure quant à leur utilisation.

Chapitre I

les standards DVB-S/DVB-S2 pour la transmission numérique

I.1 Introduction

Dans le but de concevoir et de faire évoluer les procédures utilisées pour véhiculer les signaux pour la télévision numérique, un système de diffusion appelé DVB a été développé. Ce système a mis en place des normes de diffusion exceptionnelles basées sur des canaux de transmission : Terrestre : DVB-T et DVB-T2, Câble : DVB-C et DVB-C2, et enfin Satellite : DVB-S et DVB-S2.

Ce chapitre donne un aperçu sur la norme DVB ainsi que les paramètres des chaînes de transmission DVB-S/DVB-S2.

I.2 La numérisation d'un signal

Afin de pouvoir gérer un signal TV, nous devons d'abord le numériser. La numérisation du signal signifie que les signaux audio et vidéo sont représentés par une série de 0 et de 1. Cette série est ensuite communiquée à un récepteur (via satellite par exemple). Le récepteur a la capacité de recréer les signaux audio et vidéo analogiques à partir de ces informations. Principalement, le processus de conversion analogique-numérique constitue trois étapes principales : échantillonnage temporel, quantification et codage [1].

Le numérique présente plusieurs avantages. Pour l'enregistrement, à titre d'exemple, le bruit augmente avec l'utilisation des nouvelles générations d'appareillage analogique, ce qui n'est pas le cas pour le numérique [2].

I.3 La compression vidéo

L'objectif d'un système de compression est de réduire la quantité d'information à transmettre ou à stocker, tout en préservant le contenu du signal transmis. L'algorithme de compression met à profit les redondances qui existent naturellement dans un signal et donc met en oeuvre des méthodes spécifiques de codage qui permettent de supprimer ces redondances . Il existe différentes normes de compression vidéo (Zip, RAR, gzip, ADPCM, MP3, JPEG, MPEG), la norme MPEG reste cependant la plus utilisée

pour la diffusion de la télévision numérique du fait que sont taux de compression est élevé [3].

- **La norme MPEG**

Le Motion Picture Experts Group (MPEG) est un groupe de travail chapeauté par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) ,établi en 1988. Il est chargé de développer des normes internationales pour la compression, la décompression, le traitement et le codage des images en mouvement, du son et de la combinaison des deux. Jusqu'ici, le MPEG a donné naissance à cinq normes (MPEG 1, 2, 4, 7 et 21) [4].

La norme MPEG-1 est le premier standard du groupe MPEG, il a été conçue pour compresser les fichiers vidéo. Il permet le stockage de vidéos à un débit de 1.5Mbps [1].
Elle a trouvé sa mise en oeuvre dans plusieurs produits. Les premiers systèmes de télévision numérique aux États Unis ont fait appel à cette norme dans l'attente de la norme MPEG-2 [5].

La norme MPEG-2 est la deuxième norme MPEG qui reprend là où se limite MPEG-1 est un standard définie pour les applications de stockage et transmission vidéo, dédié originalement à la télévision numérique . La norme MPEG2 a élargi le champ d'application du MPEG1, en améliorant la qualité de l'image à un débit pouvant aller jusqu'à 40 Mbps. Comme elle permet une identification et une protection contre le piratage [1].

La norme MPEG-4 est le successeur le plus efficace de MPEG-1 et MPEG-2, qui a pour but de trouver un compromis entre qualité et taille des fichiers. En effet, les flux MPEG-1 possédaient une taille raisonnable, mais une mauvaise qualité, inversement le MPEG2 possède une très bonne qualité mais la taille des fichiers est énorme. Elle peut être utilisée à tous les débits : de 10 kbit/s à plusieurs Mbit/s.
Cette nouvelle norme combine le meilleur des performances en MPEG-1 et MPEG-2. Elle convient à la télévision sur Internet à faible débit ainsi qu'à la télévision standard et/ou haute définition [1].

La norme MPEG-7 est une norme de description du contenu multimédia, publié en 2002. Elle est différente des formats précédents, contrairement aux MPEG-1, MPEG-2 et MPEG-4, il ne traite pas du codage des images animées et du son. En fait, MPEG7 permet l'incorporation d'informations de métadonnées dans des fichiers audio et vidéo [5].

La norme MPEG-21 a été publié en 2001 et a été conçu pour définir un cadre ouvert pour les applications multimédias. Il s'agit d'une norme qui définit la description du contenu, ainsi que les processus permettant d'accéder, de rechercher, de stocker et de protéger les droits d'auteur du contenu [5].

I.4 La modulation

La modulation est une transmission avec modification préalable du spectre du signal à transmettre, elle utilise généralement 2 signaux :le message analogique ou numérique appelé signal modulant ou message (Basse Fréquence) et un signal porteur (Haute Fréquence) [6].

Avantages de la modulation

- Adaptation du signal modulé aux caractéristiques fréquentielles du canal de transmission,
- Transmission possible à longue distance (exemple : satellites,
- Sensibilité moindre au bruit et parasites externes.

Avantages de la modulation numérique

- Optimisation de la bande passante,
- Facilité de traitement de l'information,
- Optimisation des coûts.

I.4.1 La modulation PSK

Le phase-shift keying (PSK) est une modulation par changement de phase, désigne une famille de formes de modulations numériques ou la phase du signal modulé varie en fonction de la valeur des bits à transmettre. Il existe plusieurs formes de PSK [1].

- **La modulation BPSK**

BPSK est la forme la plus simple du PSK qui utilise deux phases séparées de 180° comme indiqué sur la figure I.1. Cette modulation est la plus robuste de toutes les PSK du fait qu'il faut une grande déformation du signal pour se tromper sur le symbole reçu. Cependant on ne peut moduler qu'un seul bit par symbole, ce qui est un inconvénient pour les applications qui nécessitent un débit binaire élevé [1].

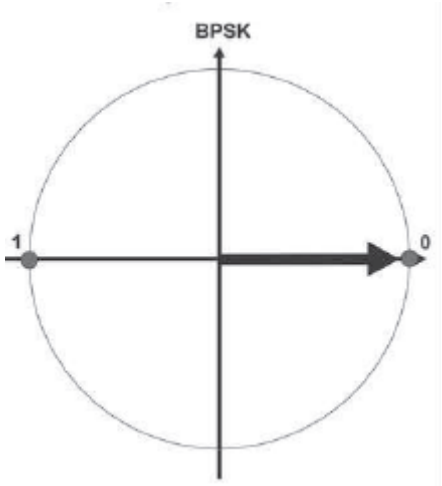


FIG. I.1 – Exemple de diagramme de constellation pour BPSK [1].

- **la modulation QPSK**

En ce qui concerne la distribution de la télévision numérique par satellite, une modulation plus élevée est utilisée, c'est la Quadrature Phase Shift Keying (QPSK). La QPSK dispose de quatre angles de phase au lieu de deux, elle utilise un diagramme de constellation à quatre points comme indiqué dans la figure I.2, chaque angle de phase représente une combinaison de deux chiffres ou bits : 00, 01, 10 et 11. Par conséquent, les ondes radio peuvent transporter deux fois plus de bits qu'avec la BPSK. Cela permet d'augmenter le débit binaire comparé à un système BPSK tout en maintenant la bande passante du signal [1].

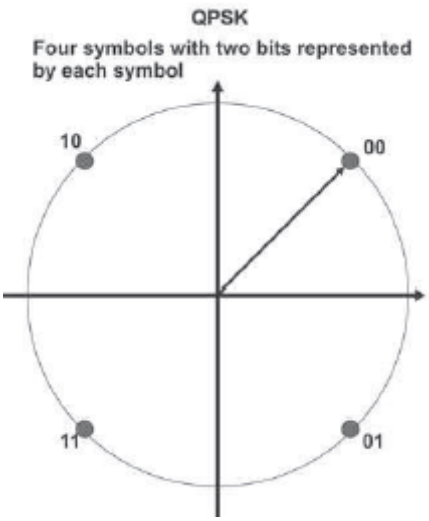


Fig. I.2 – Diagramme de constellation pour QPSK [1].

• **la modulation 8-PSK**

La modulation 8-PSK compte huit angles de phase (figure I.3), chaque angle de phase représente une combinaison de trois bits. Par conséquent, les ondes radio peuvent transporter deux fois plus de bits qu'avec la QPSK. Cela permet de multiplier le débit binaire par deux comparé à un système QPSK tout en maintenant la même bande passante du signal [1].

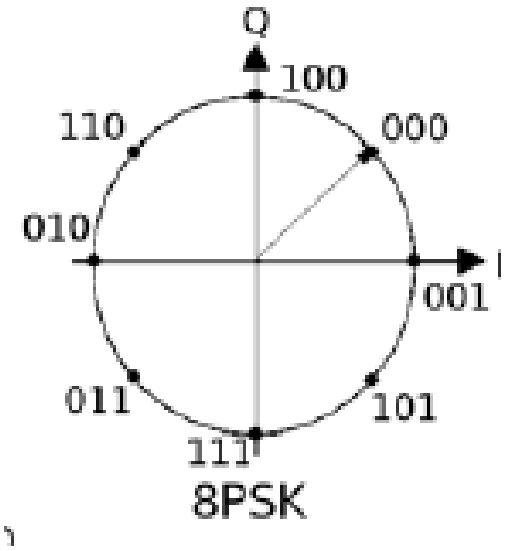


Fig. I.3 – Diagramme de constellation pour 8-PSK [1].

• **La modulation M-APSK**

La modulation par déplacement de phase et d'amplitude (Multiple-APSK) est un ordre supérieur de modulation conçu pour une transmission efficace par satellite en raison de sa robustesse intrinsèque en terme d'effica-

cité spectrale [7]. Dans les figures I.4 et I.5 sont représentés les diagrammes de constellation pour les deux modulation 16-APSK et 32-APSK.

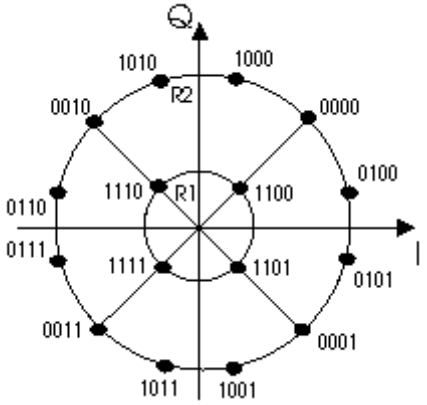


FIG. I.4 – Diagramme de constellation pour la modulation 16-APSK [4].

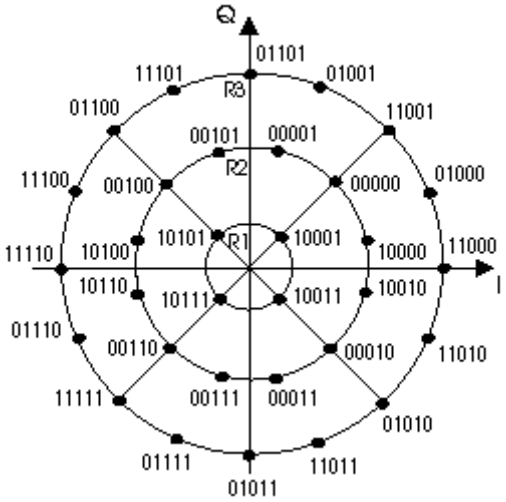


FIG. I.5 – Diagramme de constellation pour la modulation 32-APSK [4].

I.5 Satellite de transmission

I.5.1 Définition

Un satellite de communication (figure III.16) est une station hyperfréquence qui permet à deux utilisateurs disposant de stations terriennes appropriées de fournir ou d'échanger des informations sous diverses formes. Il dispose d'un certain nombre de transpondeurs qui lui permettent de recevoir les signaux d'une fréquence donnée afin de les retransmettre vers la

terre sur une autre fréquence donnée. Parmi ses applications, se distingue principalement la télédiffusion (TV directe, TV haute définition) [1].



FIG. I.6 – Image d'un satellite [1].

I.5.2 Principe d'une liaison satellite

La communication par satellite se compose de trois éléments essentiels (Figure I.7) [8]

- la station terrestre de liaison ascendante,
- le satellite,
- la station terrestre de liaison descendante.

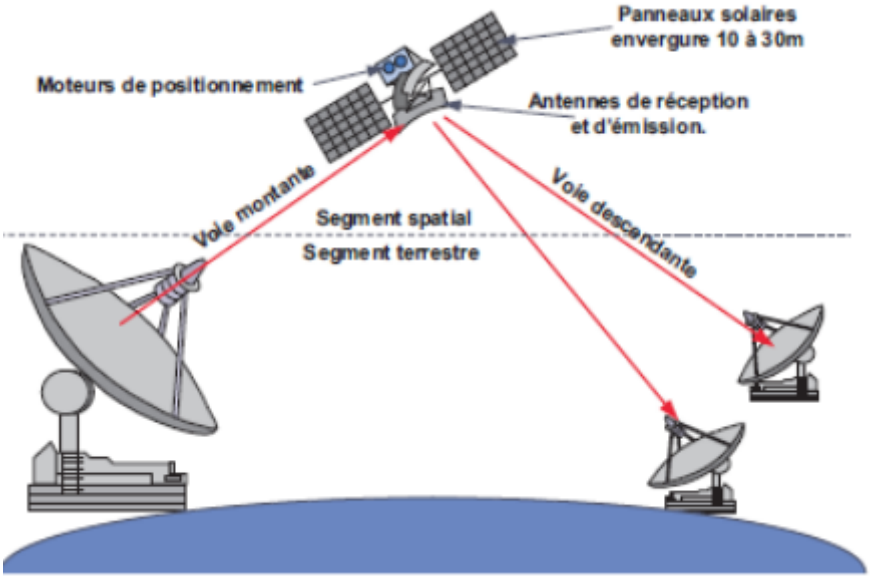


FIG. I.7 – La liaison satellite ascendante et descendante [8].

Une station terrestre envoie un message dont la fréquence est de l'ordre de quelques Gigahertz vers un satellite (liaison montante), le satellite reçoit et amplifie le signal entrant, puis le retransmet vers la station de réception (liaison descendante) où il est reçu et amplifié à nouveau par les stations terrestres et les terminaux [8].

I.5.3 Les bandes de fréquences

Les satellites utilisent des bandes de fréquence particulières, les plus communes sont représentées dans le tableau de la figure I.8.

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

FIG. I.8 – Les bandes de fréquences [1].

