REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Mouloud Mammeri. Tizi-Ouzou
Faculté Génie Electrique et Informatique
Département Electronique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME MASTER II EN ELECTRONIQUE

Spécialité: Télécommunication et Réseaux

Thème

Etude (et Conception de la partie pratique) du Système de Diffusion Numérique DVB-T (Télévision Numérique Terrestre)

Proposé et dirigé par :

M[r] Y. ATTAF

M[r] A. BEGBAGUI

Réalisé par:

M[elle] OUSMAIL Zehor

M[elle] KHIAR Nawal

Année universitaire 2012/2013

Remerciement

A travers ce modeste travail, nous tenons à remercier vivement notre promoteur

« Mr.ATTAF Youcef», le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi à notre encadreur « Mr.BEGBAGUI Ammar» Pour l'intéressante documentation qu'il a mise à notre disposition, Pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre stage et réalisation de ce projet.

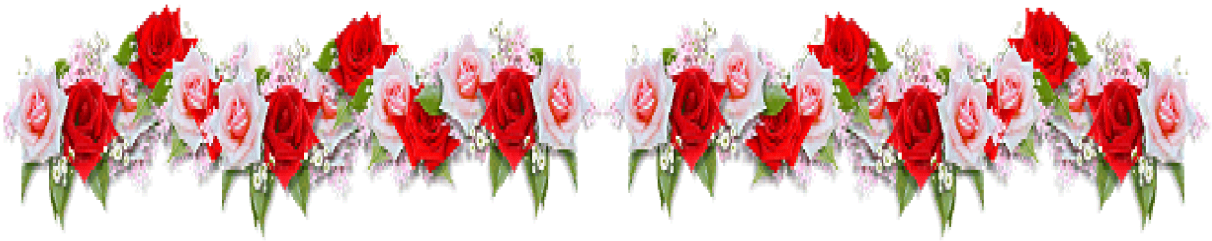
Sans omettre bien sur de remercier profondément à tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation du présent travail.

PAR :

Melle.OUSMAIL Zehor

Melle.KHAIR Nawal

DEDICACE



Je rends grâce à **Dieu** de m'avoir donner le courage et la volonté ainsi que la conscience d'avoir pu terminer mes études

Je dédie ce modeste travail :

A la prunelle de mes yeux et à la lumière de ma vie, à ma mère,

A mon très cher père pour l'amour et le soutien qu'il m'a apporté,

A mes sœurs (Nadia, Naima) et mes frères que j'aime tellement,

A mes très chèrs amis (Malha, Dhrifa, Samira, Ghanouth et surtout à Nounou),

A ma chère binôme Nawal et sa famille,

A ma très chère famille sans exception,

Toute la section de Master II Electronique sans exception,

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près durant mes études.

SABRINA



DEDICACE



Je rends grâce à **Dieu** de m'avoir donner le courage et la volonté ainsi que la conscience d'avoir pu terminer mes études

Je dédie avec ma profonde affection, ce travail

A la prunelle de mes yeux et à la lumière de ma vie, à ma mère,

A mon très cher père pour l'amour et le soutien qu'il m'a apporté,

A mon frère et mes sœurs que j'aime tellement, ainsi que leurs époux,

A mon petit nouveau Adon que j'adore, a mes très chers amis (es),

A ma chère binôme Sabrina et sa famille,

Toute la section de Master II Electronique sans exception,

A tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près durant mes études

Nawal

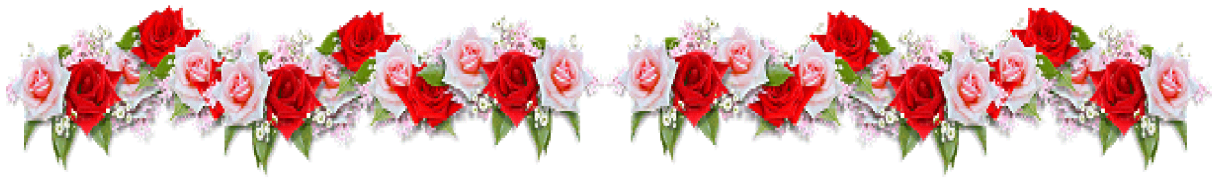


Table des Matières

Table des Figures

Table des Tableaux

Introduction générale

Présentation du l'organisme d'accueil

Chapitre I : Numérisation et compression

I. Introduction....1

I.1.Convertisseurs analogique – numérique – analogique 1

I.2.La numérisation....2

I.2.1.La vidéo numérique....2

I.2.1.1. Le filtrage....3

I.2.1.2. Echantillonnage....3

I.2.1.3. Quantification....4

I.2.1.4. Le codage....5

I.2.2. L'audio numérique 7

I.2.2.1. L'échantillonnage audio 7

I.2.2.2. La quantification....8

I.2.2.3. Comparaison des formats CD-Audio et DVD-Audio....8

I.3. La compression 9

I.3.1.Type de compression....10

I.3.1.1. La compression avec perte (lossy) ou destructive....10

I.3.1.2. La compression sans perte (lossless) ou non destructive....10

I.3.2. La compression vidéo....11

I.3.2.1. Estimation et compensation de mouvement....11

I.3.2.2. Décomposition d'une séquence vidéo 11

I.3.2.3. Les standards actuels de compression 14

I.3.2.3.1. Le JPEG (Joint Photographic Experts Group) 14

I.3.2.3.2. Le Motion JPEG (M-JPEG) 16

I.3.2.3.3. Le MPEG (Moving Pictures Expert Group) 16

I.3.3. La compression audio 21

I.3.1.1. Les algorithmes de compression 21

I.3.3.2. Le taux de compression 22

I.3.3.3. Méthode appliquée lors d'une compression audio avec perte 22
I.3.3.4. Principales techniques de compression audio sans perte.....22
I.3.3.5. Les formats de compression standard : l'exemple du MPEG-1 Audio 23
I.3.3.6. Caractéristiques des différentes couches audio..... 23
I.4. Le multiplexage..... 24
I.4.1.Les différents flux 25
I.4.1.1. Le MPEG PS et le MPEG TS 25
I.4.1.2. Packet Elementary Stream 26
I.4.1.3. Introduction aux flux de programme..... 27
I.4.1.4. Flux de transport..... 27
I.4.2. Multiplexage numérique TDM 27
I.4.2.1. Multiplexage temporel..... 27
I.4.2.2. Multiplexage TDM.....27
I.5. La modulation 28
I.5.1. Les modulations numériques. 28
I.5.2. Le PSK (Phase-shift keying) 29
I.5.2.1. Binary phase-shift keying (BPSK) 30
I.5.2.2. Quadrature phase-shift keying (QPSK) 30
I.5.2.3. 8-PSK.....31
I.5.3. Modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 32
I.6. Conclusion 34
Chapitre II : Le système DVB
II. Digital Video Broadcasting (DVB)-TNT.....35
II.1. Pourquoi le DVB ? 35
II.2. Rôle de DVB.....35
II.3. Le DVB-S..... 36
II.3.1.La chaine de transmission de DVB-S 36
II.3.2.Principaux paramètres d'une chaîne d'émission/réception DVB-S..... 37
II.3.3.Le Standard DVB-S2 37
II.3.3.1.Caractéristiques du DVB-S2.....38
II.3.3.2.Chaîne de transmission DVB-S2 39
II.3.3.3. Applications du DVB-S2..... 39
II.4. Le DVB-C 39
II.4.1.Codage et Modulation 40

II.4.2.Techniques de transmission 40
II.4.2.1. Supports de transmission 40
II.4.2.2. Architecture des réseaux 40
II.4.3.DVB-C2 41
II.5. Le DVB-T 42
II.5.1. L'architecture de réseau de diffusion 42
II.5.2. Description de la chaine de diffusion DVB-T 43
II.5.2.1. Codage de Source 44
II.5.2.2. Codage de Canal 44
II.5.2.2.1. Dispersion d'énergie (Le brassage 44
II.5.2.2.2. Codage Reed Solomon (Codage Externe) 45
II.5.2.2.3. L'entrelacement 46
II.5.2.2.4. Code convolutif (codage interne) 46
II.5.2.2.5. Le poinçonnage 47
II.5.2.2.6. Filtre de Nyquist 48
II.5.2.2.7. Mapping 48
II.5.2.2.8. Présentation de l'OFDM 48
II.5.2.2.9. COFDM 52
II.5.2.2.9.1. Le nombre des porteuses en DVB-T 54
II.5.2.2.9.2. l'Intervalle de Garde 54
II.5.2.2.9.3. FEC (Le correcteur d'erreur 55
II.5.3. Récepteur DVB-T 57
II.5.3.1. Résumé 58
II.5.4. DVB-T2 59
II.5.5. Différences entre DVB-T et DVB-T2 60
II.5.6. Avantage de DVB-T2 comparé à DVB-T 61
II.6. Comparaison entre les trois normes de diffusion DVB-S, DVB-C et DVB-T 62
II.7. Conclusion 62
Chapitre III : Etude et conception d'un réémetteur BTEZA
III. Le réémetteur BTEZA 63
III.1. Etude de l'réémetteur DVB-T/H 63
III.1.1.Description générale de Réémetteurs DVB-T/H 63
III.1.2.Réémetteur Excitateur 64
III.1.2.1. Modulateur COFDM 65

III.1.2.2. Référence GPS de temps et de fréquence 68
III.1.2 .3. Référence de fréquence de 10 MHz 68
III.1.2.4. Processeur de FI 68
III.1.2.5. Convertisseur ascendant FI-RF 69
III.1.2.6. Amplificateur driver UHF 69
III.1.2.6.1. Amplificateur driver UHF de 1W rms 69
III.1.2.6.2. Amplificateur de 15 W rms 70
III.1.2.7. Contrôleur TD 70
III.1.2.8. Source d'alimentation de l'excitateur 71
III.2. Exploitation de l'émetteur 71
III.2.1. Configuration Hardware 71
III.2.1.1. Mise en marche de l'équipement 71
III.2.1.2. SIGNALISATIONS 72
III.2.1.3. Démarrage et arrêt de l'équipement 73
III.2.2. Configuration Software 73
III.2.2.1. Configuration du Modulateur 74
III.2.2.2. Configuration du Processeur FI 75
III.2.2.3. Configuration du Convertisseur FI-RF 76
III.2.2.4. Configuration de l'Amplificateur 77
III.3. Récepteur DVB-T/H Avec Diversité D'antenne (RDV-1000) 77
III.3.1.Description 77
III.3.2. Caractéristiques-clé 78
III.3.3. Spécifications 78
III.3.4. Version 79
III.4. Simulation avec le logiciel MATLAB 80
III.5. Résultats de simulation 82
III.6.Démonstration pratique 83
III.7.Conclusion 83
Conclusion Générale
Bibliographie
Annexes

Table des Figure

Figure. I.1: Présentation d'un signal Analogique et un signal Numérique
Figure. I.2: Le synoptique d'une chaine de numérisation
Figure. I.3: Allure d'un signal échantillonné
Figure. I.4: Différents formats d'échantillonnage
Figure. I.5: Signal échantillonné avant et après quantification.
Figure. I.6: Codage d'un signal
Figure. I.7: Exemple de codage NRZ
Figure. I.8: Echantillonnage d'un signal audio
Figure. I.9: Compression spatiale et compression temporelle
Figure. I.10: Compression spatiale (Intra-frame)
Figure. I.11: Compression temporelle (Inter-frame)
Figure. I.12: Structure GOP IBBP
Figure. I.13: Décomposition d'une séquence vidéo
Figure. I.14: Hiérarchisation des éléments de l'image
Figure. I.15: Codage/décodage TCD
Figure. I.16: Exemple de traitement d'un bloc 8*8 par un codec TCD hybride
Figure. I.17: Schéma bloc de codeur MPEG-2
Figure. I.18: Principe de base MPEG
Figure. I.19: Le Multiplexage en analogique et en numérique
Figure. I.20: Trame MPEG-4 Transport Stream.
Figure. I.21: Multiplexage MPEG au sein d'un flux Transport Stream
Figure. I.22: Génération d'un train de données MPEG TS
Figure. I.23: Schéma de principe d'un multiplexage à répartition dans le temps
Figure. I.24 : Multiplexage temporel dans la hiérarchie PDH en Europe
Figure. I.25: Exemple de diagramme de constellation pour BPSK
Figure. I.26: Signal modulé BPSK
Figure. I.27: Diagramme de constellation pour QPSK
Figure. I.28: Diagramme de constellation pour 8-PSK
Figure. I.29: Courbes du taux d'erreur binaire pour BPSK, QPSK, 8-PSK et 16-PSK Le rapport signal/bruit en abscisse est exprimé en décibel
Figure. I.30: La relation de phase entre les représentations I et Q
Figure. I.31: Caractéristique des deux fonctions sinusoïdales I et Q est une fonction sinusoïdale
Figure. I.32: La possibilité de transmettre plusieurs bits en une seule fois
Figure. II.1: La chaine de transmission DVB-S
Figure. II.2: Système de transmission DVB-S/S2.
Figure. II.3: Schéma synoptique de la chaine de diffusion numérique DVB-C
Figure. II.4: Structures de base d'un réseau de télédistribution et structure de réseaux mixtes.
Figure. II.5: Comparaison entre le système DVB-C2 et DVB-C
Figure. II.6: Architecture d'un réseau de diffusion
Figure. II.7: Schéma synoptique de la chaine de diffusion numérique DVB-T
Figure. II.8: Principe de Brassage en DVB
Figure. II.9: Trame DVB après codage RS
Figure. II.10: Comment traduire un paquet

Figure. II.11: Le codeur utilisé par DVB
Figure. II.12: Trajet multiple dans un canal radio
Figure. II.13: Symbole OFDM
Figure. II.14: Spectre des différentes porteuses
Figure. II.15: Porteuses orthogonales
Figure. II.16: La représentation spectrale de l'ensemble des sous-porteuses du système
Figure. II.17: Illustration du **spectre des sous-porteuses I (ou Q) modulées** à un moment donné
Figure. II.18: Modulation d'une porteuse en I et Q du canal HF/UHF
Figure. II.19: Symbole COFDM
Figure. II.20: Intervalle de garde
Figure. II.21: Chaine de transmission en numérique
Figure. II.22: Les différentes opérations effectuées sur un flux binaire
Figure. III.1: Schéma synoptique de Réémetteur DVB-T/H
Figure. III.2: Blocs de l'émetteur excitateur
Figure. III.3: Schéma synoptique du modulateur COFDM
Figure. III.4: Réémetteur DVB-T-/H 50W
Figure. III.5: Affichage de détection de présence du signal ASI
Figure. III.6: Affichage de puissance sur l'écran du réémetteur
Figure. III.7: Fenêtre de structure a arbre des équipements du réémetteur
Figure. III.8: Fenêtre de configuration du modulateur.
Figure. III.9: Fenêtre de configuration du Processeur FI
Figure. III.10: Fenêtre de configuration du Convertisseur FI-RF
Figure. III.11: Fenêtre de configuration de l'Amplificateur
Figure. III.12: Schéma block de la simulation MATLAB
Figure. III.13 : Diagramme de constellation (64-QAM) transmit
Figure. III.14: Spectre de signal transmit
Figure. III.15: Diagramme de constellation (64-QAM) reçu
Figure. III.16: Spectre du signal reçu
Figure. III.17: Résultats de calcules d'erreurs

Listes des Tableaux

Tableau. I.1 : Comparaison des formats CD et DVD
Tableau. I.2 : Les profils et les niveaux
Tableau. II.1: Principaux paramètres d'une chaîne DVB-S
Tableau. II.2: Evolution du standard de communication par satellite
Tableau. II.3: Le rendement du codeur poinçonnage (FEC)
Tableau. II.4: Différents paramètres de mode **8K** et**2K**
Tableau. II.5: Les valeurs des débits regroupés
Tableau. II.6: Comparaison des modes dans DVB-T et DVB-T2
Tableau. II.7: la comparaison entre les trois types de diffusion (S-C-T)

Introdution Générale

Dans le monde de la communication, la vague de la numérisation continue de se répondre. Après avoir révolutionnée le son, l'image, la vidéo et la téléphonie, c'est maintenant au tour des réseaux hertziens terrestres de passer au numérique. Les téléspectateurs grand public dotés d'une bonne vieille antenne râteau, peuvent désormais progressivement bénéficier du fruit de la technologie de la diffusion numérique terrestre, en recevant chez eux des images et du son qualité numérique accompagnés de services interactifs.

La Télévision Numérique Terrestre ou TNT est un mode de diffusion terrestre de la télévision, alors dans le premier chapitre, on a expliqué comment les signaux vidéo, audio et données ont été numérisés et compressés, puis ordonnés dans un flux unique (on parle alors de multiplexage), avant d'être modulés puis diffusés, c'est-à-dire transportés jusqu'au téléspectateur via les ondes électromagnétiques.

Dans le deuxième chapitre, on a fait une présentation de la norme DVB, en diffusion satellite (DVB-S), câble (DVB-C) et terrestre (DVB-T), sachant que ces normes sont normalisées, dans ce même chapitre on a aussi fait une introduction aux modulations numérique multi porteuses : OFDM, COFDM.

L'entreprise de Télédiffusion d'Algérie (T.D.A) a adopté cette nouvelle technologie, qui a pu couvrir 40% du territoire nationale. Dans le troisième chapitre, nous avons étudié les différentes technologies de la télévision numérique existantes au niveau de l'entreprise**,** nous avons travaillé avec une équipe chargée de la maintenance et l'exploitation des émetteurs de la télévision numérique terrestre, où on a pu découvrir les caractéristiques et les propriétés de la fonctionnalité du système DVB-T.

Les objectifs ciblés par ce projet consistent à acquérir, premièrement, des connaissances théoriques liées à cette technologie. Ensuite, dans le but d'apprendre d'avantage sur les fonctionnalités du DVB-T: la configuration Hardware d'un émetteur DVB-T, ainsi que la configuration Software en utilisant le logiciel *User Console*.

Nous avons testé l'émetteur DVB-T sur le terrain, et simulé son fonctionnement par le logiciel MATLAB.

Finalement, on a fait une démonstration pratique qui consiste à recevoir un bouquet numérique qui contient les six chaines algériennes.

Nous avons terminé notre mémoire par une conclusion générale ainsi que des perspectives.

Organisme d'Accueil

TDA a été crée en Juillet 1986, suite a la restructuration de l'ex RTA par la création de 04 entreprises autonomes dont la télédiffusion (ENTD).

Télédiffusion d'Algérie (TDA) est une entreprise nationale qui propose des services de diffusion de contenus audiovisuels, de prestations pour les opérateurs de télécommunication et qui développe également des services multimédias : numérisation de contenus, encodage, archivages et diffusion sur tous supports, transport intelligent, diffusion sur internet.

Ses clients principaux sont donc :

- Les télévisions (diffusion analogique et numérique, mais aussi activités allant « du tournage aux régies » ;
- Les radios (diffusion analogique et numérique, traitement de son,…) ;
- Les opérateurs télécoms (prestations d'accueil sur site, de maintenance, de mesures…)

➢ Organisation de l'établissement

Compte tenu de l étendue et de la configuration géographique du territoire national, l'établissement est organisé de telle manière à lui permettre de maintenir un certain équilibre entre les différentes régions du pays, en ce qui concerne la couverture médiatique d'une part, et l'utilisation rationnelle et efficace des équipements de diffusion et de transmission, d'autre part.

➢ TDA dans son environnement international

L'établissement est membre actif dans plusieurs organismes spécialisés notamment :

- de l'union internationale de télécommunications (UIT)
- de l'union européenne de radiodiffusion (UER)
- de l'union des radios télévisions arabes (ASBU)
- de l'union des radios télévisions nationales africaines (URTNA) devenu dernièrement (UAR)

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

➢ Chiffres Clés

- 07 satellites nationaux pour la diffusion des chaînes nationales TV et Radio locales : Eutelsat, Arabsat, NSS-7, America, Newskie, Nil-sat et l'AB3
- 7000 Km longueur du réseau faisceaux hertziens numériques
- 14 stations de télédiffusion de grande et moyenne puissance
- 450 stations de réémission pour couvrir les zones d'ombre et le Sud
- 04 stations de radiodiffusion de grande puissance ondes longues et moyennes
- 14 stations de radiodiffusion OM de 10kw de puissance
- Plus de 50 stations de diffusion radio en FM pour diffuser les chaînes radio suivantes :
  - 43 chaînes de proximité en activité
  - 03 chaînes nationales (I, II, III)
  - 02 chaînes thématiques (Radio coran, culture)
  - 01 chaîne internationale.