I.6 Le standard DVB (Digital Video Broadcasting)

La disparition de la radiodiffusion analogique est le résultat de l'introduction et du développement de la radiodiffusion numérique. Celle-ci présente de nombreux avantages par rapport à la diffusion analogique : elle offre la possibilité de diffuser une image et un son de meilleure qualité, elle permet de transmettre plus de chaînes ou de données dans la même bande de fréquence, réduisant ainsi les coûts de transmission [9].

I.6.1 Définition

La norme DVB (Digital Video Broadcasting) est un système de diffusion pour la télévision numérique, utilise une transmission par paquets de données informatiques compressées associée au format de compression MPEG2. Elle contient des règles sur la manière dont les signaux doivent

être distribués à travers trois types de supports de diffusion ; DVB-S (Satellite), DVB-C (Câble) et DVB-T (Terrestre) [1]. L'évolution de cette norme est représenté dans la figure I.9.

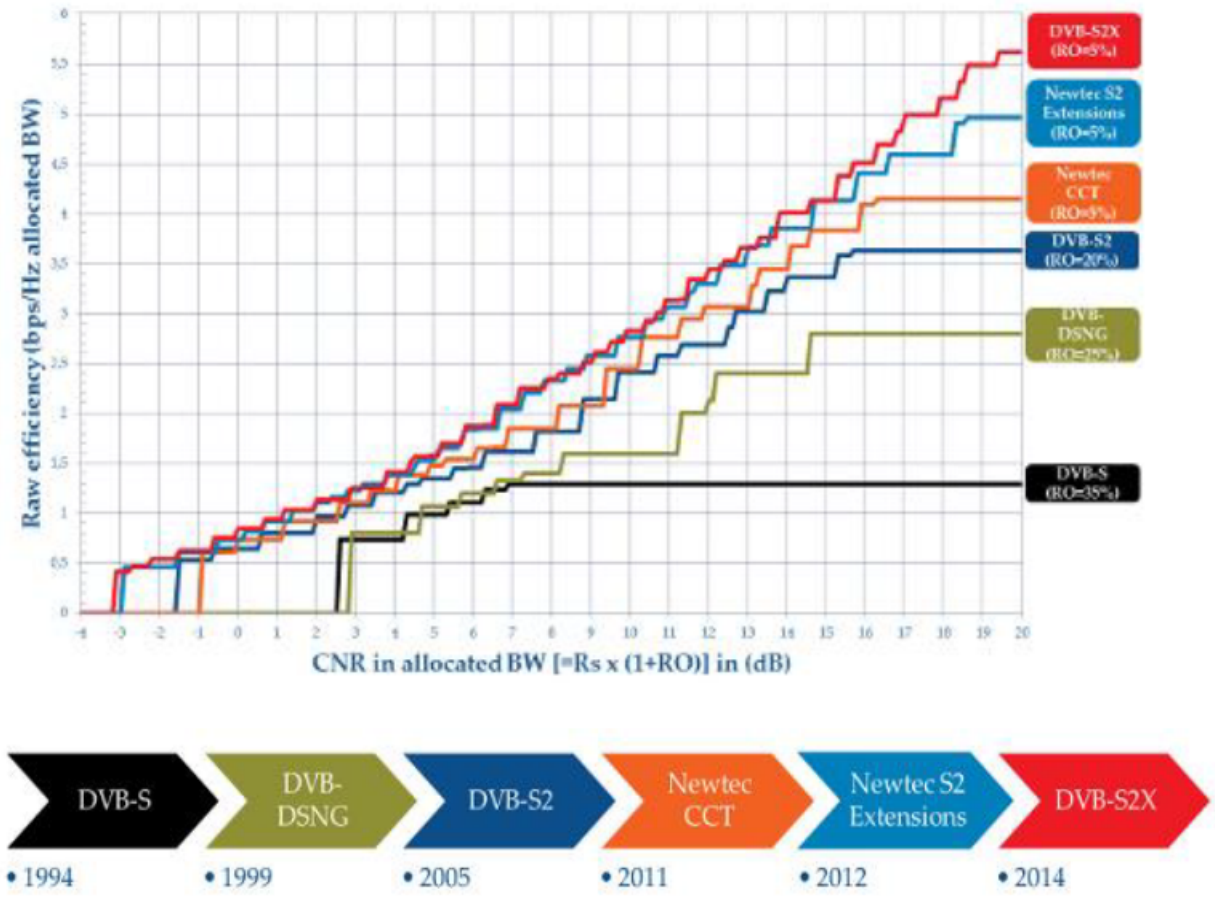


Fig. I.9 – Évolution du standard DVB [10].

I.6.2 Comment fonctionne l'envoi d'un programme TV avec la norme DVB ?

Lors de la transmission d'un programme TV sur une chaîne satellite ou terrestre, le signal est divisé en plusieurs composants (vidéo, audio, texte, services TV supplémentaires, etc...). La norme DVB permet de modifier ces éléments, d'ajouter des fonctionnalités supplémentaires, et enfin de les recombiner [10].
Ces modifications peuvent avoir différents objectifs. Certains peuvent simplement corriger les erreurs d'encodage. D'autres, plus spécifiques, ajoutent d'autres contenus, il peut s'agir de sous-titres spéciaux, d'applications interactives, de protection d'audience ou de protection de contenu [11].

I.7 Le standard DVB-S

I.7.1 Définition

DVB-S est la norme déterminante pour la transmission par satellite. La norme intéresse les opérateurs et les chercheurs dans le domaine des communications en raison de sa large bande passante. Le DVB-S connaît du succès depuis 1994, avec des lancements à partir de 1996. Il s'agit d'une norme de diffusion relativement simple qui utilise la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) et le format de compression MPEG-2. Le DVB-S utilise aussi un code correcteur d'erreurs interne pour corriger les effets négatifs de la réception par satellite [12].

I.7.2 La chaîne de transmission DVB-S

Le schéma de codage du canal du DVB-S qui porte le nom de schéma de codage concaténé est présenté dans la figure I.10.

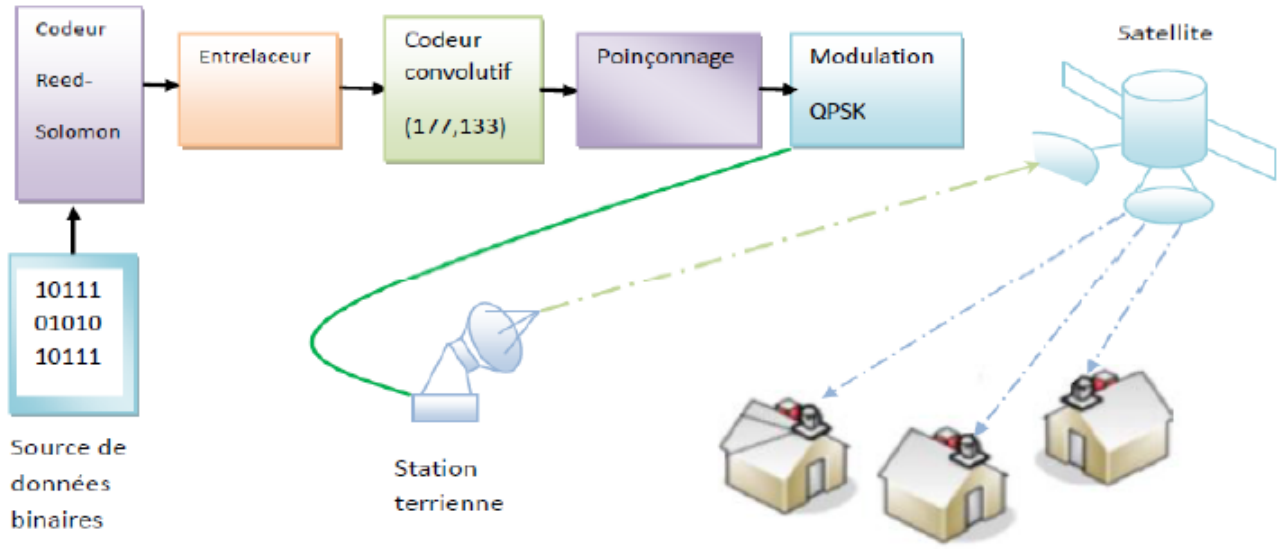


FIG. I.10 – la chaîne de transmission DVB-S [13].

I.7.3 Principaux paramètres d'une chaîne d'émission/réception DVB-S

Les différents blocs qui composent la chaîne d'émission-réception doivent être configurés de manière à obtenir une continuité du signal lors de la transmission, et à assurer à celle-ci une robustesse vis-à-vis des erreurs pouvant survenir lors d'une communication dans des canaux bruités. Les principaux paramètres d'une chaîne DVB-S sont présentés dans le tableau I.1.

Tab. I.1 – Principaux paramètres d'une chaîne DVB-S [9].

Format de compression	MPEG-2
Longueur des paquets transportés	188octets
Codeur de Reed-Solomon	204,188,T=8
Entrelacement convolutif	12 blocs
Codeur convolutif	171,133
Modulation	QPSK
Roll-off	0.35
Débit	23.7à41.5 Mb/s

- **Le facteur roll off**

Sans filtrage, le spectre de fréquence des signaux numériques est théoriquement infini, ce qui impliquerait une bande passante infinie pour leur transmission ; ce n'est bien sûr pas possible. Par conséquent, un filtrage approprié sera nécessaire pour limiter la bande passante requise ; ce filtrage devra être choisi dans l'ordre pour optimiser les performances de la chaîne de transmission mondiale. Le plus filtre commun le plus utilisé est le filtre cosinus surélevé ou, plus simplement, le Filtre de Nyquist. Afin d'optimiser l'occupation de la bande passante et le rapport signal sur bruit, le filtrage est partagé à parts égales entre l'émetteur et le récepteur, chacun comprend un demi-Nyquist (filtre cosinus surélevé en racine carrée). Ce filtrage se caractérise par son facteur roll-off, sa réponse fréquentiel est décrite dans la figure I.11 .

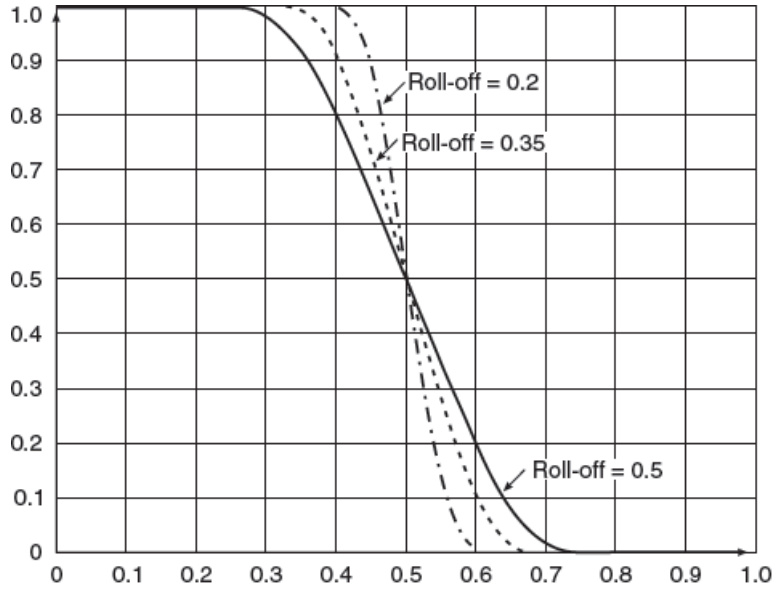


FIG. I.11 – Réponse en fréquence du filtre de Nyquist pour trois valeurs du roll-off [14]

- **Le codeur Reed Salomon**

Afin de pouvoir corriger la plupart des erreurs introduites par le canal physique de transmission, il est nécessaire d'introduire une certaine forme de redondance permettant la détection et la correction d'erreurs de transmission.

Le code Reed-Salomon [14] est un code de détection et de correction des erreurs introduite par le canal de transmission. Il est utilisé dans la norme DVB-S, il traite des paquets de longueur 188 octets et il ajoute 16 octets de redondance qui deviennent donc 204 octets de longueur (figure I.12) ; il peut corriger jusqu'à 8 octets erronés par paquet. S'il y a plus de 8 octets erronés dans le paquet, il sera indiqué comme erronée et non corrigible, et c'est au reste du circuit pour décider quoi en faire.

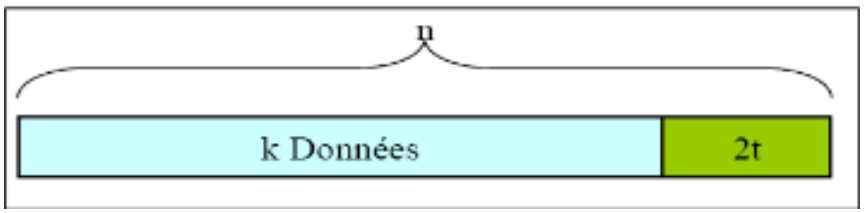


FIG. I.12 – Mot-code de Reed Salomon [11].

- **L'entrelaceur**

L'entrelacement est un technique qui permet de faciliter la détection et la correction des erreurs du décodeur Reed Salomon (RS) par la répartition des erreurs sur plusieurs paquets ce qui permet d'éviter d'avoir à corriger une longue suite de bits. Le principe de l'entrelaceur est d'utiliser plusieurs registres à décalages qui vont induire un retard [15].

- **Le codeur convolutif**

Le codage convolutif est un codage interne qui est un complément efficace au codage Reed–Solomon et à l'entrelaceur, car il corrige d'autres types d'erreurs. Les codes convolutifs peuvent renforcer la protection des données à transmettre. L'idée d'un code convolutif est de lier un bit à un ou plusieurs bits précédents afin que sa valeur puisse être retrouvée en cas de problème. La forte redondance introduite par ce code permet une correction d'erreur efficace, mais elle double le débit initial [14].

- **Le poinçonnage**

Afin d'améliorer l'efficacité du codeur convolutif qui a pour inconvénient de doubler le débit, il est possible de supprimer (poinçonner) certains bits parmi les n bits sortant du codeur. Si par exemple 3 bits se présentent en entrée, il en sort 6 mais seulement 4 sont transmis. Le rendement devient 3/4. Ce dernier résultat s'appelle le facteur de correction d'erreur directe, ou FEC (pour Factor of Error Correction) [15].