I. Introduction

L'analogique et le numérique sont deux procédés pour transporter et stocker des données de type audio, photo, vidéo…
L'analogique est née avec le début de l'électricité tandis que le numérique est apparu plus récemment avec l'ère de l'informatique.

Le principe de l'analogique est de reproduire le signal à enregistrer, diffuser (audio, vidéo…) sous forme similaire sur un support physique en général. Par exemple lorsque l'on enregistre un signal audio sur un système analogique le signal présent sur la bande magnétique suivra les mêmes amplitudes, la même courbe, que l'onde sonore. Donc un signal analogique est un signal dont l'amplitude évolue dans le temps.

En numérique le signal analogique à enregistrer (diffuser) est converti en numérique grâce à un convertisseur analogique/numérique. La tâche du ce dernier est de traduire le signal en une séquence de nombres binaires. Après cette conversion le signal n'est plus qu'une suite de " 0 " et de " 1 " c'est à dire un signal à deux amplitudes (états) au lieu d'une infinité en analogique.

Après un transport et un stockage en numérique tout signal (vidéo ou audio) devra revenir à sa forme analogique de départ. Par exemple un signal audio sera reconverti de numérique en analogique pour ensuite être amplifié. En effet nos oreilles ne savent pas entendre en numérique!

Il faut bien garder à l'esprit que le numérique ne sert dans le domaine de l'audio et de la vidéo qu'au transport, au stockage et au traitement des données.

I.1. Convertisseurs analogique – numérique – analogique

➢ Chaîne de traitement numérique

1- Conversion analogique/numérique
2- Traitement, utilisation des données (stockage, filtrage…)
3- Conversion numérique/analogique

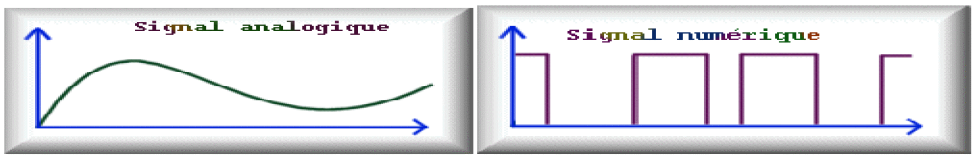


Figure. I.1: Présentation d'un signal Analogique et un signal Numérique

- Convertisseurs analogiques - numériques :

Un convertisseur analogique-numérique (CAN) est un appareil permettant de transformer en valeurs numériques un phénomène variant dans le temps (signal analogique).
Ces données numériques sont ensuite stockables, diffusable et exploitables sous forme binaire.

- Convertisseurs numériques-analogiques :

Les convertisseurs numérique-analogique permettent de restituer un signal numérique en signal analogique. En effet, si une donnée numérique est plus facile à stocker et à manipuler, il faut tout de même pouvoir l'exploiter.

I.2. La numérisation

L'audiovisuel est entré dans l'ère numérique, à l'instar de la quasi- totalité des domaines d'activité reposant sur le traitement et l'échange d'informations. Après le texte, la voix ou la photographie, les images télévisées peuvent aussi être converties en séries de nombres pour mieux se prêter aux traitements informatiques.

Toutefois, dans le cas de la télédiffusion audiovisuelle, la numérisation progresse à un rythme très inégal selon les différents domaines : si l'élaboration des programmes recourt largement, depuis plusieurs années, aux technologies numériques, il n'en est pas de même de la diffusion et de la réception.

Quelques équipements audiovisuels numériques - ont certes - fait leurs apparition, mais ils sont essentiellement voués à la fabrication d'images : caméscopes, consoles de jeux et surtout lecteurs de DVD connaissent aujourd'hui une expansion très rapide et acclimatent les téléspectateurs aux avantages de la numérisation, que sont la stabilité de l'image, l'amélioration du son et l'interactivité. Un nombre croissant de foyers est également équipé de décodeurs pour la **réception** des chaînes numériques du câble, du satellite et terrestre. En revanche, les téléviseurs et les magnétoscopes, quels que soient leurs perfectionnements techniques, demeurent dans leurs très grande majorité conçus pour l'exploitation des programmes analogiques (normes SECAM en France, PAL en Europe et NTSC aux Etats-Unis).

I.2.1. La vidéo numérique

La vidéo numérique consiste à afficher une succession d'images numériques. Pour numériser une séquence vidéo, on numérise le signal vidéo. Ce sont donc les informations de luminance et de chrominance qui sont codées.

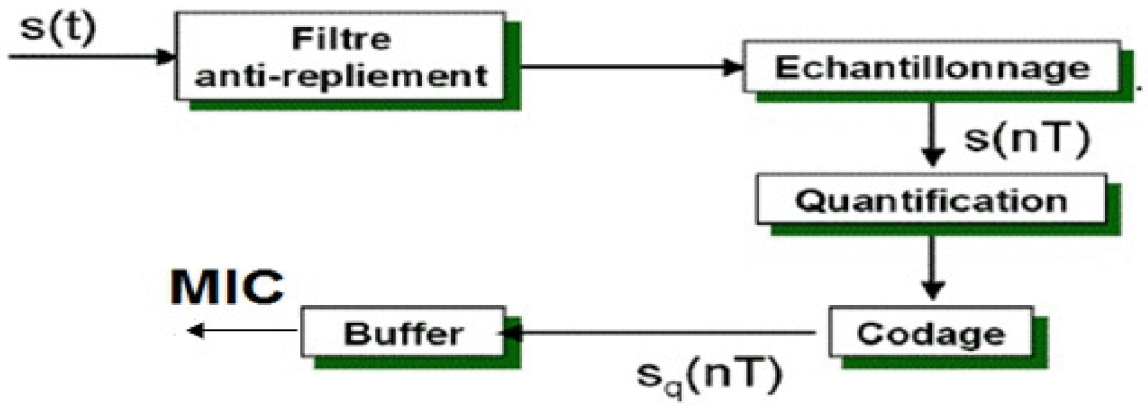


Figure. I.2: le synoptique d'une chaine de numérisation

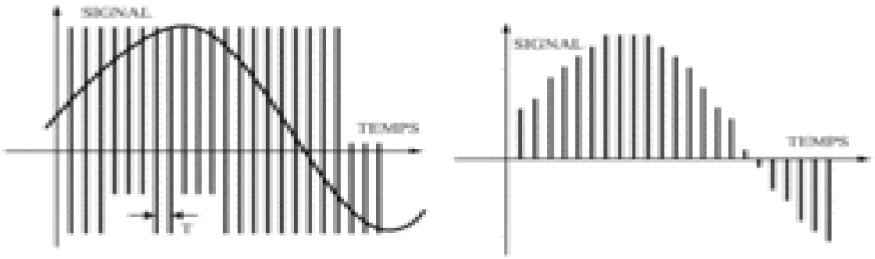
- Les étapes de la numérisation d'un signal vidéo se présentent ci-dessous :

I.2.1.1. Le filtrage

Dans le cas d'un spectre de largeur infinie (la réalité), il y a donc toujours repliement de spectre. Il est donc nécessaire de filtrer le signal d'origine afin de limiter cet effet de repliement.

I.2.1.2. Echantillonnage

Pour transformer un signal analogique en un signal numérique, il faut le discrétiser. On va donc prélever régulièrement des échantillons du signal analogique pour le rendre discret et permettre ainsi sa numérisation. Cette opération de prélèvement est commandée par une **Horloge** afin que les échantillons suivent un rythme.



Te : est la période d'échantillonnage

Figure. I.3: Allure d'un signal échantillonné

On prend ainsi des valeurs de e(t) à des intervalles de temps régulier (tous les **Te**, période d'échantillonnage) à une fréquence **Fe** dite **fréquence d'échantillonnage**. C'est cette fréquence qui doit être au moins égale ou double de la fréquence maximale du signal échantillonné qui est régit par le théorème de **Mr. SHANNON**.
« Le théorème de Shannon stipule que pour pouvoir numériser correctement un signal, il faut échantillonner à une fréquence double (ou supérieure) ou égale à la fréquence du signal analogique que l'on échantillonne ».

On ne peut échantillonner un signal sans pertes d'informations que si : **Fe ≥ 2Fmax**

- **Les différents formats d'échantillonnage de la chrominance**

Une vidéo est une séquence d'image fixe ou chaque image est composée de deux trames, dans chaque trames il existe un nombre entier de ligne active qui est de l'ordre de 288 lignes (576 ligne actives dans chaque image vidéo). Ces lignes actives comportent l'information de luminance Y et de chrominance C avec ses deux composantes (Cr, Cb).
Pour les signaux vidéo il existe différents formats d'échantillonnage comme représente la figure suivante :

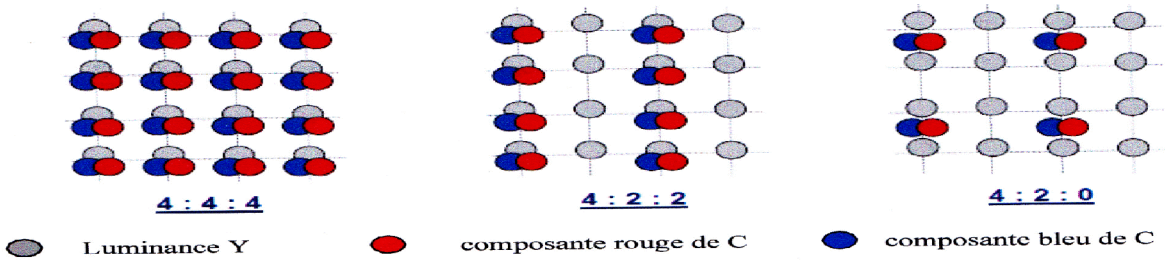


Figure. I.4: Différents formats d'échantillonnage

Echantillonnage 4 :4 :4 :

Consiste à prélever 4 échantillons de luminance Y, 4 échantillons de chrominance C (Cr et Cb).

Echantillonnage 4 :2 :2 :

Consiste à prélever 4 échantillons de luminance Y, 2 échantillons de chrominance C. Ce type d'échantillonnage est le plus utilisé dans les studios.

Echantillonnage 4 :2 :0 :

Consiste à prélever 4 échantillons de luminance Y, 2 échantillons de chrominance C. dans ce type d'échantillonnage la moitié de l'image est en noir et blanc.