- **Calcul du débit binaire**

Le débit binaire (Db) est la quantité de données transmissent par unité de temps (bit/s). Dans la norme DVB-S le débit binaire est calculer en utilisant la formule suivante [18].

$$Db = SR \times FEC \times \frac{188}{204} \times n \tag{I.1}$$

- SR : symbole rate, calculé par la formule $SR = \frac{BW}{1+rolloff}$, où roll off est un facteur de filtrage, il vaut 0.35 en DVB-S, et BW est la bande passante,
- n est le nombre de bits par symbole,
- le facteur $\frac{188}{204}$ est le rendement du code Reed Solomon.

I.8 le standard DVB-S2

I.8.1 Définition

La norme DVB-S2 est une version améliorée de la norme DVB-S largement répandue, développée par le Digital Video Broadcasting (DVB) en 2003. Ce standard utilise des méthodes de codage du signal et du canal améliorées, ainsi que des modulations d'ordre supérieur, et le format de compression MPEG-4. L'utilisation des codes avancé et des modulations d'ordres supérieurs permet une augmentation du débit de transmission de près 30% par rapport à celui du DVB-S [16].

I.8.2 La chaîne de transmission DVB-S2

La chaîne de transmission DVB-S2 (figure I.14) présente une amélioration de quelque caractéristique de la chaîne DVB-S, en terme des méthodes de codage du signal et du canal, ainsi que des ordres de modulations, et le format de compression.

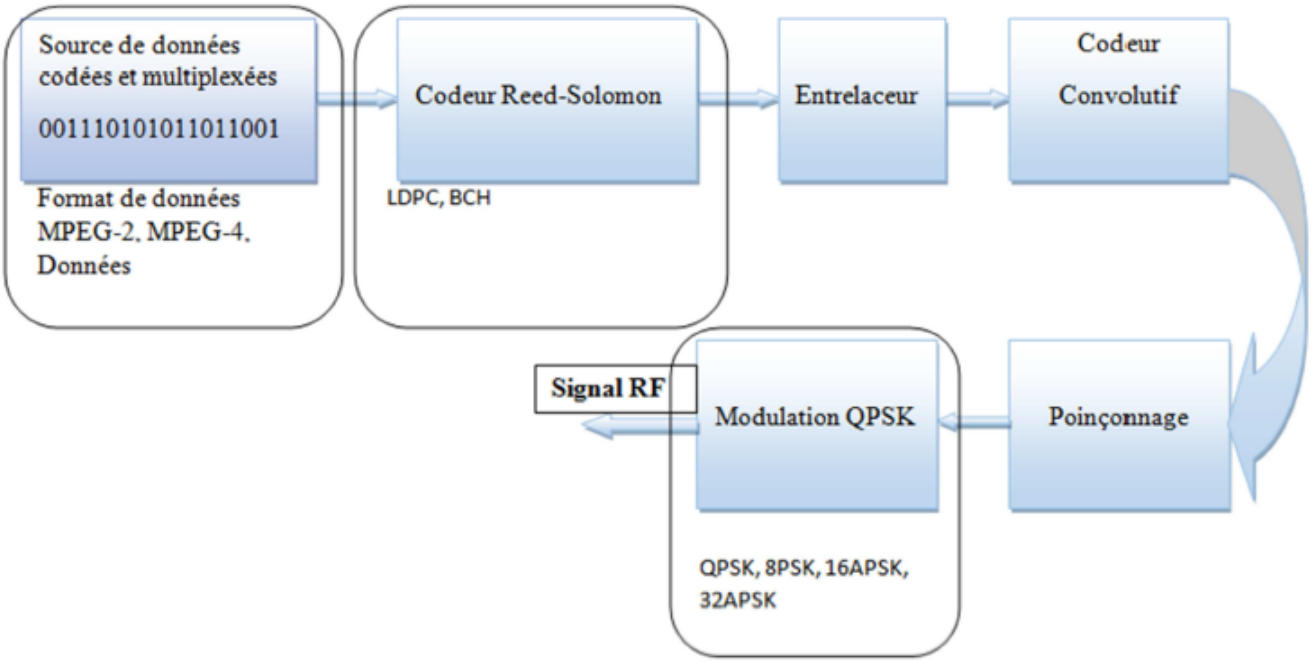


Fig. I.13 – La chaîne de transmission DVB-S2 [17]

I.8.3 Principaux paramètres d'une chaîne d'émission/réception DVB-S2

- **Codage avancé**

Les code LDCP (Low Density Parity Check.) sont une famille de codes correcteurs d'erreurs, permettant la transmission des données sur un canal bruité [18]. Les taux de codage de codeur LDCP représentent le rapport entre les bits d'information (bits Nbch) et les bits de bloc codés LDPC qui est le FECFRAME. En sortie du codeur LDPC, on peut avoir des blocs de 64.800 bits (en applications broadcast) ou de 16.200 bits (applications interactives).

Le code BCH (Bose Chaudhuri Hocquenghem.) c'est un code correcteur d'erreur utilisé pour corriger les erreurs aléatoire, il est caractérisé par le contrôle précis des erreurs dans l'encodage. Le BCH code les bits d'information du message (K_{bch}) dans le message de code (N_{bch}) (voir figure III.19 Annexe A) pour générer des paquets protégés contre les erreurs [18].

DVB-S2 tire parti des dernières avancées technologiques en matière de codeurs. Le codage du canal permet d'améliorer considérablement les conditions de transmission dans les canaux à bruit élevé tels que les liaisons par satellite. Pour cela, la norme s'appuie sur la concaténation d'un code de bloc LDPC interne et d'un code de bloc BCH externe. Ce schéma remplace le codage convolutif, Reed Solomon de DVB-S et offre 11 taux de codage (1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/ 10), qui peuvent être utilisés en fonction de la modulation choisie et des exigences du système [18].

- **Le codeur FEC**

La correction d'erreur directe (FEC) [19] est le sous-système fondamental pour obtenir d'excellentes performances pour la transmission par satellite. Il est réalisé par les deux fonctions de codage, externe BCH externe et intérieur LDPC, et une fonction d'entrelacement appliquée aux bits codés FEC. Selon le domaine d'application du code FEC, les blocs (trames FEC) peuvent avoir une longueur de 64 800 bits (trame normale) ou 16 200 bits

(trame courte).

- **Le modulateur**

Dans le bloc modulateur, le signal est converti de la bande de base vers la bande RF d'émission. Avant l'émission, le signal est filtré par un filtre en racine de Cosinus Surélevé avec un facteur roll-off qui vaut (0.35) pour le standard DVB-S, et (0.25) ou (0.2) pour le DVB-S2 [9].

les signaux sont soumis à une modulation, la norme DVB-S ne définit que deux schémas de modulation, BPSK et QPSK, alors que le DVB-S2 offre quatre schémas de modulation : QPSK, 8-PSK, 16-APSK et 32-APSK. L'ordre de modulation supérieur permet d'améliorer l'efficacité spectrale [20].

- **Le codage et la modulation adaptatifs (ACM)**

Le codage et la modulation adaptatifs (ACM) (figure I.14) est une fonctionnalité intégrée à la spécification du satellite DVB-S2 qui permet un ajustement en temps réel des paramètres de transmission en fonction des conditions de liaison. La norme DVB-S2 est conçue pour un grand nombre d'applications à haut débit, y compris les services interactifs, en particulier les services basés sur IP. Le ACM permettent de modifier le taux de codage du canal et le schéma de modulation, l'émetteur est renseigné sur les conditions de réception, et adapte en conséquence le MODCOD (Modulation et Codage). Si les conditions se détériorent, le système revient à des MODCODs plus puissants qui peuvent continuer à transmettre même à de faibles rapports signal/bruit [12].

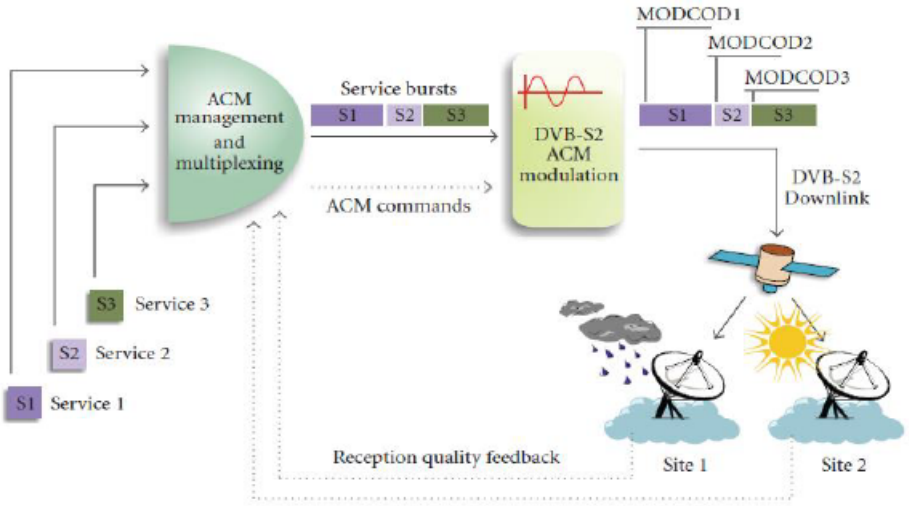


FIG. I.14 – Le codage et la modulation adaptatifs (ACM) [17].

- **Le codage et la modulation variables VCM**

Le codage et la modulation variables (VCM :Variable Coding Modulation) (figure (I.15)) est une technique proposé par le standard DVB-S2 qui adapte le MODCOD en fonction de la destination du trafic. VCM est principalement utilisé pour la transmission TV, il donne la possibilité de transmettre plusieurs services sur une même porteuse, chacun utilise son propre MODCOD et fournir différents niveaux de détection et de correction des erreurs à différentes composantes du service. Pour ce faire, il permet d'appliquer différentes combinaisons de modulation et de taux de FEC à différentes parties du flux de données. Les différentes possibilités de modulation et de taux de codage sont données dans le tableau I.2 [12].

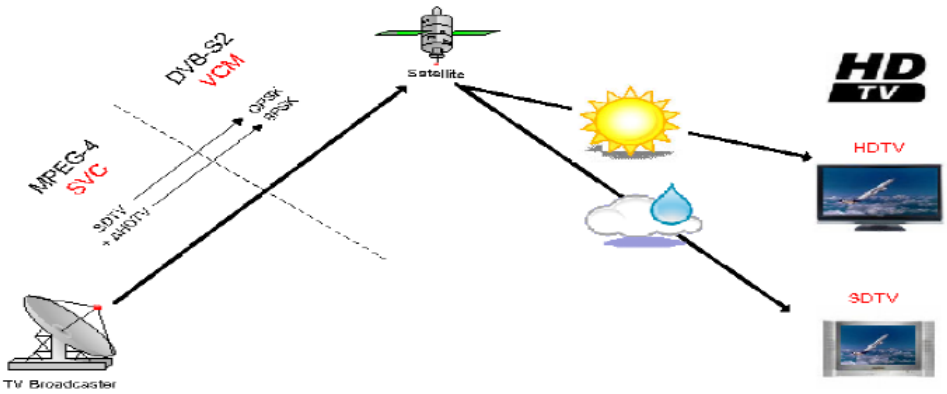


FIG. I.15 – Le codage et la modulation variable(VCM) [17].

TAB. I.2 – Modulation et taux de codage utilisés [9].

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

.

- **Calcul du débit binaire**

Le débit binaire (Db) en DVB-S2 dépend du nombre de bits par symbole (n) et la largeur de bande effective du canal radio (B) et est calculé par la formule $Db = n \times B$ [16].

Le paramètre B (expression (I.2)) dépend de la bande passante du canal BW, les bits d'information (K_{bch}) et les bits de bloc codés LDPC (n_{ldcp}) (voir Annexe A) (Le taux des codes LDPC varie de (1/4) à (9/10) et le taux de codage BCH varie en fonction du taux de code LDPC). Dépend aussi du facteur de réduction du filtre numérique α. Le débit binaire pour le standard DVB-S2 est obtenu à l'aide de l'expression (I.3) [16].

$$B = BW \times (\frac{1}{1+\alpha}) \times (\frac{K_{bch}}{n_{ldcp}}) \tag{I.2}$$

$$Db = n \times BW \times (\frac{1}{1+\alpha}) \times (\frac{K_{bch}}{n_{ldcp}}) \tag{I.3}$$

Chapitre II

Paramétrage des standards DVB-S/DVB-S2

II.1 Introduction

En prévision des jeux méditerranéens d'Oran (JM-Oran 2022), prévus du 25 juin au 06 juillet 2022, la Télédiffusion d'Algérie (TDA) assurera les transmissions télévisuelle de cet événement. TDA envisage de diffuser quatre programmes HD en parallèle, avec un signal le plus robuste tout en occupant le maximum de la bande passante allouée. A cet effet, l'opérateur satellite offre trois différentes bandes passantes, disponibles sur le satellite Eutelsat 7B, pour une location permanente du 24/06/2022 au 06/07/2022. Les trois bandes passantes sont de capacité respectives 6 MHz, 9 MHz et 24 MHz. L'objectif est de déterminer la bande passante optimale parmi les trois bandes proposées, avec les paramètres adéquats (MODCOD : modulation, codage) qui satisfont aux contraintes de diffusion.

Pour définir la capacité de la bande passante et les paramètres qui correspondent aux besoins de TDA, une étude est conduite sur chaque bande passante, prenant en compte des différents paramètres : (FEC, Modulation (DVB- S/DVB-S2)). Les différentes possibilités qu'offre chacune des bandes, en terme de nombre de programmes à transmettre, ainsi que de robustesse du signal et d'occupation spectrale, sont présentées.

II.1.1 Méthodologie

Cette étude exige en premier lieu, le calcul des débits binaires pour chaque ordre de modulation, en fonction du paramètre FEC.