- **Les fréquences d'échantillonnage**

Le signal vidéo de luminance possède une bande passante d'environ 6 Mhz. Pour être justement numérisée, la fréquence d'échantillonnage de ce signal doit respecter les critères de Shannon soit : **Fe(Y) = 6 x 2 = 12 Mhz.**

Cependant, pour être utilisée au niveau mondial, Fe(Y) doit être multiple commun des fréquences lignes des systèmes à 525 et 625 lignes. Le C.C.I.R. a donc retenu la fréquence d'échantillonnage suivante : **Fe(Y) = 13.5 Mhz**.

Pour les signaux de chrominance, la bande passante est d'environ 3 Mhz. Le C.C.I.R. a décidé de les échantillonner à une fréquence deux fois moindre de celle pour la luminance soit : **Fe (Cr) = Fe (Cb) = 6.75 MHz.**

Ces fréquences d'échantillonnage déterminées par le C.C.I.R. s'apparentent aux chiffres 4, 2 et 2 (norme 4 :2 :2). Le chiffre 4 représentant la fréquence d'échantillonnage de la luminance (13.5 Mhz) et 2 les fréquences d'échantillonnage des signaux de chrominance (6.75 Mhz = 13.5/2).

On vidéo numérique les échantillons prélevés de signal sont convertis en valeurs numériques sur **8** ou **10 bits** pour chaque échantillon.

Le signal est maintenant échantillonné. L'étape suivante de la numérisation est celle de la quantification.

I.2.1.3. Quantification

Une fois le signal filtré et échantillonné, il reste à le quantifier. Le signal échantillonné peut être converti sous forme binaire (numérique) pour être stocké ; Ce codage s'appelle la quantification.

Le rôle de la quantification est de donner une image binaire d'un signal analogique :

- Passage Analogique – Numérique
- Signal Continu – Signal discret
- Tension – chiffre.

A chaque niveau de tension est associée une valeur binaire codée sur n bits: n bits vont permettre de distinguer 2^n niveaux de tension répartis de -Vm à +Vm. On a ainsi un pas de quantification :

$$q = 2|Vm|/2^n$$

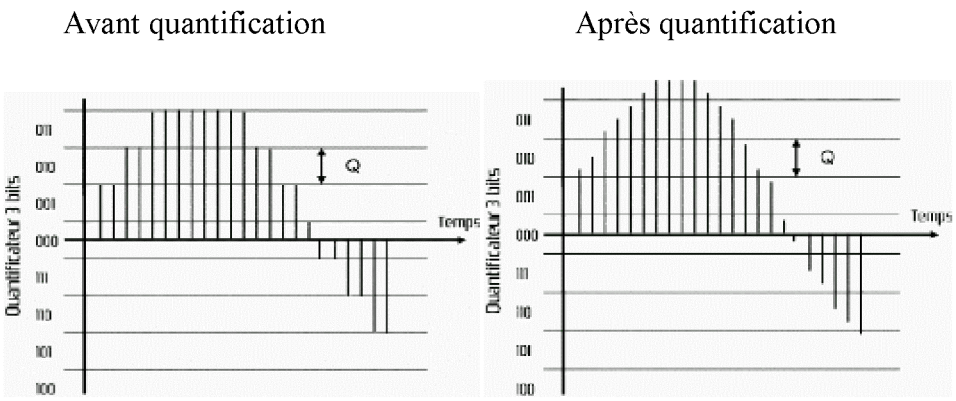


Figure. I.5: Signal échantillonné avant et après quantification.

Le pas de quantification est aussi appelé quantum. Il correspond à la résolution du convertisseur. Le quantum est la plus petite variation de tension que le convertisseur peut coder.

La quantification du signal vidéo est uniforme, linéaire et s'effectue de façon séparée sur Cr et Cb. Initialement fixé sur 8 bits, la quantification du signal vidéo de la norme 4:2:2 a été passée à 10 bits.

En effet, une quantification sur 8 bits permet de disposer de $\mathbf{2^8}$ = 256 niveaux numériques (dont 220 utiles pour représenter les niveaux de gris) ce qui n'est parfois pas suffisant. Pour un dégradé de gris du blanc au noir, par exemple, un " effet d'escalier " apparaît après numérisation. De plus, le rapport S/B d'une quantification sur 8 bits est de **56 dB** alors que les caméras d'aujourd'hui atteignent les **60 dB**. Le C.C.I.R. a donc choisi de quantifier le signal vidéo sur 10 bits, ce qui autorise une échelle de $\mathbf{2^{10}}$ valeurs c'est à dire 1024 niveaux (dont 880 utiles) soit 4 fois plus qu'une quantification sur 8 bits avec pour rapport S/B = **68 dB**. (Avec : S/B= 6*n+2 ou n est le nombre de bits).

I.2.1.4. Le codage

Une fois échantillonné et quantifié, le signal vidéo doit être codé afin d'optimiser son stockage ou sa transmission. Donc chaque échantillon sera codé sur un ensemble de bits.
Le schéma suivant illustre le codage :

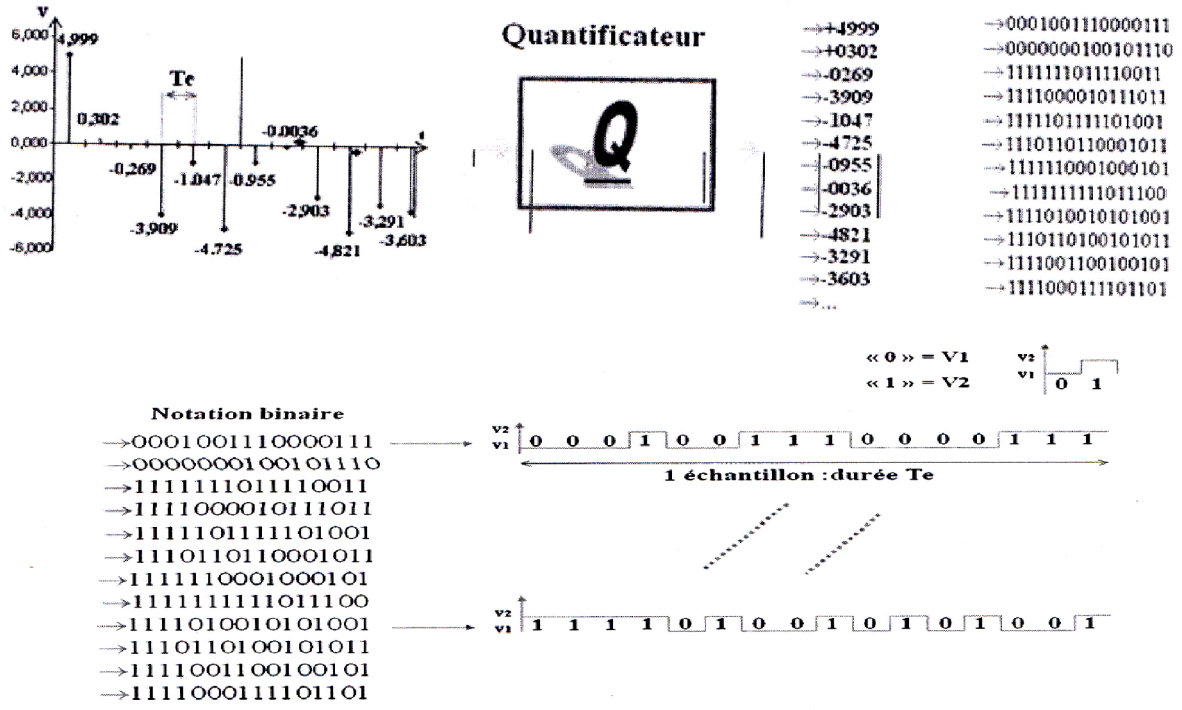


Figure. I.6: Codage d'un signal

Différentes formes de codage existent et présentent chacune leurs avantages et inconvénients. Le but de la manœuvre est donc de choisir le code le plus adapté à l'utilisation. Pour cela, le code NRZ est à disposition :

- **Code NRZ (No Return to Zero)**

Principe : très proche du codage binaire de base, il code un 1 par +V, un 0 par –V

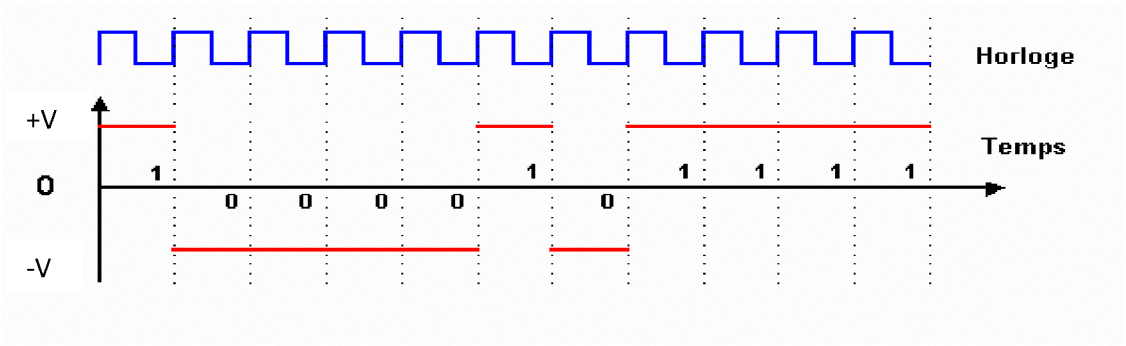


Figure. I.7: Exemple de codage NRZ

Le codage NRZ améliore légèrement le codage binaire de base en augmentant la différence d'amplitude du signal entre les 0 et les 1. Toutefois les longues séries de bits identiques (0 ou 1) provoquent un signal sans transition pendant une longue période de temps, ce qui peut engendrer une perte de synchronisation.

I.2.2. L'audio numérique

La propagation d'un son dans l'air est un phénomène continu et analogique, la fréquence d'échantillonnage (découpage temporelle et régulier du signal analogique) doit être en rapport avec la fréquence maximum que l'on souhaite transmettre et reproduire. Pour les CD audio, la fréquence d'échantillonnage est de 44,1KHz.

Comme nous l'avons défini dans la partie vidéo numérique, le son à numériser doit être échantillonné et quantifié.