- **Exemple de calcul de débit binaire brut en utilisant la formule (I.1) du débit binaire pour DVB-S**

Les paramètres utilisés sont

— n, en QPSK il est fixe à une valeur de (2),
— $FEC = \frac{2}{3}$ (Le FEC prend ses valeurs par la suite : (2/3), (3/4), (5/6), (7/8)),
— roll off est fixé à une valeur de 0.35,

— bande passante BW= 6 MHz (La capacité de la bande passante varie comme suit : 6 MHz, 9 MHz, 24 MHz),
— $SR = \frac{BW}{1.35}$

on obtient

$$Db = \frac{6}{1.35} \times \frac{2}{3} \times \frac{188}{204} \times 2$$

$$Db = 5.4556 Mbit/s$$

- **Exemple de calcul de débit binaire brut en utilisant la formule (I.3) pour DVB-S2**

Les paramètres utilisés sont
— n, en 8-PSK il est fixe à une valeur de (3),
— $FEC = \frac{3}{4}$ (Le FEC prend ses valeurs par la suite : (2/3), (3/4), (5/6), (7/8)),
— roll off est fixé à une valeur de 0.25,
— bande passante BW= 9 MHz (La capacité de la bande passante varie comme suit : 6 MHz, 9 MHz, 24 MHz),
— les bits d'information (N_{bch}) et les bits de bloc codés (n_{ldcp}) sont présenté dans la figure III.19 de l'Annexe A.

on obtient

$$Db = 3 \times 9 \times (\frac{1}{1 + 0.25}) \times \frac{11712}{16200}$$

$$Db = 15.84 Mbit/s$$

- **Calculateur de débit binaire**

TDA utilise le calculateur Bitrate Calculator (disponible en ligne) (figure II.1 et II.3). Ce calculateur est basé sur les formules précédentes (I.1, I.3). Les résultats se présentent comme dans les figures II.2 et II.3.

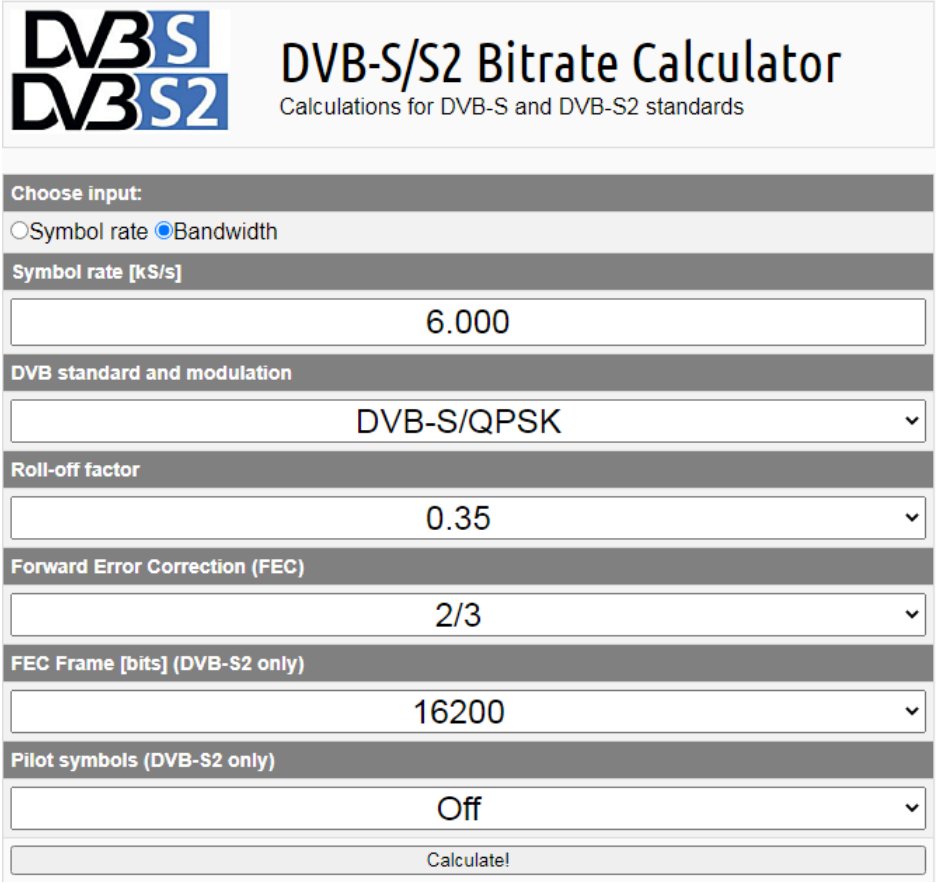


Fig. II.1 – Interface graphique Bitrate Calculator pour le calcul du débit binaire pour DVB-S.

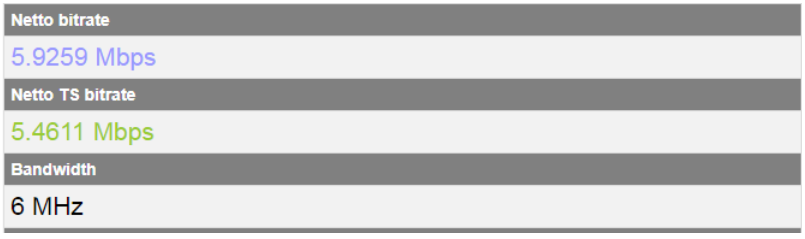


Fig. II.2 – Affichages des paramètres sortie pour standard DVB-S.

Les résultats obtenus à partir de la formule (I.1) présentent un écart de 0.1% par rapport à ceux affichés par le calculateur. Cette marge d'erreur reste cependant négligeable, elle n'influence pas sur la suite des résultats de l'étude.

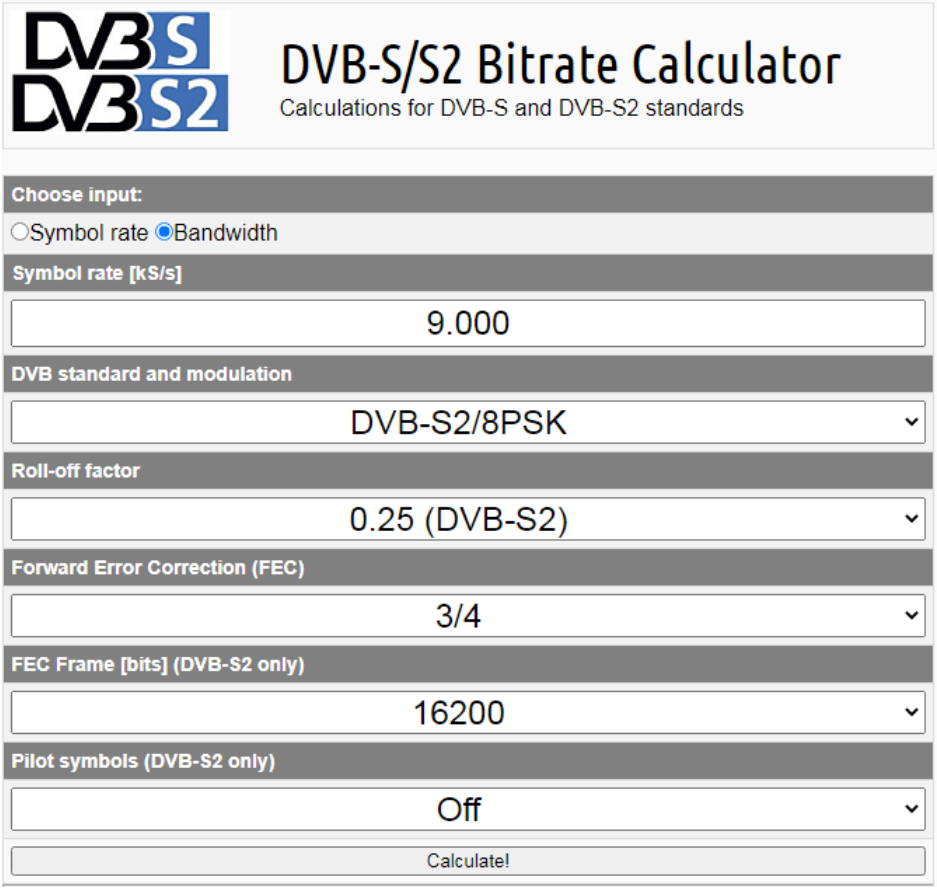


FIG. II.3 – Interface graphique Bitrate Calculator pour le calcul du débit binaire pour DVB-S2.

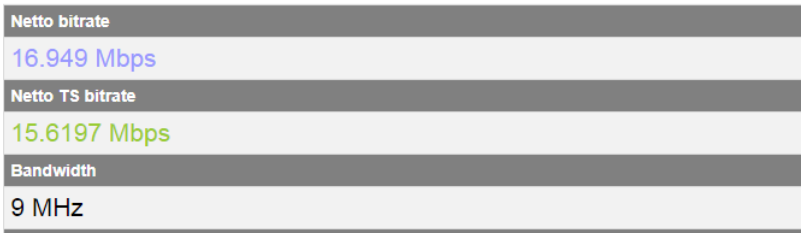


FIG. II.4 – Affichages des paramètres sortie pour standard DVB-S2.

Les résultats obtenus à partir de la formule (I.3) présentent un écart de 0.3% par rapport à ceux affichés par le calculateur. Cette marge d'erreur reste cependant négligeable, elle n'influence pas sur la suite des résultats de l'étude.

Après le calcul des débits binaires, le calcul du nombre de programmes TV possibles est effectué en divisant le débit binaire brut

— par 9 pour trouver le nombre de programmes HD (chaque programme HD est sur 9 Mbit/s),

— par 6 pour trouver le nombre de programmes SD (chaque programme HD est sur 6 Mbit/s).

Le nombre de bits non-utilisés dans la bande passante doit être le minimum possible, il est défini par la différence entre le débit binaire brut et le nombre de bits occupés sur la bande. La meilleure solution sera celle qui procurera le nombre maximal de programmes HDTV et le minimum de bits non-utilisés tout en ayant le MODCOD adéquat.

II.1.2 Calcul pour les trois bandes passantes

Les résultats obtenus pour chacune des bandes passantes disponibles (6 MHz, 9 MHz, 24 MHz) sont présentés dans les tableaux II.1, II.2, II.3, II.5, II.6 respectivement.

- **Étude de la bande passante 6 MHz**

Tab. II.1 – Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S.

La modulation QPSK				
FEC	**2/3**	**3/4**	**5/6**	**7/8**
Le débit binaire brut (Mbit/s)	5.4611	6.1438	6.8264	7.1678
Le nombre de programmes HD/SD	**aucune**	**1 SD**	**1 SD**	**1 SD**
La largeur de la BW perdue (Mbit/s)	inexploitable	0.1438	0.8264	1.1678

Tab. II.2 – Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S2.

La modulation 8-PSK				
FEC	**2/3**	**3/4**	**5/6**	**7/8**
Le débit binaire brut (Mbit/s)	9.2328	10.4131	11.5934	12.1836
Le nombre de programmes HD/SD	**1 HD**	**1HD**	**1 HD**	**1 HD**
La largeur de la BW perdue (Mbit/s)	0.2328	1.4131	2.5934	0.1836

Observation

En utilisant la modulation QPSK (DVB-S) et en augmentant les valeurs du FEC (tableau II.1) pour une bande passante de 6 MHz, les valeurs des débits binaires augmentent. En utilisant la modulation 8-PSK (DVB-S2) (tableau II.2) et en augmentant les valeurs du FEC, les valeurs des débits binaires augmentent encore plus comparé au valeurs obtenues en utilisant la QPSK (DVB-S). La DVB-S2, peut par conséquent, transmettre plus de programmes que la DVB-S.

Interprétation

Le maximum de programmes qu'on peut transmettre en utilisant la bande passante 6 MHz est un seul programme HD en utilisant le MOD-COD (8-PSK, 7/8) (tableau II.2). Les paramètres obtenus nous permettent d'occuper le maximum de bande passante, mais il faut noter que cette valeur du FEC (7/8) nous donne un signal peu robuste, qui ne résiste pas aux intempéries par exemple.

- **Étude de la bande passante 9 MHz**

Tab. II.3 – Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S.

La modulation QPSK				
FEC	**2/3**	**3/4**	**5/6**	**7/8**
Le débit binaire brut (Mbit/s)	8.1917	9.2157	10.2397	10.7516
Le nombre de programmes HD/SD	**1 HD**	**1 HD**	**1 HD**	**1 HD**
La largeur de la BW perdue (Mbit/s)	2.1917	0.2157	1.2397	1.7516

Tab. II.4 – Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S2.

La modulation 8-PSK				
FEC	**2/3**	**3/4**	**5/6**	**7/8**
Le débit binaire brut (Mbit/s)	13.8492	15.6197	17.3902	18.2754
Le nombre de programmes HD/SD	**1 HD**	**1HD** et **1SD**	**1HD** et **1SD**	**2 HD**
La largeur de la BW perdue (Mbit/s)	1.8492	0.6197	2.3902	0.2754

Observation

En utilisant la modulation QPSK (DVB-S) et en augmentant les valeurs du FEC (tableau II.3) pour une bande passante de 9 MHz, les valeurs des débits binaires augmentent. En utilisant la modulation 8-PSK (DVB-S2) (tableau II.4) et en augmentant les valeurs du FEC, les valeurs des débits binaires augmentent encore plus comparativement aux valeurs obtenues avec la QPSK (DVB-S). La DVB-S2 peut donc transmettre plus de programme que la DVB-S, et la bande passante de 9 MHz peut transmettre plus de programmes que la bande passante de 6 MHz.

Interprétation

Le maximum de programmes qu'on peut transmettre en utilisant cette bande passante est

a)Deux programmes HD avec un MODCOD (8-PSK, 7/8) (tableau II.4) avec un maximum d'occupation spectral.

b)Un programme SD et un programme HD en utilisant le MODCOD (8PSK, 3/4) (tableau II.4), ses paramètres nous permettent d'exploiter le maximum de bande passante avec une forte robustesse du signal puisque la valeur du FEC est de 3/4.

- **Étude de la bande passante 24 MHz**

TAB. II.5 – Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S.

La modulation QPSK				
FEC	**2/3**	**3/4**	**5/6**	**7/8**
Le débit binaire brut (Mbit/s)	21.8446	24.5752	27.3056	28.671
Le nombre de programmes HD/SD	**2 HD**	**2 HD** et **1 SD**	**3 HD**	**3 HD**
La largeur de la BW perdue (Mbit/s)	3.8446	0.5752	0.3056	1.671

TAB. II.6 – Tableau des débits binaires en fonction des paramètres de la chaîne DVB-S2.

La modulation 8-PSK				
FEC	**2/3**	**3/4**	**5/6**	**7/8**
Le débit binaire brut (Mbit/s)	38.0282	42.8083	47.5884	49.9784
Le nombre de programmes HD/SD	**4 HD**	**4 HD** et **1 SD**	**5 HD**	**5 HD**
La largeur de la BW perdue (Mbit/s)	2.0282	0.8083	2.5884	4.9784

Observation

En utilisant la modulation QPSK (DVB-S) et en augmentant les valeurs du FEC (tableau II.5) pour une bande passante de 24 MHz, les valeurs des débits binaires augmentent (comme pour les deux cas précédents). En utilisant la modulation 8-PSK (DVB-S2) (tableau II.6) et en augmentant les valeurs du FEC, les valeurs des débits binaires augmentent plus comparativement aux valeurs obtenues en utilisant la QPSK (DVB-S). La DVB-S2 peut transmettre plus de programmes que la DVB-S, et la bande passante de 24 MHz peut transmettre plus de programmes que les deux bandes passantes 6 MHz et 9 MHz.

Interprétation

Le maximum de programmes HD qu'on peut transmettre en utilisant cette bande passante est

a)Cinq programmes HD avec le MODCOD (8-PSK, 7/8) (tableau II.6), les paramètres obtenus ne nous permettent pas d'exploiter le maximum de bande passante, et on aura un signal relativement faible, puisque la valeur du FEC est de 7/8. Le même nombre de programmes peut être obtenu avec le MODCOD (8-PSK, 5/6) (tableau II.6), avec moins de bande

passante perdue, et un signal plus robuste pour un FEC de 5/6.

b)Un programme SD et quatre programmes HD en utilisant le MODCOD (8-PSK, 3/4) (tableau II.6), ses paramètres nous permettent d'occuper le maximum de bande passante, et avec un FEC de (3/4) on a une forte robustesse du signal, alors notre signal va être aussi robuste.

c)Quatre programmes HD en utilisant le MODCOD (8-PSK, 2/3) (tableau II.6), ses paramètres nous permettent d'occuper le maximum de la bande passante et avec cette valeur de FEC (2/3) on a un signal encore plus robuste qu'avec un FEC de 3/4. Le signal est alors très robuste, mais un nombre réduit de chaîne TVHD à transmettre par rapport au deux cas précédent.

II.1.3 La solution optimale

Dans la problématique décrite en début de ce chapitre, il y a un besoin de transmettre quatre programmes HD en même temps, avec une forte robustesse du signal et en occupant le maximum de bande passante.
En terme de bande passante, l'étude précédente, montre que la bande passante qui répond le plus à la contrainte, est la 24 MHz. Cette bande passante présente deux cas possibles qui permettent de transmettre quatre programmes HD avec un paramétrage différent ; le cas de MODCOD (8-PSK,3/4) (tableau II.6) et le cas de MODCOD (8-PSK, 2/3) (tableau II.6) qui garantissent, tous les deux, un signal robuste.
En terme de MODCOD, la solution optimale est le cas de (8-PSK, 3/4) qui nous donne la possibilité de transmettre un programme SD et quatre programmes HD (II.6), ses paramètres nous permettent d'occuper le maximum de bande passante, et avec un FEC de (3/4) on a une forte robustesse du signal. De plus, il est possible de transmettre un cinquième programme en SD qu'on laissera comme programme secours si des clients voudront recevoir un programme en SD.

Chapitre III

Implémentation, tests et optimisation

III.1 Introduction

Durant notre stage effectué au sein de TDA, différent tests sur la chaîne de transmission DVB-S/S2 ont été effectué.
Ce troisième chapitre est consacré à la vérification des résultats obtenus dans le deuxième chapitre, à savoir les débits binaires propre à chaque bande passante. Le montage de la chaîne de transmission DVB-S/DVB-S2 en utilisant le matériel de l'entreprise est d'abord décrit. Le paramétrage de cette chaîne est par la suite implémenté en boucle locale, suivi d'une étude d'optimisation en terme d'efficacité spectrale. Une étude comparative en terme de performance (taux d'erreur binaire (BER) et signal sur bruit C/N) est conduite sur les deux standards. Enfin, un test réel est effectué, à priori, afin de déterminer le restant des paramètres (azimut, élévation) pour la couverture en directe du match Algérie VS Cameroun prévu le 29 mars 2022.

III.2 Montage d'une chaîne DVB-S/DVB-S2 en boucle locale

Afin d'établir les différents tests qui nous permettent de valider les résultats obtenus dans l'étude précédente II), et aussi d'optimiser l'efficacité spectrale et le débit binaire pour une bande donnée, nous avons réalisé le montage d'une chaîne de transmission DVB-S/DVB-S2 en boucle locale, c'est à dire sans transmettre le signal par satellite.

Pour ce faire, nous avons utilisé un codeur, un modulateur, un récepteur/décodeur intégré IRD (Integrated Receiver/Decoder), un distributeur, un analyseur de spectre, et un switch. Nous avons alimenté le système par un signal vidéo. La configuration des équipements s'est faite à l'aide d'un ordinateur portable.

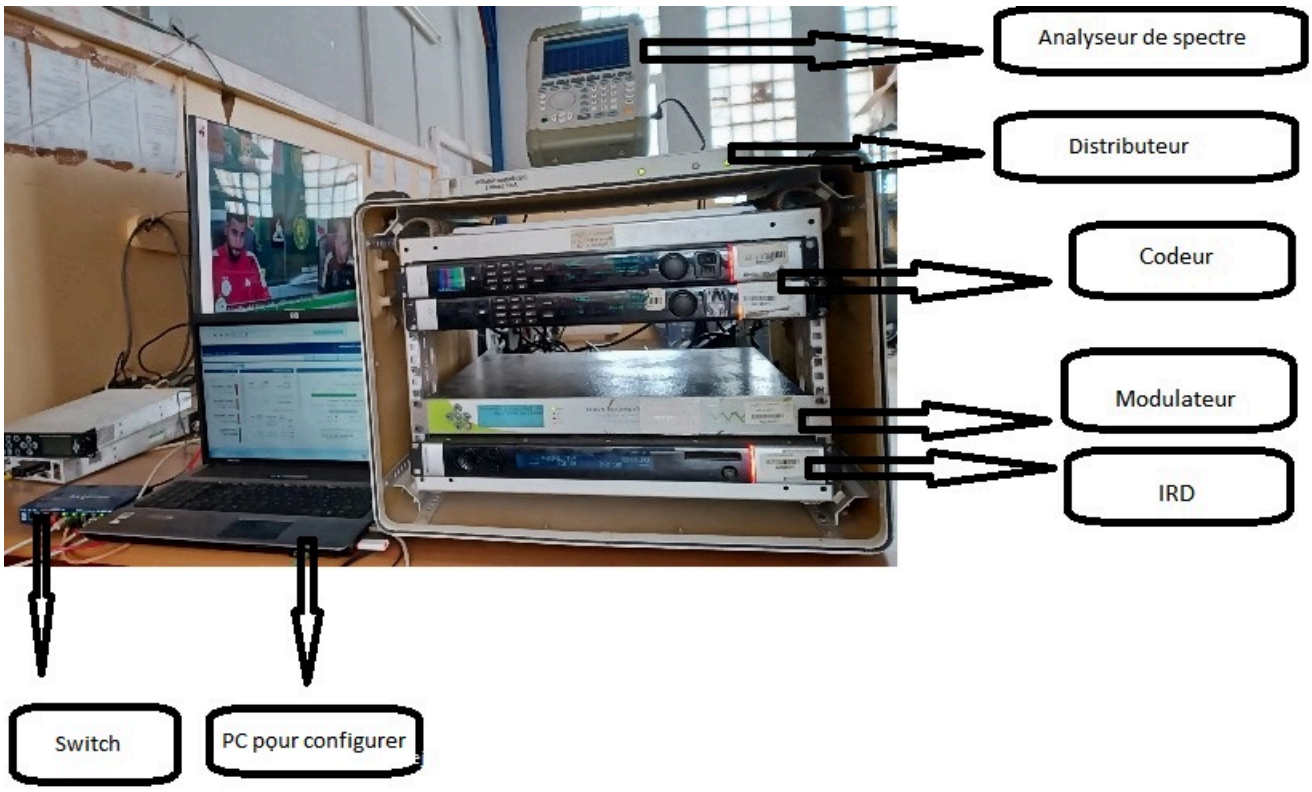


Fig. III.1 – Montage d'une chaîne DVB-S/DVB-S2.

Le signal vidéo (SDI=Serial Digital Interface) va attaqué l'entrée du codeur, ce signal analogique, va être numérisé, puis compresser(codage source) en MPEG-2 si on est en DVB-S, ou en MPEG-4 si on est en DVB-S2.

Le signal compressé, dit ASI (Asynchronous Serial Interface), est par la suite modulé (QPSK,8-PSK...) à l'aide du modulateur qui effectue également l'opération codage canal (code reed-Solomon, BCH, LDCP, codeur FEC).

En test réel, le signal à la sortie du modulateur est acheminé vers le Up-Converter puis HPA et antenne d'émission. En boucle locale, ce signal est plutôt acheminé vers un distributeur L-Bande afin d'être divisé en deux signaux, l'un pour l'analyseur de spectre pour visualiser la porteuse et le signal modulé, l'autre pour l'IRD afin de recevoir le signale émis. Dans notre montage, nous n'avons pas eu recoure à un multiplexeur car nous ne disposons que d'un seul signal à traiter. Les équipements, modulateur,

codeur et IRD sont liés à un switch ethernet qui permet de les configurer via un ordinateur portable.

III.2.1 Description du matériel utilisé

L'analyseur de spectre (ROHDE&SCHWARZ) : c'est un appareil de mesure utilisé pour l'affichage des signaux dans le domaine fréquentiel. La porteuse pure et le signal modulé sont présentés dans les figures III.2 et III.3 respectivement.

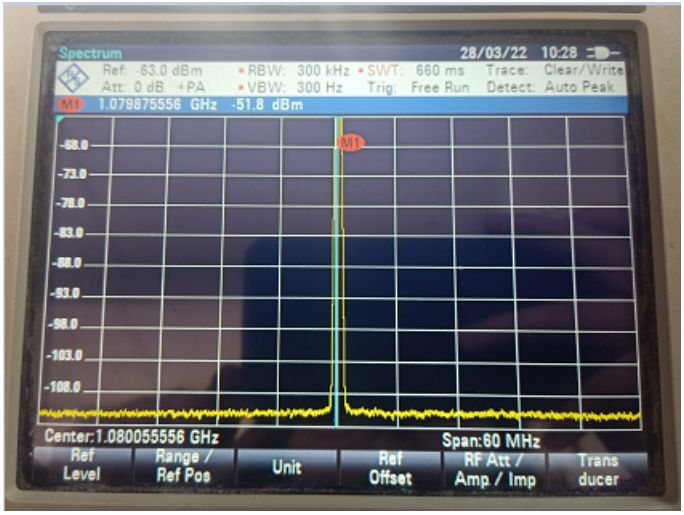


FIG. III.2 – La porteuse pure.

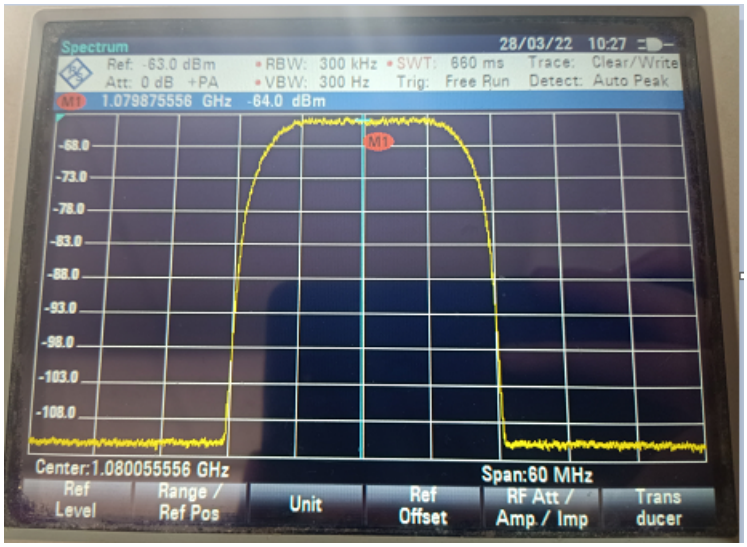


FIG. III.3 – Le signal modulé.

Le distributeur de signal : utilisé pour acheminer le signal vers deux appareils ou plus, dans notre montage, le signal est distribué à l'analyseur de spectre et à l'IRD.

Codeur (Thomson EM2000) : utilisé pour le codage du signal bande de base avec un code précis. Dans notre montage, le codage MPEG-2 est utilisé dans le cas d'un signal DVB-S, et le MPEG-4 pour le cas du signal en DVB-S2.

Le Modulateur (Newtec M6100) : un modulateur DVB-S/DVB-S2 assure la modulation QPSK, en 8-PSK, et M-APSK.

L'IRD (Integred Receive Data)(Ericsson) : il démodule, décode puis restitue le signal original pour visualisation.

III.2.2 Vérification du paramétrage théorique

Le paramétrage obtenu dans l'étude précédente du chapitre II (MODCOD ou FEC), est implémenté sur le montage décrit ci-dessus. Les résultats obtenus pour le débit binaire sont en forte concordance avec les prévisions théoriques décrites dans le chapitre II. A titre d'exemple, pour la bande passante 9 MHz avec un MODCOD (QPSK 2/3), nous avons configuré le codeur et activé le codage MPEG-2, le modulateur est ensuite configuré à une modulation QPSK (DVB-S2) et un FEC 2/3. La configuration du codeur est montré dans la figure III.4 où le type de codage est défini MPEG2 pour DVB-S, et MPEG4 pour DVB-S2.