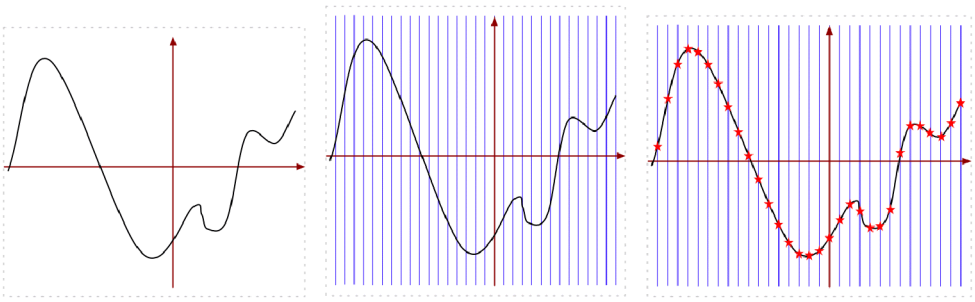
I.2.2.1. L'échantillonnage audio

Le son doit être échantillonné à une fréquence au minimum supérieure au double de la fréquence maximale contenue dans le signal analogique (**Théorème de Shannon**).Les fréquences d'échantillonnage couramment utilisées en audio sont 44,1KHz et 48KHz. Elles sont souvent imposées par des contraintes technologiques. L'échantillonnage est effectué par découpage temporel du signal audio analogique. Ce découpage temporel permet de reconstruire en données chiffrées la forme d'onde du signal numérisé. La numérisation ne repose que sur des séries de 0 et de 1 : il s'agit d'un codage binaire.

Notre oreille perçoit les sons environ jusqu'à **20KHz** (au grand maximum et à partir de l'adolescence, ça ne cesse de baisser). Donc la fréquence d'échantillonnage doit être au moins de l'ordre de **40KHz**. Quand ce n'est pas le cas comme on le verra ci-dessous, il est indispensable de supprimer les fréquences supérieures à la moitié de l'échantillonnage prévu, par un filtre passe-bas. Seules les fréquences inférieures à une valeur fixée seront transmises au sortir du filtre. On parle aussi de « limitation de la bande passante ».

- **Fréquences d'échantillonnage normalisées**

• **32 kHz** : pour la radio FM en numérique (bande-passante limitée à 15 kHz).
• **44.1 kHz** : pour l'audio professionnelle et les compact-disques.
• **48 kHz** : pour les enregistreuses numériques multipistes professionnelles et l'enregistrement grand public (DAT, MiniDisc…).
• **96 kHz** (en 5.1) : norme pour le DVD-Audio.



Un signal simple un signal échantillonné

Figure. I.8 : Echantillonnage d'un signal audio

I.2.2.2. La quantification

Plus le nombre de bits utilisé pour le codage sera grand, meilleure y'aura de ressemblance avec le signal original. Les valeurs couramment utilisées en audio sont **16** ou **24bits**.

L'amplitude de chaque échantillon doit impérativement prendre l'une des valeurs définies par l'échelle de quantification. Si la valeur d'amplitude de l'échantillon se situe entre deux paliers de l'échelle de quantification, elle est approximée au palier le plus proche. Cette approximation induit une erreur que l'on nomme « erreur de quantification ».

Par suite, plus le nombre de bits est élevé, plus le nombre de paliers est important et l'erreur de quantification faible. Autrement dit, les petites variations d'amplitude du signal échantillonné sont d'autant mieux approximées que la résolution de la quantification est élevée.

Les systèmes grand-public actuels (CD, DAT) travaillent avec 16 bits, soient 65536 niveaux. Le standard du DVD audio et des nouvelles machines professionnelles est de 24 bits à 96 kHz. Ces caractéristiques permettent encore d'améliorer la dynamique et la bande-passante des signaux audio, une reproduction encore plus proche de la réalité, ainsi que la possibilité de se livrer à des traitements numériques plus sophistiqués.

I.2.2.3. Comparaison des formats CD-Audio et DVD-Audio

	CD-audio	**DVD-audio**
Capacité	640 Mo	4,7 Go
Nombre de canaux	2 (stéréo)	2 à 6 canaux
Durée d'enregistrement	74 minutes	74 min en 6 canaux
Nature du signal audio	PCM 32	PCM 33
Fréquence d'échantillonnage	44, 1 kHz	Jusqu'à 192 kHz
Taux de transfert	1,4 Mbps	9,6 Mbps

Tableau. I.1: Comparaison des formats CD et DVD

Le concurrent du DVD-Audio est le Super-Audio CD dont les performances sont comparables mais les technologies sont différentes et incompatibles. Jusqu'à preuve du contraire, les lecteurs aussi sont incompatibles.

Remarque :

A la différence des images, les sons numériques doivent subir un processus de reconversion en valeurs électriques analogiques pour pouvoir être représentés. Les images, elles, peuvent être constituées directement de pixels de valeurs de couleurs ponctuellement très précises et correspondant directement à l'information numérique. Pour le son, on ne peut pas se passer de microphones, d'enceintes et de casques (et de nos oreilles ...)

Ces techniques de numérisation bien qu'efficaces ne sont qu'une des étapes de la télévision numérique, car à ce niveau nous n'avons que la télévision numérique non compressée, avec ses différents formats, encore trop volumineux.

I.3. La compression

La représentation classique d'une image numérique utilise un espace de couleur dit RGB. Cela correspond à une représentation discrète de l'image où l'on quantifie la couleur en chaque point par trois valeurs : Rouge, Vert et Bleu (RVB ou RGB en anglais).
Cette présentation a cependant plusieurs défauts : elle utilise une grande quantité d'information et ne tient pas compte du fait que l'œil humain ne perçoit pas les couleurs en RVB mais au travers de deux types de cellules : les une perçoivent la luminosité (en noir et blanc), et les autres la coloration.

La vidéo numérique est l'un des applications informatiques les plus gourmandes tant en terme d'espace requis pour son enregistrement que de volume de débit et de bande passante pour sa diffusion. C'est pourquoi tout type d'applications vidéo numériques requiert l'application d'algorithmes de compression.

La compression est le processus par lequel des fichiers volumineux sont réduits en taille en supprimant de ces fichiers toutes les informations redondantes. La compression va donc consister à déterminer ces redondances et à les éliminer tout en préservant la capacité de reproduire les images originales intactes ou avec le moins de dégradations possible. Puisque la vidéo est média dynamique, c'est-à-dire que les images défilent les unes après les autres dans le temps, on peut distinguer deux types de redondances : spatiale et temporelle.

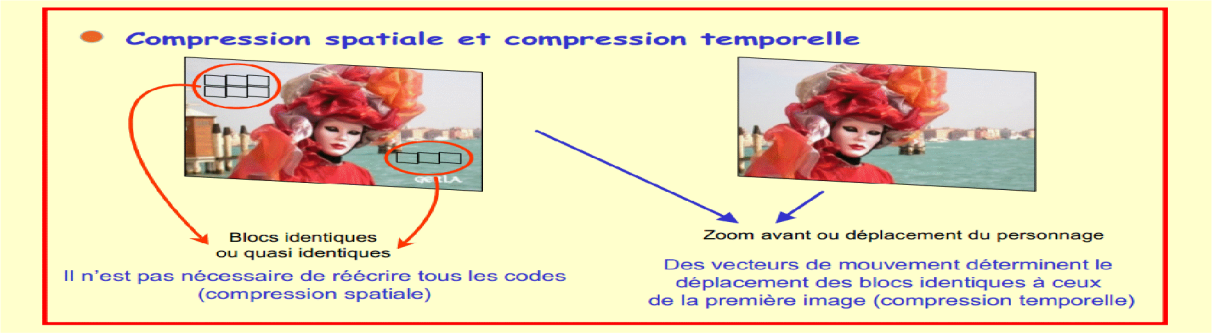


Figure. I.9: Compression spatiale et compression temporelle

- **La redondance spatiale (Intra-trame)**

Ce type de compression affecte l'information spécifique à une seule image. Elle élimine la redondance entre les pixels adjacents. Par exemple, une image présentant un ciel bleu contiendra plusieurs rangées de pixels bleus identiques. La compression spatiale peut donc encoder seulement un seul de ces pixels et indiquer (par une formule mathématique) que les autres sont identiques au premier.



Figure. I.10: Compression spatiale (Intra-frame)

- **La redondance temporelle (Inter-trame)**

Le même type de corrélation existe entre les pixels de deux images successives. On peut donc prédire le contenu d'une image par référence à une image précédente ou suivante et donc proche d'un point de vue contenu. Il suffit ensuite de coder le signal résiduel, qui représente les changements entre les deux images, de la même façon que pour les redondances spatiales.

Ce type de compression emmagasine les différences entre les images en éliminant les informations similaires ou se répétant dans le temps. Par exemple, imaginons un journaliste présentant un reportage, le fond demeure généralement le même, la tête et quelques expressions corporelles viendront ponctuer les variations du flux vidéo.

Cette méthode compare donc chaque image avec la précédente. Si l'image possède des zones où rien n'a changé, l'encodeur copie ces zones de l'image précédente. Si des zones ont changé, l'encodeur transforme les pixels copiés en appliquant, selon le cas, un déplacement, une rotation, un changement de luminosité, etc.

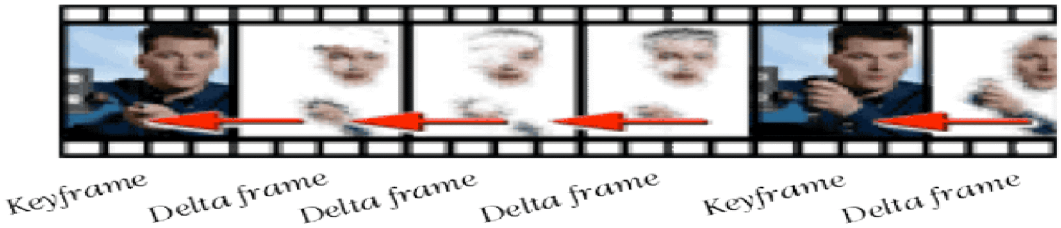


Figure. I.11: Compression temporelle (Inter-frame)

I.3.1. Type de compression

I.3.1.1. La compression avec perte (lossy) ou destructive

La compression « destructive » supprime définitivement certaines informations pour réduire le débit du flux audio ou vidéo. Cette opération n'est pas réversible : il n'est pas possible de « reconstruire » le signal original une fois les données compressées.

Ce type d'algorithme repère les données pouvant être détruites sans affecter (selon certaines tolérances) la perception que l'on a de son ou de l'image. Parmi les techniques de compression avec perte, une grande majorité des méthodes exploite les résultats issus des recherches en psycho-acoustique.