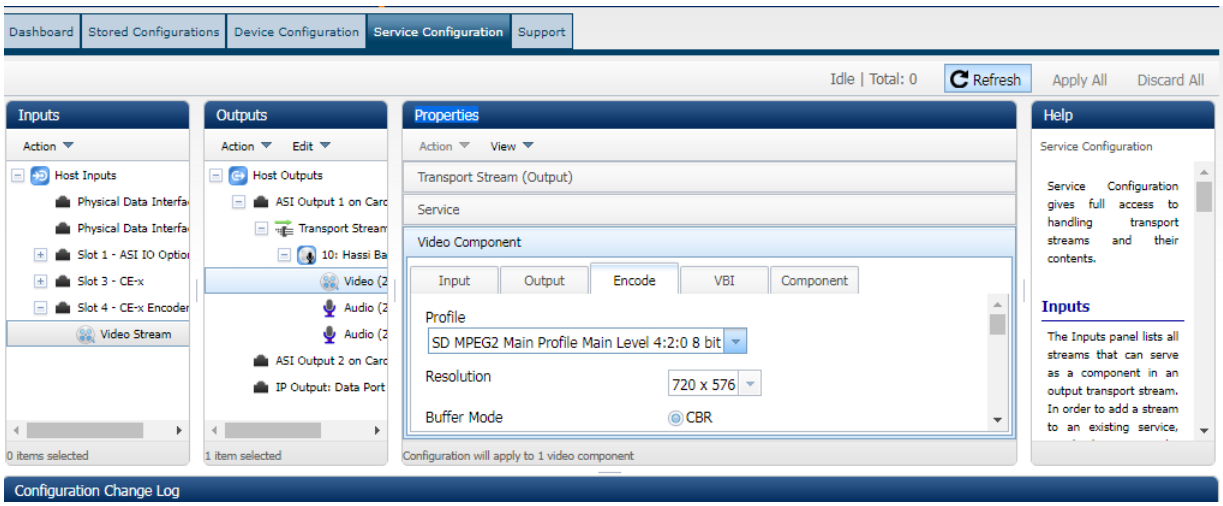


Fig. III.4 – Interface de configuration du codeur.

La configuration du modulateur est montré dans la figure III.5 où le MODCOD et la valeur du symbole rate sont définis, le valeur du débit binaire correspondant est alors affiché.

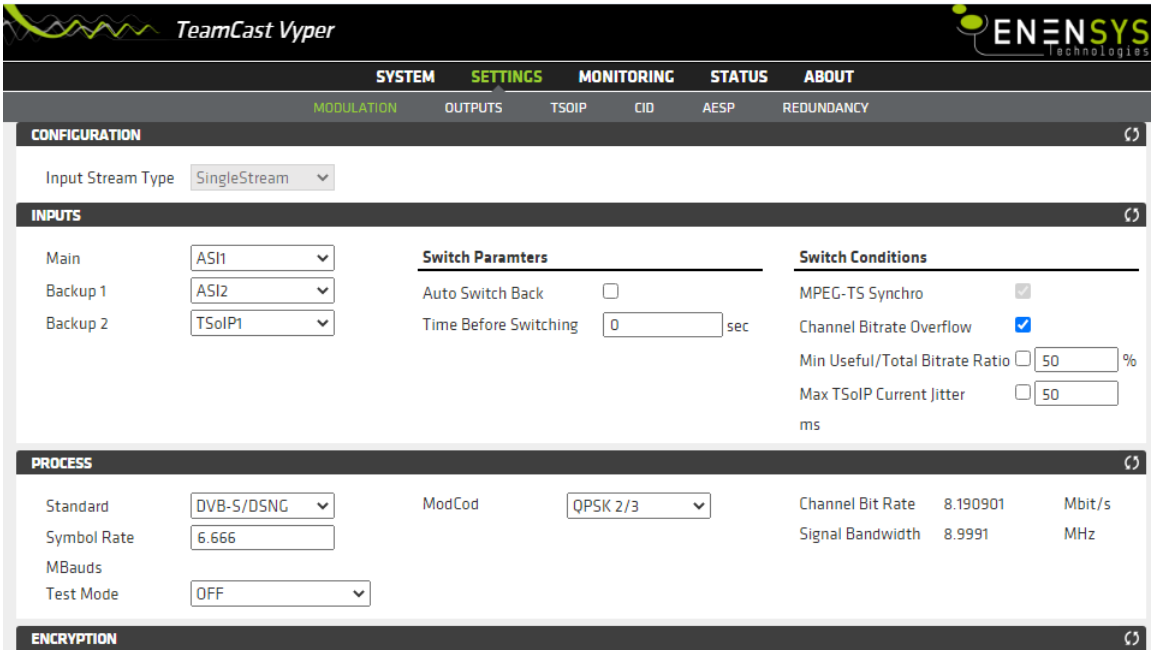


Fig. III.5 – Interface de configuration du modulateur.

Il est à remarquer que pour la bande passante 9 MHz avec un MODCOD (QPSK, 2/3) le débit binaire affiché sur le modulateur est de 8.190901 Mbit/s, cette valeur est très proche de la valeur obtenu théoriquement qui est 8.1917 Mbit/s, la marge d'erreur est de 0.009750% qui est une valeur négligeable. En vérifiant aussi les résultats obtenus pour la bande passante 24 MHz avec un MODCOD (8-PSK,3/4), le débit binaire affiché sur le modulateur est 42.8052 Mbit/s cette valeur est très proche de la valeur obtenue théoriquement qui est 42.8083 Mbit/s, la marge d'erreur est de 0.007240% qui reste également une valeur négligeable. Cela nous réconforte dans notre étude théorique.

La même opération a été effectuée pour les autres bandes passantes, avec la même conclusion.

III.2.3 Optimisation de l'efficacité spectrale

Afin d'analyser les débits binaires et l'efficacité spectrale de la norme DVB-S par rapport à la norme DVB-S2, la valeur de la bande passante est fixée à 10 MHz (à titre test). Les valeurs des débits binaires obtenus, en fonction du MODCOD,sont présentés sur le graphe présenté sur la figure III.6.

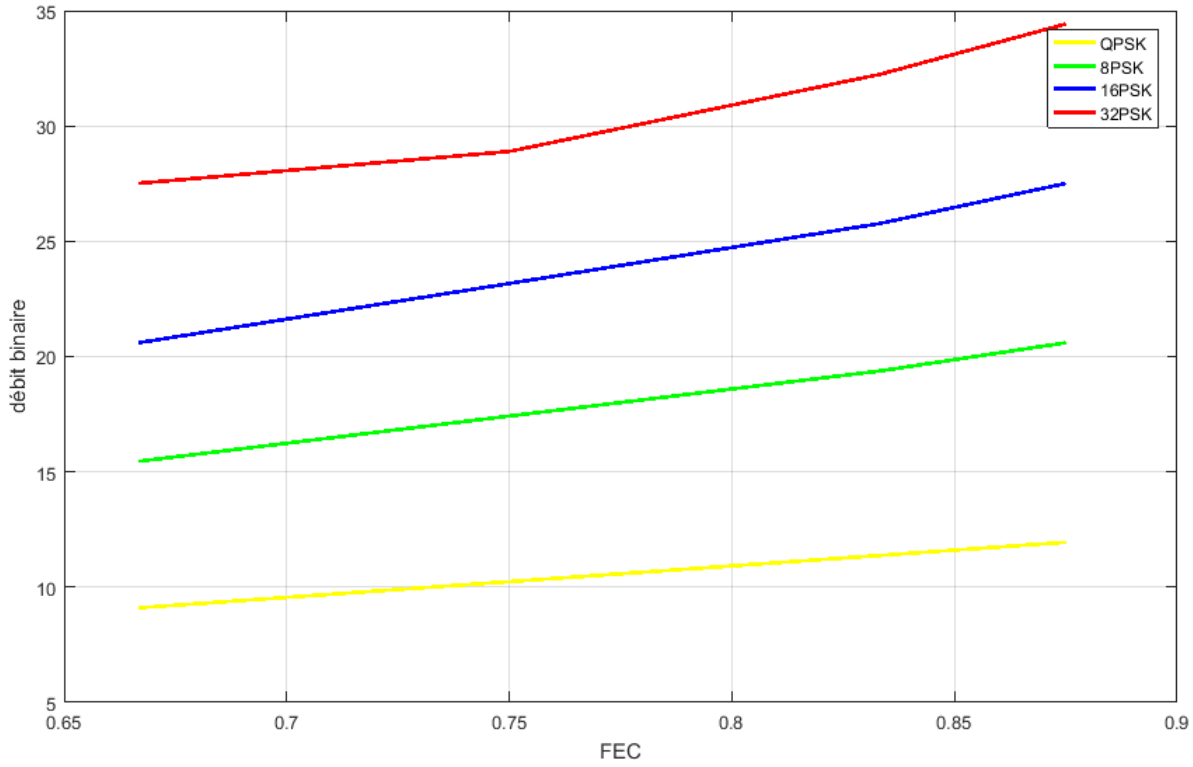


FIG. III.6 – Courbes des débits binaires relatifs à une bande passante de 10 MHz, obtenus sur le montage en boucle locale.

Interprétation

Á partir des graphes présentés sur la figure III.6, nous remarquons que le débit binaire est plus important lorsque le MODCOD augmente :

— Le débit binaire est plus élevé pour les ordres supérieurs de modulation (8-PSK, 16-PSK, 32-PSK) ; en effet ces dernier permettent de transporter plus de bits par rapport à la QPSK. L'augmentation de l'ordre de modulations nous permet donc d'optimiser l'efficacité spectrale, ce qui implique transporter plus d'information en utilisant le standard DVB-S2 par rapport à DVB-S d'une part.

— D'autre part, les graphes de la figures III.6, montrent que lorsque la valeur du FEC augmente, le débit binaire augmente aussi. En effet, une valeur de FEC élevée signifie l'envoi d'un maximum de bits utiles, c'est à dire un maximum d'information, donc une amélioration l'efficacité spectrale du signal.

Alors, l'optimisation de l'efficacité spectrale (en fixant la bande passante) repose sur l'augmentation du taux de codage et/ou de l'ordre de la

modulation utilisée. Mais à une certaine valeur de MODCOD, les données transmises seront moins protégées (contre les interférence, les effets météorologiques, etc ...), et certains récepteurs ne seront plus en mesure de recevoir le signal. La valeur du MODCOD ne doit pas dépasser une certaine valeur limite afin d'éviter la dégradation du signal. Ainsi, pour TDA ce facteur est limité à 0.875.

Conclusion

L'apparition de la nouvelle norme DVB-S2 garantit, pour une bande passante donnée, une meilleure efficacité spectrale (jusqu'à 30%) et offre des débits binaires élevés par rapport à la DVB-S (QPSK), et ce grâce à l'utilisation des ordres de modulations élevés (8-PSK, 16-APSK, 32-APSK), et des valeurs de FEC élevées.

La DVB-S et la DVB-S2 offrent, toutes deux, une grande souplesse de paramétrage. Celui-ci peut être orienté selon l'objectif visé. Si un très grand débit à transporter est favorisé, un ordre de modulation élevé (8-PSK, 16-APSK, 32-APSK) et un FEC 5/6 ou 7/8 sont retenus comme paramètres. Si par ailleurs l'enjeu est une performance radioélectrique élevée (pour réaliser des transmissions difficiles où la couverture satellite est faible), le choix d'un ordre de modulation faible (QPSK) et d'une valeur de FEC de 2/3 ou de 3/4 est retenu.

III.3 Les performances de la chaîne DVB-S/DVB-S2 en termes de BER et C/N

Afin d'étudier les performances des signaux modulés en DVB-S et en DVB-S2, nous avons effectué des tests sur des signaux satellites DTH (Direct To Home) utilisant les deux types de modulation (QPSK, 8-PSK) avec un FEC de 3/4 sur le satellite E7WA (7.3° West). Pour cela, le signal satellite est reçu à l'entrée d'un IRD, sa puissance est réduite à l'aide d'atténuateurs III.7 de différents calibres. L'intensité du signal C/N (Carrier/Noise) et le taux d'erreur BER (Bit Error Rate) sont affichés sur l'interface de l'IRD (Figure III.8, Figure III.9). Les deux courbe pour les valeurs obtenues, BER en fonction de C/N, pour les deux standards DVB-S et DVB-S2

respectivement, sont représentées dans la Figure III.10.



FIG. III.7 – Les atténuateurs utilisés pour l'atténuation du signal DTH.

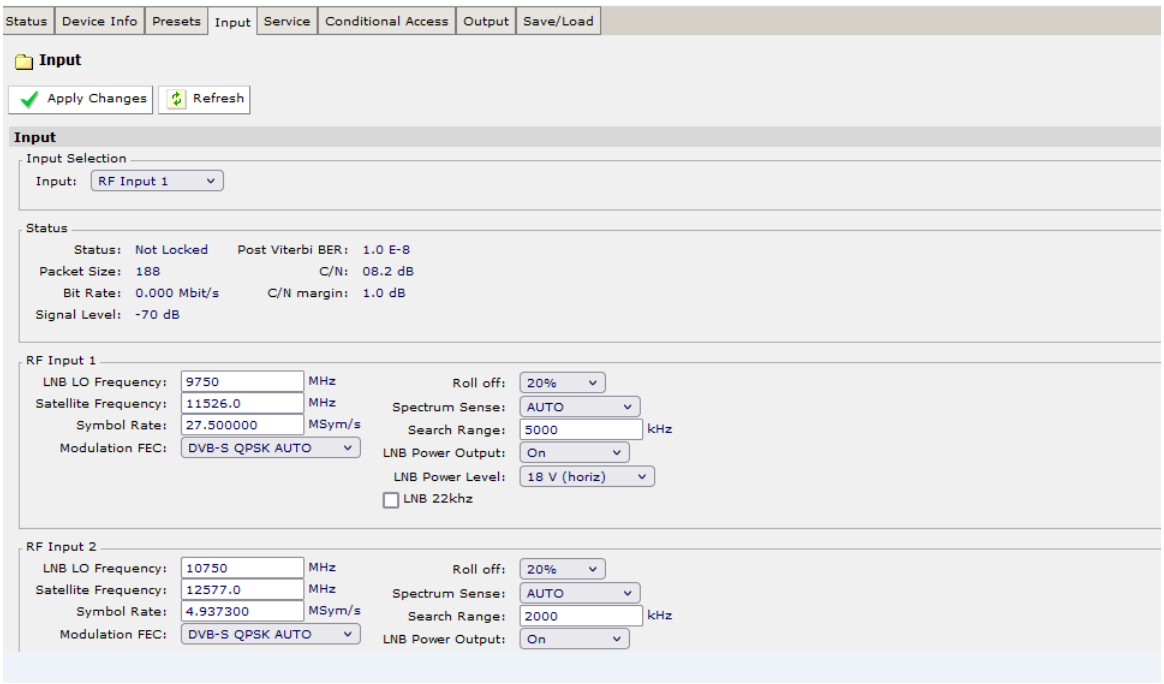


FIG. III.8 – Affichage des résultats obtenus sur IRD pour DVB-S.