I.3.1.2. La compression sans perte (lossless) ou non destructive

La compression « non destructive » permet de préserver les données originales lors de l'étape de compression. Il est ainsi possible de reconstruire les données d'origines dans leur intégralité à l'issue de la décompression. Cependant ce traitement a pour inconvénient de présenter des taux de compression faibles. C'est pourquoi de nombreuses applications utilisent des méthodes de compression avec pertes qui présentent des taux de compression nettement supérieurs.

I.3.2. La compression vidéo

I.3.2.1. Estimation et compensation de mouvement

L'estimation de mouvement consiste à trouver un vecteur assurant la correspondance entre une zone d'arrivée sur la deuxième image et une zone de départ sur la première. Cette recherche s'effectue au niveau des macros blocs (16* 16 pixels).

De plus la vidéo est une capture d'une scène continue ou deux images vidéo consécutives. Pour cela il est définit trois types d'images en fonction de la façon dont elles sont codées : **[I-B-B-P-B-B-P-B-B-P-B-B-P-B-B-I]**

Image I (intra-frame): est une image codée sans référence à aucune autre image.

Image P (predicted-frame): est une image codée en mode Inter par rapport à une image précédente qui peut être de type I ou de type B.

Image B (bi-directional-frame): est une image codée par interpolation entre les deux images de type I et P, dont une est précédente et l'autre est suivante.

I.3.2.2. Décomposition d'une séquence vidéo

Les trames I, B et P sont combinées dans une séquence répétitives appelée la structure GOP.

Un GOP est d'abord structuré par la distance entre deux images I appelée la distance intra-trame. La distance entre deux image prédites est notée M, celle entre deux images intra est notée N. entre deux trames I, divers modèles sont possibles, comme IBBI mais aussi I seulement ou encore IBBP, comme le montre la figure suivante :

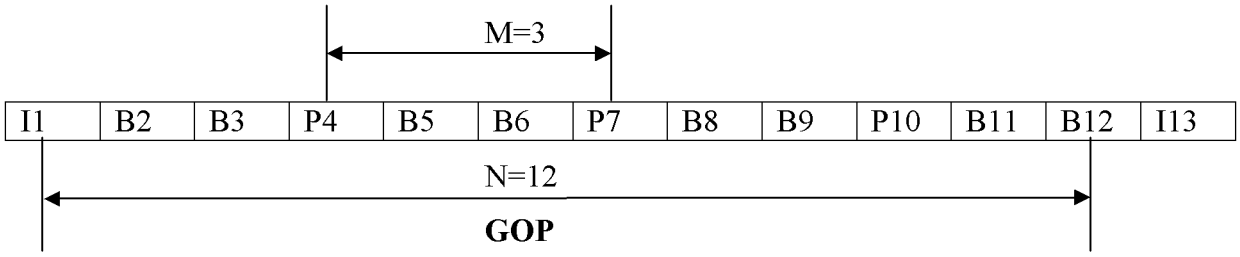


Figure. I.12: structure GOP IBBP

a. groupe d'image GOP (groupe of picture)

On appelle GOP (Groupe Of Picture) la séquence élémentaire composée d'image I, P et B. Un GOP commence toujours par une image I, puis des images P et B et se termine avec l'image précédant l'image I suivante. La longueur de GOP peut être variable, mais la valeur la plus courante en diffusion (télévision ou DVD) est de 12. Dans ce cas, il comprend, outre l'image I de départ, 3 images P et 8 images B. En production, le GOP peut n'être que de I : la séquence n'est alors composée que d'images I, permettant de ce fait le montage à l'image près. Des GOP de 2 (images I et B seulement) sont également possibles sur certains caméscopes.

b. L'image

Elle est composée de 720 points sur 576 lignes.

c. Les tranches :(slices)

Ensemble composé par un nombre entier de 45 macro-blocs alignés de gauche à droite sans recouvrement. Ils sont destinés à la gestion des erreurs au moment du décodage des images et notamment à la resynchronisation du décodeur en cours d'image.

d. Les macro-blocs

Matrice constituée à partir de l'association de blocs. Un macro-bloc comprend 4 blocs de luminance (soit un pavé de 16*16 pixels). C'est l'élément de base pour l'estimation de mouvement. Dans le flux correspondant à un macro-bloc, on trouvera d'abord les informations nécessaires à son décodage : pas de quantification, modes de codage, mode de compensation de mouvement et vecteurs mouvement.

e. Les blocs

Le bloc : partie de l'image de 8 sur 8 pixels. Cette matrice est l'élément de base pour le codage avec le DCT. Pour chaque macro-bloc, on transmet les 6, 8 ou 12 blocs DCT correspondants dans l'ordre défini par la norme.

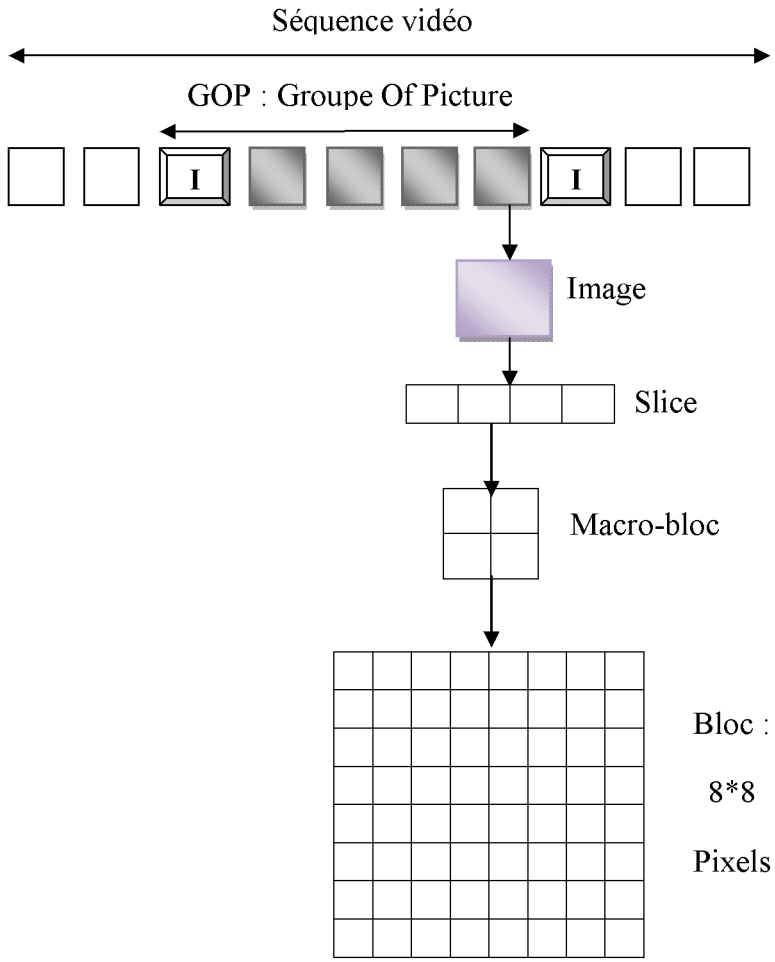


Figure. I.13: Décomposition d'une séquence vidéo

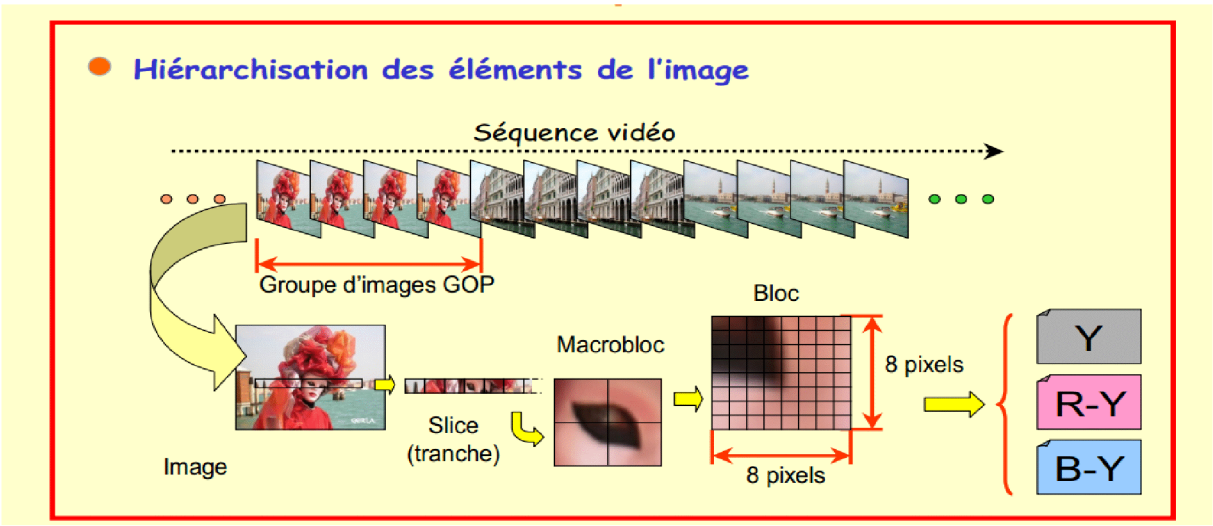


Figure. I.14: Hiérarchisation des éléments de l'image

I.3.2.3. Les standards actuels de compression

Plusieurs standards de compression ont déjà été développés. Voici une liste non exhaustive des méthodes de compression rencontrées le plus fréquemment ainsi que leurs champs d'application.

I.3.2.3.1. Le JPEG (Joint Photographic Experts Group)

En matière de normalisation internationale du codage des images, il serait absurde d'adopter des structures de codage qui ne reposeraient pas sur les progrés réalisés dans le cadre des normes JPEG de compression d'images fixes et MPEG (''Motion Picture Expert Group'') de TV numérique.

Ce standard utilisé pour compresser les photos prises par les appareils numériques. Ce standard, qui permet de faire tenir sur quelques mégaoctets une image qui en prendrait jusqu'à 16 fois plus, utilise une technique dite de compression avec perte.

La transformée en DCT est à l'origine de la compression JPEG et représente encore aujourd'hui le principe de compression le plus utilisé.

- **Transformation en Cosinus Discrète (TCD)**

- **La TCD :** a été proposée en 1974 par Ahmed Natarajan et Raol. C'est une technique plus récente que la MICD et de technologie plus complexe. Elle a été introduite pour la compression d'information, notamment en traitement d'image. En effet elle fournit pour les signaux d'image une approximation convenable de la transformation propre, qui permet de représenter un signal par le minimum de composantes.

- **Interprétation physique de la DCT**

✓ Segmentation de l'image par blocs :

L'image de télévision est codée conformément a la norme numérique dite 4.2.2 de la recommandation_601 du CCIR.

Horizontalement, une ligne numérique complète comporte 720 échantillons (=3/4*960) de luminance (Y) et 360échantillons (=720/2) pour chacun des signaux de différences de couleur (C_R et C_B).

Verticalement, pour les normes à 625 lignes, 576 lignes sur les 625 sont actives. Ce sont les lignes 23 à 310 pour la trame 1 et 336 à 623 pour la trame 2.

Pour les normes à 525 linges, 496 lignes sur 525 sont actives (lignes 16 à 263 de la trame 1 et lignes 278 à 525 de la trames 2).

Pour tirer parti de la corrélation bidimensionnelle spatiale des pixels et des contexte local de l'image ainsi que pour d'autres raisons pratiques (réalisation équipements d'acquisition et de restitution d'images), l'images est divisée en blocs_juxtaposés de dimensions plus petites (4*4, 8*8 ou 16*16 pixels).

Dans le cas ou la taille des blocs est normalisée à 8*8, une image entière contient 90*72 blocs (90=720/8 et 72=576/8).

La transformée DCT (Discrete Cosine Transform), est un model mathématique et une technique numérique qui permet de remplacer des données de l'image par transformation de l'information du domaine spatial de l'image en une représentation dans le domaine fréquentiel.

On transforme les pixels en valeur de coefficients liés à la fréquence d'analyse de la zone. Le coefficient le plus élevé correspond à la zone où les pixels changent le plus rapidement d'état (luminance et chrominance) alors que les coefficients les plus faibles sont le reflet des zones qui changent le moins fréquemment. Les basses fréquences se trouvent en haut à gauche de la matrice, et les hautes fréquences en bas à droite.

- **Application de la TCD (Transformation en cosinus discret)**

Ce codage exploite la redondance spatiale qui existe dans une image, et reprend les techniques utilisées dans la norme JPEG pour images fixes. Chaque bloc est ensuite transformé dans un espace fréquentiel tel que le montre le schéma simplifié de la figure suivante :

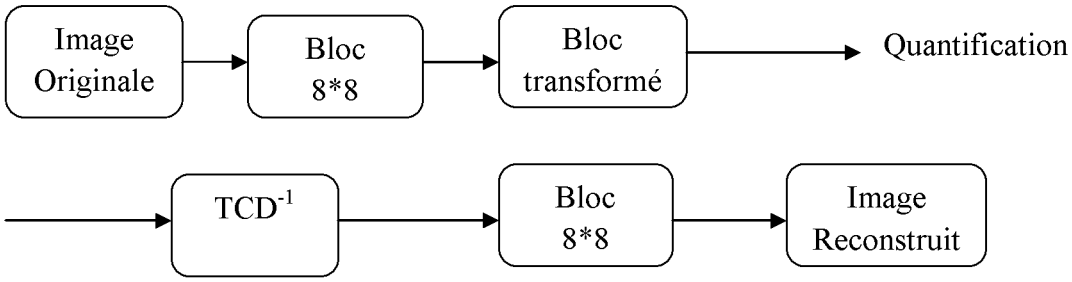
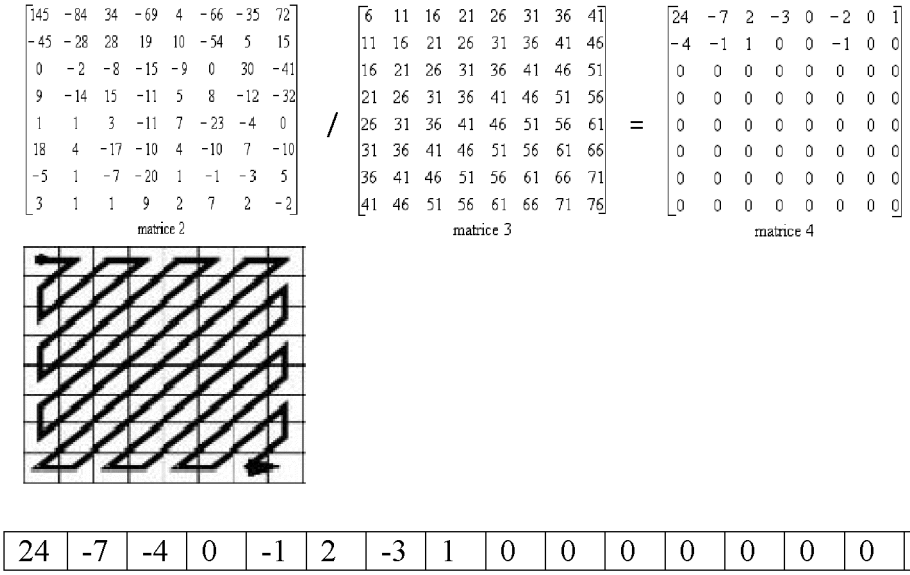


Figure. I.15: Codage/décodage TCD

- **Les différentes étapes de compression par la technique de DCT**

- Application de la DCT : cette transformation est appliquée à un bloc de 8*8 pixels qui seront transformés en un bloc de 8*8 coefficients ; ces coefficients sont représentatifs de la teneur en fréquence du bloc de pixel initial, sachant que les composantes de basse fréquence sont concentrées dans le coin supérieur gauche du bloc transformé, alors que les composantes des fréquences plus élevées sont situées plus vers la droite et le bord inférieur.
- Seuillage et quantification :
  - ✓ Tout les coefficients dont les valeurs sont inférieurs à un seuil déterminé ; sont mis à zéro.
  - ✓ La précision de quantification est réduite pour les coefficients de fréquence élevée.
- Lecture en Zigzag : pour transformer la matrice en un flot de données série adapté aux
- prochaines étapes de processus.



24	-7	-4	0	-1	2	-3	1	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	…	0

Figure. I.16: Exemple de traitement d'un bloc 8*8 par un codec TCD hybride

- RLC et VLC RT
  - ✓ VLC (variable length coding) : les longues suites de zéros obtenues seront remplacées par des couples valeurs/nombre de zéros
  - ✓ RLC (Run length coding) : ce codage attribut aux coefficients les plus fréquents statiquement de petites longueurs de codes et vice versa.

I.3.2.3.2. Le Motion JPEG (M-JPEG)

Il s'agit d'une extension du JPEG qui permet de traiter des séquences d'images. En réalité, il se contente de considérer une séquence vidéo comme une succession d'images fixes, Chacune d'elles compressée séparément en utilisant le standard JPEG. Puisque chaque image est compressée indépendamment des autres, le Motion JPEG permet le montage à l'image près, pour des images en mouvement c'est-à-dire pour la vidéo numérique.

I.3.2.3.3. Le MPEG (Moving Pictures Expert Group)

Le groupe MPEG a été établi dans le but de développer des standards internationaux de compression, décompression, traitement et codage d'**images animées**. Dans de nombreuses séquences vidéos, de nombreuses scènes sont fixes ou bien changent très peu, c'est ce que l'on nomme la redondance temporelle.

Tous les MPEG reposent sur le principe de transformée DCT, puis apportent des déclinaisons spécifiques.

Il existe plusieurs standards MPEG :

a. MPEG-1

MPEG-1 fut le premier standard du groupement MPEG permettant de traiter une compression vidéo numérique. Destiné aux applications multimédia.

Le MPEG-1 utilise une résolution de 352 pixels par 240 pixels, soit environ 85000 pixels. Son débit binaire typique est de l'ordre de 1.5M bits/s.

b. MPEG-2

Extension de MPEG-1 permettant d'obtenir une qualité d'image supérieure. Les limitations du MPEG-1 furent vite apparentes. Sa résolution limitée et sa qualité assez basse n'en faisait pas un standard capable de durer dans le temps face à l'évolution rapide des moyens informatiques et numériques.

➢ **Schéma bloc de MPEG-2**

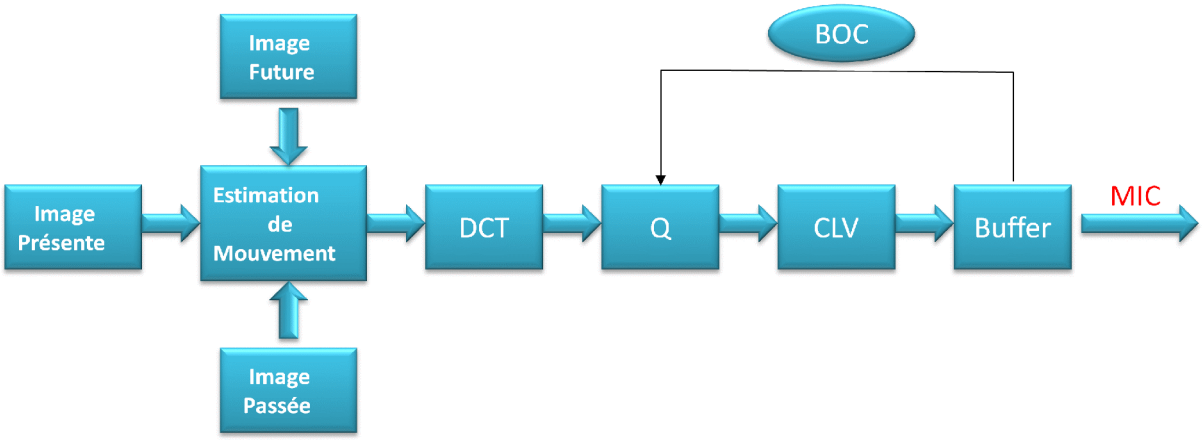


Figure. I.17: Schéma bloc de codeur MPEG-2

- Le codeur MPEG-2 fournit un flux élémentaire structuré en : Séquence, Groupe d'image (GOP), Image, Tranche, Macro-blocs, Blocs.
- Application : Transmission/Diffusion (DVB) – production - Stockage.

Afin de rendre la norme polyvalente (en terme d'applications visées mais aussi au niveau des fonctionnalités possibles) on a défini pour MPEG-2 une série de profils et de niveaux (**Profiles** et **levels** en anglais) :

➢ **Profile en MPEG-2 vidéo**

La norme MPEG-2 couvre une grande variété d'applications pour satisfaire leurs exigences, un très grand nombre de spécifications techniques ont été développées, avec plusieurs profiles et divers types d'améliorations.