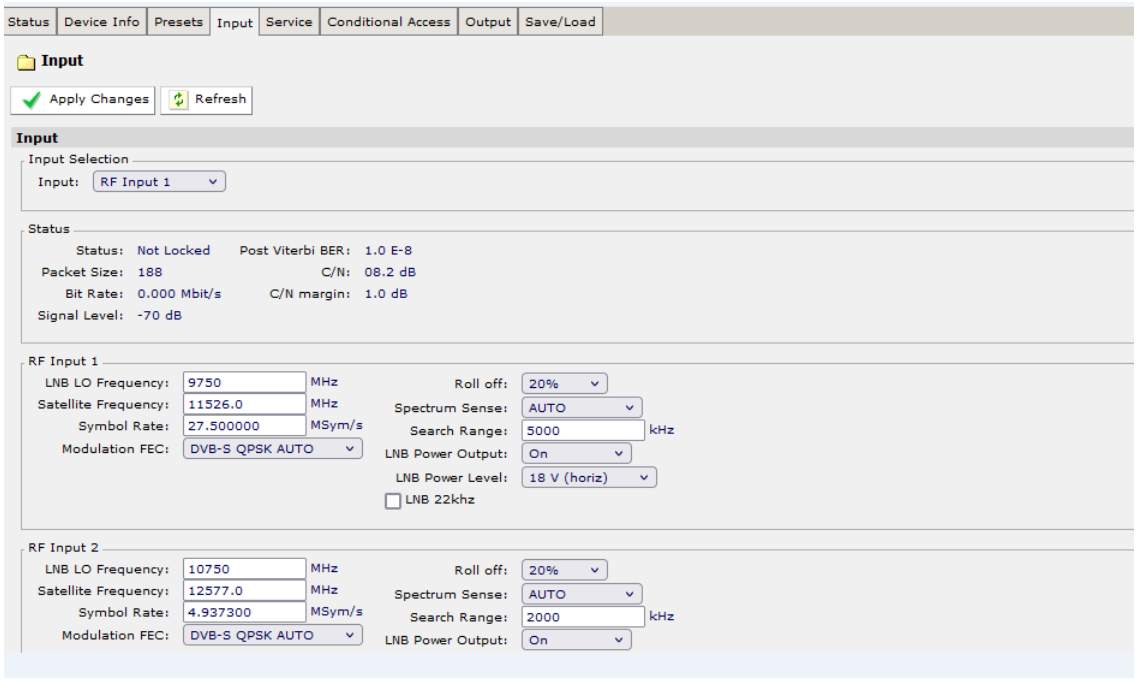


Fig. III.9 – Affichage des résultats obtenus sur IRD pour DVB-S2.

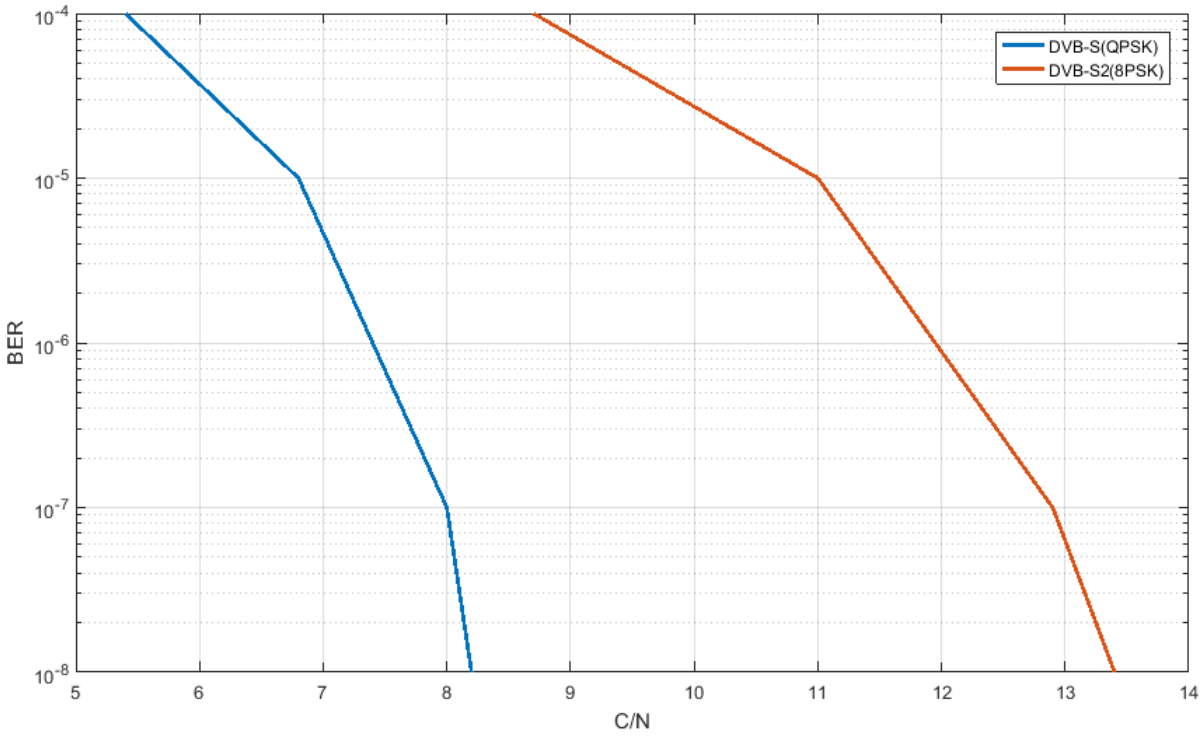


Fig. III.10 – Courbes de BER en fonction de C/N pour DVB-S/DVB-S2.

Observation

Des deux courbes de la figure III.10, quand les valeurs de C/N augmente, les valeurs de BER diminuent. On remarque aussi que pour une même valeur de C/N qui égale à 8.7 dB, on obtient une valeur de BER égale a 10^{-8} en DVB-S, et une valeur de 10^{-4} en DVB-S2.

Interprétation

En minimisant la valeur de BER jusqu'à 10^{-8}, nous auront une meilleur transmission de signal (qualité). Pour atteindre cette valeur en DVB-S2 (8-PSK), il va falloir fournir une puissance de signal jusque à 40% plus élevée par rapport à DVB-S.

III.3.1 Diagramme de constellation pour DVB-S/DVB-S2 obtenu sur SATLINK.

En utilisant un appareil de mesure appelé SATLINK (Le Satlink qui est un mesureur DVB-S/S2 MPEG-2/4, ce mesureur possède toutes les fonctionnalités nécessaires pour le pointage d'antennes satellites), il est possible d'afficher les diagramme de constellation pour la QPSK (DVB-S) et la 8-PSK (DVB-S2) avant et après le placement des atténuateurs. Cet appareil est présenté sur la figure III.11.



Fig. III.11 – Appareil de mesure SATLINK.

Les diagrammes de constellation obtenus sont présentés sur les figures III.12, III.13, III.14, III.15.

Diagramme de constellation pour QPSK



FIG. III.12 – Diagramme de constellation pour la QPSK à un puissance de 6 dB.



FIG. III.13 – Diagramme de constellation pour la QPSK à une puissance de 8.2 dB.

Diagramme de constellation pour 8-PSK



FIG. III.14 – Diagramme de constellation pour la 8-PSK à une puissance de 10.1 dB.



FIG. III.15 – Diagramme de constellation pour la 8-PSK à une puissance de 13.4 dB.

Observation

On remarque que dans les diagrammes de constellation des deux modulations QPSK et 8-PSK, à des valeurs de puissance de signal élevées, les points de constellation sont séparés agglomérats)(figure III.13, III.15), ce qui est qualifié de bonne constellation : bonne réception du signal. Par contre, à des valeurs de puissance basses, les points de constellation ne sont pas séparés (figure III.12, III.14), ce qui signifie une perte de signal.

Interprétation

Pour une bonne réception du signal il nous faut une bonne constellation, et pour cela il faut séparer les points de la constellation en prenant des valeurs de puissance de signal élevé.

Conclusion

D'après l'étude précédente, on conclut que pour assurer une bonne réception en DVB-S2, une puissance élevée du signal est nécessaire par rapport à celle pour DVB-S. Pour la norme DVB-S2 la puissance du signal pour atteindre le taux d'erreur 10^{-8} est 40% plus importante que pour la norme DVB-S, résultant dans une bonne constellation.

III.4 Tests réels de transmission satellite

Pour assurer la bonne transmission, en directe, du match Algérie VS Cameroun prévu le 29 mars 2022, la direction de l'exploitation de la TDA a été invitée à faire des tests de transmission avant la date prévue. Ce test a été effectué le 14 mars 2022 au téléport de Bouchaoui à l'aide d'une station FLAYWAY (figure III.16) qui est une station de diffusion mobile permettant la transmission satellite des événements, elle est utilisée pour couvrir les évènements (sportifs, politiques ou culturels... etc) sur le lieu des événements.



Fig. III.16 – La station FLAYWAY de TDA.

Montage et paramétrage de la chaîne de transmission.

Pour ce montage, le même matériel est exploité qu'en boucle locale ;: un codeur, un modulateur, un contrôleur, un distributeur, un analyseur de spectre, un IRD, et un ordinateur portable pour la configuration des différents équipements. Une transmission réelle par satellite est opérée, la partie radiofréquence (RF) est alimentée avec des équipements supplémentaires : un HPA, un Up-Converter, et une antenne parabolique de transmission et

réception.

Up-Coverter (NEWTEC) : Il convertit les fréquences basses (Bande L) en fréquences plus élevées (Bande Ku), il est utilisé pour la transmission des liaisons montantes des signaux satellite (dans ce test la fréquence d'émission est 14.06841 GHz).

HPA(High Power Amplifier)(TWTA) : est un amplificateur de forte puissance qui amplifie le signal (il atteint jusqu'à 56 dBm) pour le transmettre au satellite (La TDA utilise des amplificateurs de puissance à semi conducteur SSPA (Solide State Power Amplifier) du fait de leur résistance à la chaleur,).

Les équipements de la chaîne de transmission sont présentés sur les images présentées de la figure III.17.



Fig. III.17 – Les équipements utilisés dans la station FLAYWAY de TDA.

Les appareils d'encodage et de modulation sont branchés à un ordinateur pour les paramétrer, le paramétrage demandé par le client (MODCO : QPSK, 3/4, MPEG-4) y est implémenté. Une chaîne pour la redondance est aussi ajoutée. Les deux chaînes (principale et redondante) sont configurées de la même manière.

Après le paramétrage des équipements, l'antenne parabolique est orien-

tée sur le satellite désigné (EU10A sur la position 10° east). Cette opération est effectuée à l'aide d'un équipement nommé Contrôleur. Après le paramétrage et le réglage de l'antenne, et à l'aide d'un analyseur de spectre, commence l'opération recherche du signal de porteuse , correspondant au satellite en question et cela en changeant l'azimut et l'élévation de l'antenne. Le signal vidéo est ensuite envoyé. Le client est contacté pour s'assurer de la bonne réception du signal. Si un problème de réception survient, les paramètres azimut et élévation de l'antenne sont modifiés jusque à ce que le client reçoive une bonne qualité de signal. Les paramètres d'orientation, azimut et élévation, sont retenues pour le jour J de l'événement.

Conclusion

Le jour du match, l'équipe technique installe la chaîne de transmission et la chaîne de redondance sur le lieu de l'événement (aux abords du stade de Blida) en utilisant les paramètres validés dans le test, et orientent l'antenne vers le satellite EU10A sur la position 10° east, avec l'azimut et l'élévation obtenus durant le test, et qui garantissent une bonne transmission du signal.

En comparant le choix de MODCOD retenu pour cet événement à ceux de l'étude théorique effectuée dans la première partie de notre travail (Chapitre II), un FEC de 3/4, proposé par le client, constitue un bon choix, il devait permettre un signal robuste et qui permet d'éviter les coupures du signal pendant la transmission du match en direct.

Conclusion générale

Le travail effectué dans ce mémoire de fin d'étude nous a permis d'approfondir nos connaissances sur l'évolution des technologies de la télévision numérique et l'augmentation de la capacité de transmission satellite en utilisant des systèmes de transmission avancés tels que le DVB-S2 au lieu de DVB-S.

A la fin de ce travail de fin d'étude, nous avons obtenus plusieurs résultats par rapport au premier objectif tracé dans notre introduction générale qui est l'élaboration d'une solution optimale (un paramétrage de la chaîne de transmission) pour une problématique de l'entreprise TDA (choix de la bande passante et les paramètres adéquats afin d'assurer la transmission des programmes des jeux méditerranéens d'Oran (JM-Oran 2022) prévus du 25 juin au 06 juillet 2022). Un deuxième objectif consiste à implémenter ce paramétrage de la chaîne de transmission DVB-S/DVB-S2 et vérifier les résultats obtenus en boucle locale (sans transmission satellite). Un dernier objectif est d'optimiser les paramètres de cette chaîne pour un maximum de débit binaire (améliorer l'efficacité spectrale) et d'étudier ses performances en terme de taux d'erreur binaire (BER) et signal sur bruit C/N, et enfin, établir un test réel de transmission par satellite.

L'étude menée a montrée que la bande passante de 24 MHz qui offre la possibilité de transmettre un programme SD et quatre programmes HD avec le MODCOD (8PSK,3/4). Ces paramètres permettent d'occuper le maximum de bande passante. Une valeur de FEC (3/4) garantit une forte robustesse du signal, et offre la possibilité de transmettre un cinquième programme, supplémentaire, en SD, laissée comme programme secours si des clients voudront recevoir un programme en SD.

Les tests effectués dans le troisième chapitre ont démontré que l'avè-

nement de la nouvelle norme DVB-S2 a permis d'obtenir une meilleure efficacité spectrale avec un débit binaire élevé par rapport à la DVB-S en utilisant des ordres de modulations supérieures (8PSK,16PSK,32PSK), et des valeurs de FEC élevées.
Les deux standards présentent une grande souplesse de paramétrage. Ce dernier peut être effectué selon l'objectif visé. Un très grand débit à transporter,requiert un ordre de modulation élevé et un FEC 5/6 ou 7/8. Une performance radioélectrique élevée pour réaliser des transmissions difficiles ou la couverture satellite est faible, requiert le choix d'un ordre de modulation faible et une valeur de FEC de 2/3 ou de 3/4.

Les tests effectués ont démontré aussi les performances des deux standards en terme de BER et C/N : pour une bonne réception, il faut minimiser les valeurs de BER en augmentant la puissance de signal. Cependant, pour la norme DVB-S2, la puissance du signal pour atteindre le taux d'erreur 10^{-8} est plus importante que pour la norme DVB-S. Par ailleurs, pour une bonne réception de signal, il faut disposer d'une bonne constellation, donc d'une puissance de signal élevée.

L'exigence croissante de la communication par satellite, et la nécessité de satisfaire la demande en crescendo sur les débits élevés, ont poussé l'investigation et le développement des techniques avancées pour DVB-S/DVB-S2. La nouvelle norme d'extension de diffusion par satellite (DVB-S2X) se présente comme une alternative prometteuse afin d'atteindre une plus grande efficacité. Cependant, cette technique connaît un déploiement encore timide à cause des exigences techniques imposées aux constituants de la chaîne de transmission qui doivent s'adapter en terme de performances (matériel tout UHD) [20].

Bibliographie

[1] Lars-Ingemar Lundström. *Understanding digital television : an introduction to DVB systems with satellite, cable, broadband and terrestrial TV*. en. OCLC : ocm70839764. Amsterdam ; Boston : Elsevier/Focal Press, 2006. ISBN : 978-0-240-80906-9.

[2] *Signal vidéo numérique*. fr. URL : https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/formats-audio-images-et-video-numeriques-42300210/signal-video-numerique-te5330/ (visité le 31/05/2022).

[3] *Compressions MPEG-1 à MPEG-4*. fr. URL : https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/formats-audio-images-et-video-numeriques-42300210/compressions-mpeg-1-a-mpeg-4-te5360/ (visité le 31/05/2022).

[4] François-Xavier Paré. "Les normes MPEG : de la compression à la gestion intégrée des contenus multimédias". fr. In : *Documentation et bibliothèques* 49.1 (mai 2015), p. 13-21. ISSN : 2291-8949, 0315-2340. DOI : 10.7202/1030296ar. URL : http://id.erudit.org/iderudit/%201030296ar (visité le 17/06/2022).

[5] *Différence entre MPEG7 et MPEG21 - Différence Entre - 2022*. fr. URL : https://fr.natapa.org/difference-between-mpeg7-and-mpeg21-625 (visité le 18/06/2022).

[6] Mr Haraoubia. *Chapitre 2_Partie 2_Modulation numérique.pdf*. 2021.

[7] O. Afelumo, A.B. Awoseyila et B.G. Evans. "Simplified evaluation of APSK error performance". en. In : *Electronics Letters* 48.14 (2012), p. 886. ISSN : 00135194. DOI : 10.1049/el.2012.1740. URL : https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/el.2012.1740 (visité le 25/03/2022).

[8] Mme CHIALI Imane. *Cours1_Communication_Satellite_2021_2022 4.pdf*. 2021.

[9] *Etude comparative entre DVB-S et DVB-S2 - PDF Free Download*. URL : https://docplayer.fr/12602346-Etude-comparative-entre-dvb-s-et-dvb-s2.html (visité le 03/03/2022).

[10] Mr. HORRI Mohamed Nabil et Mr. ZENAGUI Abdessamad. *Etude comparatif entre les chaines de transmission DVB-S*. 2020.

[11] *Normes DVB : fonctionnement et intérêt de ces normes télévisées*. fr-FR. URL : https://www.monpetitforfait.com/comparateur-box-internet/aides/normes-dvb-tv (visité le 03/03/2022).

[12] Kresimir MALARIC, Ivan SUC et Iva BACIC. "Measurement of DVB-S and DVB-S2 parameters". en. In : *2015 23rd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*. Split, Croatia : IEEE, sept. 2015, p. 160-164. ISBN : 978-953-290-056-9. DOI : 10.1109/SOFTCOM.2015.7314105. URL : http://ieeexplore.ieee.org/document/7314105/ (visité le 25/03/2022).

[13] ABDELHAMIDRABAH_ADGHARSIDALI. *Etude et réalisation d'une chaine de diffusion par satellite en utilisant la norme DVB-S et DVB-S2 :cas du bouquet MCPC de TDA vers le satellite Eutelsat 7 W A*. 2017.

[14] Hervé BENOIT. *Digital television : satellite, cable, terrestrial, IPTV, mobile TV in the DVB framework*. en. 3rd ed. Burlington, MA : Focal Press, 2008. ISBN : 978-0-240-52081-0.

[15] Ludovic KRUNDEL. "Les Turbo-Codes – la revue de literature / The Turbo-Codes – the literature review". In : (juil. 2003).

[16] Lidia Totkova JORDANOVA, Lyubomir Bogomilov LASKOV et Dobri Mihajlov DOBREV. "Investigation on DVB-S2 Channel Characteristics". en. In : (2014), p. 4.

[17] KHELOUI RADIA. *Etude et simulation d'une chaine de transmission DVB-S/DVB-S2 expérimentée sur une station de diffusion par satellite de la TDA*. 2020.

[18] *ETSI EN 302 307 V1.2.1 Digital Video Broadcasting (DVB) Second generation framing structure, channel coding and modulation... () (z-lib.org).pdf*.

[19] Ulrich REIMERS. *Digital Video Broadcasting (DVB)*. en. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2001. ISBN : 978-3-662-04564-0 978-3-662-04562-6. DOI : 10.1007/978-3-662-04562-6. URL : http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-04562-6 (visité le 01/06/2022).

[20] Stojce Dimov ILCEV. *Global Mobile Satellite Communications Applications*. en. Cham : Springer International Publishing, 2018. ISBN : 978-3-319-71857-6 978-3-319-71858-3. DOI : 10.1007/978-3-319-71858-3. URL : http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-71858-3 (visité le 03/06/2022).

Annexe A

- **Les paramètre de codage LDCP et BCH**

Les deux figures suivantes donnent les paramètres de codage BCH pour le FECFRAME normal (n_{ldcp}= 64 800 bits) et pour le FECFRAME court (n_{ldcp} = 16 200 bits) [18] :

LDPC code	BCH Uncoded Block K_{bch}	BCH coded block N_{bch} LDPC Uncoded Block K_{ldpc}	BCH t-error correction	LDPC Coded Block n_{ldpc}
1/4	16008	16200	12	64800
1/3	21408	21600	12	64800
2/5	25728	25920	12	64800
1/2	32208	32400	12	64800
3/5	38688	38880	12	64800
2/3	43040	43200	10	64800
3/4	48408	48600	12	64800
4/5	51648	51840	12	64800
5/6	53840	54000	10	64800
8/9	57472	57600	8	64800
9/10	58192	58320	8	64800

FIG. III.18 – Paramètres de codage BCH (pour FECFRAME n_{ldcp}=64800).

LDPC Code identifier	BCH Uncoded Block K_{bch}	BCH coded block N_{bch} LDPC Uncoded Block K_{ldpc}	BCH t-error correction	Effective LDPC Rate K_{ldpc} /16200	LDPC Coded Block n_{ldpc}
1/4	3072	3240	12	1/5	16200
1/3	5232	5400	12	1/3	16200
2/5	6312	6480	12	2/5	16200
1/2	7032	7200	12	4/9	16200
3/5	9552	9720	12	3/5	16200
2/3	10632	10800	12	2/3	16200
3/4	11712	11880	12	11/15	16200
4/5	12432	12600	12	7/9	16200
5/6	13152	13320	12	37/45	16200
8/9	14232	14400	12	8/9	16200
9/10	NA	NA	NA	NA	NA

FIG. III.19 – Paramètres de codage BCH (pour FECFRAME n_{ldcp}=16 200).

Annexe B

- **L'interface série asynchrone ASI**

L'interface série asynchrone, ou ASI, est une méthode de transport d'un flux de transport MPEG (MPEG-TS) sur un câble coaxial en cuivre de 75 ohms ou une fibre optique. Il est populaire dans l'industrie de la télévision comme moyen de transporter les programmes diffusés du studio à l'équipement de transmission final avant qu'ils n'atteignent les téléspectateurs assis à la maison.

La norme ASI est maintenue par le CENELEC, le Comité européen de normalisation électrotechnique, et fait partie de l'ensemble des normes connues sous le nom de Digital Video Broadcast, ou DVB.

ASI transporte les données MPEG en série sous forme de flux continu avec un débit constant égal ou inférieur à 270 mégabits par seconde, selon l'application. Il ne peut pas fonctionner plus vite que cela, qui est le même débit que SDI et également le débit d'un circuit de télécommunications DS4 qui est généralement utilisé pour transporter le flux sur des circuits numériques commerciaux de téléphonie/télécommunications (Telco). Les bits de données MPEG sont codés à l'aide d'une technique appelée 8B/10B qui représente des octets de 8 bits mappés sur des codes de caractères de 10 bits. Le codage maintient l'équilibre DC et permet à l'extrémité réceptrice de rester synchronisée. Lorsqu'il est sur un câble coaxial de 75 ohms, ASI se termine par des connecteurs mâles BNC à chaque extrémité. Électriquement, la norme coaxiale spécifie une tension de sortie de 800 millivolts crête à crête, tandis que le récepteur doit pouvoir fonctionner à partir d'une tension comprise entre 200 mV et 880 mV. L'ASI est électriquement identique et a le même débit binaire que la définition standard SDI. Lorsque l'ASI est sur fibre optique, il s'agit de fibre multimode.

Il existe deux tailles de paquets de transmission de données couramment

rencontrées par l'interface ASI et le câble qui la transporte : le paquet de 188 octets et le paquet de 204 octets, les blocs de construction fondamentaux du flux de transport MPEG. Le format 188 octets est de loin la taille de paquet la plus courante, utilisée par la grande majorité des transmissions. Lorsque des données de correction d'erreur Reed-Solomon facultatives sont incluses, un format principalement développé par l'industrie de la télévision par câble, le paquet augmente de 16 octets supplémentaires pour atteindre 204 octets au total.

- **La zone de couverture du satellite Eutelsat 7B à 7.0°E**



FIG. III.20 – La zone de couverture du satellite Eutelsat 7B à 7.0°E

ملخص

في مشروع نهاية الدراسة هذا ، كنا مهتمين بسلسلة النقل الرقمي لمعايير ، وقدمنا بعض المفاهيم حول الرقمنة وعلى المعيارين DVB-Sو DVB-S2 بالاضافة إلى عناصر DVB-S/ DVB-S2 سلسلتيها ، ومراحل انتقالها يتم تطويرها هناك بعد ذلك ، انتقلنا إلى حل مشكلة TDلاختيار المعلمات المناسب(النطاق الترددي ،MODCOD) التي سنستخدمها لضمان البث التلفزيوني على قناة DVB-S / S2لألعاب البحر الأبيض المتوسط في وهران (الجزائر) المقرر في الفترة من 25يونيو إلى 6يوليو ، 2022 تمكنا من إيجاد الحل الأمثل الذي يلبي احتياجات الشركة ، ثم انتقلنا إلى تحقيق سلسلة نقل DVB-S / DVB-S2باستخدام القياس المعدات في TDA-Algeriaمن أجل التحقق من النتائج التي تم الحصول عليها أثناء حل المشكلة ، ولتحسين الكفاءة الطيفية من خلال إجراء قياسات لمعدلات البت عن طريق تغيير ، MODCOعلاوة على ذلك قمنا بدراسة أداء هذه السلسلة من حيث C / Nو.BER. في النهاية ، تمكنا من إجراء إرسال حقيقي عبر الأقمار الصناعية للاشارة باستخدام قناة البثTDA في نهاية إجراء الاختبارات لضمان البث المباشر الجيد لمباراة الجزائر ضد الكاميرون المقررةفي 29مارس ، 2022قبل ذلك تاريخ.

كلمات مفتاحية.: C/N, BER, MPEG, FEC, MODCOD, DVB-S2, DVB-S.

Résumé

Dans ce projet de fin d'étude nous nous sommes intéressés à la chaîne de transmission numérique des standards DVB-S/DVB-S2. Quelques notions sur la numérisation et sur les deux standards DVB-S et DVB-S2 ont été présenté, ainsi que les éléments de ses deux chaînes, et leurs étapes de transmission y sont développés. Ensuite, l'élaboration d'une solution optimale (un paramétrage de la chaîne de transmission) pour une problématique de l'entreprise TDA (choix de la bande passante et les paramètres adéquats afin d'assurer la transmission des programmes des jeux méditerranéens d'Oran (JM-Oran 2022) prévus du 25 juin au 06 juillet 2022) a été effectué. Un autre objectif consiste à implémenter ce paramétrage de la chaîne de transmission DVB-S/DVBS2 et vérifier les résultats obtenus en boucle locale (sans transmission satellite). Un dernier objectif est d'optimiser les paramètres de cette chaîne pour un maximum de débit binaire (améliorer l'efficacité spectrale) et d'étudier ses performances en terme de taux d'erreur binaire (BER) et signal sur bruit C/N. En fin, une transmission satellite réel du signal a été réalisé à l'aide d'une chaîne de diffusion de la TDA pour réaliser des tests afin d'assurer la bonne transmission en directe du match Algérie VS Cameroun prévu le 29 Mars 2022, avant cette date.

Mots clés: DVB-S, DVB-S2, MODCOD, FEC, MPEG, BER, C/N.

Abstract

In this end-of-study project, we were interested in the digital transmission chain of the DVB-S / DVB-S2 standards, we presented some digitization notions and on the two standards DVB-S and DVB-S2 as well as the elements of its two chains, and their stages of transmission are developed there. Then, we moved on to the resolution of a problem of the TDA for the choice of the appropriate parameters (bandwidth, MODCOD) that we will use to ensure the television transmissions on a DVB-S/S2 channel of the Mediterranean games of Oran (Algeria) scheduled from June 25 to July 06,2022, we managed to find an optimal solution that meets the needs of the company. Then we moved on to the realization of the DVB-S / DVB-S2 transmission chain using the measuring equipment at TDA-Algeria in order to verify the results obtained during the resolution of the problem, and to optimize the spectral efficiency by making measurements of the bit rates by varying the MODCO, moreover a study was made of the performance of this chain in terms of BER and C/N. In the end, we were able to carry out a real satellite transmission of the signal using a TDA broadcast channel at the end of carrying out tests to ensure the good live transmission of the Algeria VS Cameroon match scheduled for March 29, 2022, before this date.

Keywords: DVB-S, DVB-S2, MODCOD, FEC, MPEG, BER, C/N.