- Profil simple : il n'utilise pas des images de type B, ce profil convient à des applications à faible retard comme la vidéo conférence.
- Profil principal : il admet des images de type B, cette caractéristique augmente le retard, codage classique 4 :2 :0.
- Profil SNR Scalable: permet d'envoyer un train binaire supplémentaire (au train principal) pour améliorer la qualité de l'image TV.
- Le profil spatial Scalable: on achemine les images sous différentes résolutions SD, HD.

- Le profil élevé : il admet des signaux vidéo échantillonnés 4 :2 :2, 4 :2 :0.
- 4 :2 :2 : codage de la vidéo à haut débit.

Chaque profil comporte ensuite différents niveaux :

➢ **4 niveaux « levels »**

Ils apportent une approche quantitative, décrivant différents paliers de performance pour un profil donné et correspondant à autant de degrés de complexité dans la mise en œuvre. Les niveaux imposent des contraintes à certains paramètres clés du flux. Ils vont par exemple spécifier (les limites supérieures pour la définition des images, le nombre d'image par seconde, les gammes de débits utilisables…). Chaque profil offre une compatibilité ascendante, c'est-à-dire qu'un profil donné est capable de reconnaitre et d'exploiter tous les profils de niveau inférieur.

- LOW LEVEL: Format 1/4 TV.
- MAIN LEVEL: Format TV.
- High 1440: Format TVHD 1440 pts/ligne.
- High: Format TVHD 1920 pts/ligne.

➢ **Les couples (profil/level)**

Sont conçus pour faciliter l'interopérabilité entre des applications qui peuvent être utilisées pour générer un flux compatible.

Six profils et quatre niveaux ont été définis. Sur les 24 combinaisons possibles, seules 12 ont été jugées utiles et réalisables.

Les détails de codage et de décodage sont ici réduits et le matériel correspondant est plus simple. Le **profil simple** n'a été seulement défini qu'au **niveau principal** (**Simple Profile et Main Level** = **SP@ML**). Le **Profil Principal** (Main Profile) est conçu pour une vaste gamme d'utilisations. Le **niveau Bas** utilise un signal d'entrée à faible résolution ne possédant que 352 pixels par ligne. **La plupart des applications de diffusion nécessite le profil principal au niveau principal (Main Profile et Main Level = MP@ML),** appellation du MPEG utilisé en télévision standard.

Le **niveau Haut−1440** est un système à haute définition qui double la définition par rapport au niveau principal. Le niveau Haut double non seulement la définition horizontale, mais maintient cette résolution pour le format 16:9 en portant à **1920** le nombre d'échantillons horizontaux. Dans les systèmes de compression utilisant les transformées spatiales et la requantification, il est possible de produire des signaux adaptables.

Un codeur MPEG conventionnel peut, en requantifiant fortement les coefficients par exemple, coder une image avec un rapport signal/bruit modéré. Si cette image est localement décodée et soustraite pixel par pixel de l'image originale, le résultat constituera l'image de bruit de quantification.

Cette image peut être compressée et transmise en tant que signal complémentaire Un décodeur simple utilisera seulement le flux principal avec son niveau de bruit mais un décodeur plus élaboré (MPEG-4).Peut décoder les deux flux de bits et produire une image moins bruitée.

Ceci constitue le principe de l'adaptabilité SNR. D'autre part, le codage des fréquences spatiales les plus basses d'une image HDTV peut produire un flux principal qu'un récepteur ordinaire SDTV peut décoder. Si l'image à faible définition est décodée localement et soustraite de l'image originale, une image d'amélioration de la définition est obtenue. Cette image peut être codée comme signal complémentaire. Un décodeur adéquat sera capable de restituer l'image haute définition. Ceci constitue le principe de l'adaptabilité Spatiale. Le **profil Haut** est compatible avec les adaptabilités **SNR** et **Spatiale** et accepte l'échantillonnage 4:2:2. Le **profil 4:2:2** a été développé dans le sens d'une plus grande compatibilité avec le matériel de production numérique. Ce profil permet l'exploitation en 4:2:2 sans exiger la complexité supplémentaire du profil Haut. **Un décodeur HP@ML peut accepter une adaptabilité SNR qui ne constitue pas en soi un impératif de production.** Le **niveau 4:2:2** a la même liberté de structure de GOP que les autres profils, mais en pratique, il est plus souvent utilisé avec des GOPs courts pour faciliter les opérations de montage. Le 4 :2 :2 nécessite un flux de bit supérieur au 4 :2 :0 et l'utilisation de GOP impose quand même un débit supérieur pour une qualité donnée.

	Profil	Simple	Main	SNR	Spatial	High	4 :2 :2
Niveau	Format Chroma	4 :2 :0	4 :2 :0	4 :2 :0	4 :2 :0	4 :2 :2	4 :2 :2
High 1920	 Echantillons/Ligne Lignes/Image Images/secondes Débit maximum		MP@HL 1920 1152 60 80Mb/s			HP@HL 1440 1152 60 100Mb/s	422P@HL 1920 1088 60 300Mb/s
High 1440	 Echantillons/Ligne Lignes/Image Images/secondes Débit maximum		MP@H14L 1440 1152 60 60Mb/s		SSP@H14L 1440 1152 60 60Mb/s	HP@H14L 1440 1152 60 80Mb/s	
Main	 Echantillons/Ligne Lignes/Image Images/secondes Débit maximum	SP@ML 720 576 30 15Mb/s	MP@ML 720 576 30 15Mb/s	SNRP@ML 720 576 30 15Mb/s		HP@ML 720 576 30 20Mb/s	422P@ML 720 608 30 50Mb/s
Low	 Echantillons/Ligne Lignes/Image Images/secondes Débit maximum		MP@LL 352 288 4Mb/s	SNRP@LL 352 288 30 4Mb/s			

Tableau. I.2: Les profils et les niveaux

c. MPEG-3

Le MPEG-3 était à l'origine destinée aux très hauts débits mais ne vit pas le jour en tant qu'entité puisqu'il fut assimilé au standard MPEG-2.

d. MPEG- 4

Originalement destiné aux communications mobiles, sa forme **originale** n'a rien à voir avec le monde de la vidéo broadcast. D'autres développements futurs seront à surveiller.Le MPEG-4 dépasse complètement la compression vidéo classique elle se divise en nombreuses parties permettant de traiter des contenues multimédia en considérant l'image **composée d'objets.**

Cette norme complète les groupes MPEG précédentes, ainsi qu'elle offre des fonctionnalités très diverses, tournant principalement autour de:

- **la compression** : offrant des outils de codage optimisés pour des débits allant de quelques kbit/s à quelques Mbit/s.
- **l'interactivité** : permettant de définir des scènes complexes objet par objet, et d'en manipuler la composition et les objets directement dans le flux (copier-coller…) sans avoir à les décoder.
- **la transmission**, offrant des outils permettant d'adapter les flux à tous types de réseaux, dès le codage (scalabilité, outils pour la robustesse aux erreurs).

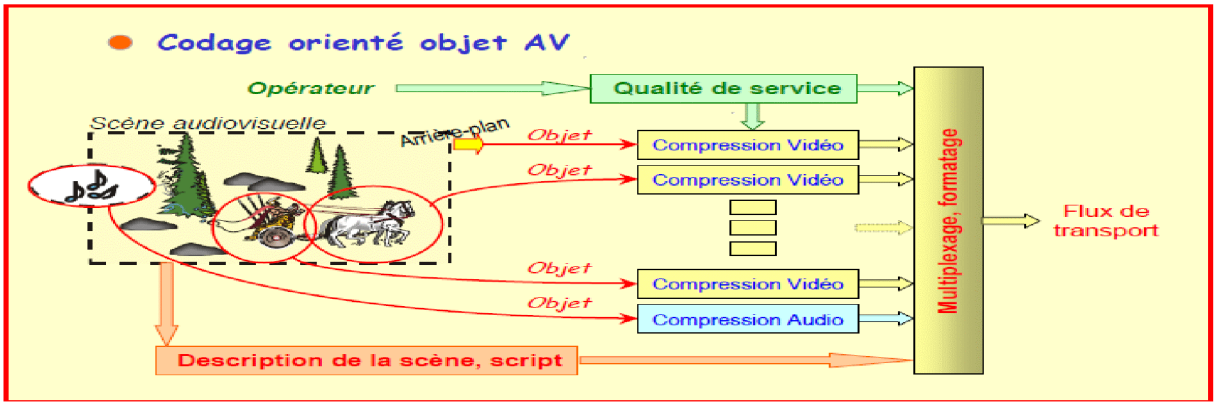


Figure. I.18: principe de base MPEG-4

- **MPEG-4 visuel**

MPEG-4 vidéo se différencie aussi de ses prédécesseurs par sa flexibilité en débits : le codage est optimisé pour aller de quelques kbits à quelques Mbits par seconde.

- **MPEG-4 audio**

MPEG-4 est une nouvelle sorte de norme audio qui intègre beaucoup de types différents de codage audio : sons naturels et/ou sons de synthèse, distribution à bas débit ou haut débit,

À la différence des normes audio précédentes, MPEG-4 ne vise pas une seule application comme la téléphonie ou la compression audio de grande qualité, mais s'adresse à toute application nécessitant l'utilisation de réduction de débit audio perfectionnée, de synthèse, de manipulation, ou de réécoute (*playback*).

- **Type d'objets MPEG-4**

- Image fixe : naturelle (fond et photo).
- Objet vidéo : naturelle.

- Textes et graphiques (sous-titre).
- Objet audio : naturel (voix, musique).

Le MPEG4 apporte une solution efficace pour l'encodage vidéo. Ses algorithmes sont relativement évolues, et promettent une qualité élevée à débit bien plus bas que le MPEG2. Le MPEG4 utilise également un système de licence beaucoup plus facile, le rendant plus attractif à l'utilisation.

e. MPEG-7 et MPEG-21

Le MPEG-7 est le dernier né de la famille des codecs MPEG, et a reçu sa première esquisse officielle en Septembre 2000. Le MPEG-7 ne concerne plus vraiment la compression vidéo mais traite essentiellement de contenu multimédia et d'interactivité. Le MPEG-21 étend le MPEG-7, et est encore en pleine naissance.

I.3.3. La compression audio

Le but de moteur de compression audio est bien sûr de réduire le débit binaire audio tout en maintenant la qualité au dessus d'un niveau acceptable. Pour cela et comme pour la compression vidéo, on exploite les faiblesses de l'audio humaine pour réduire le nombre d'information à transmettre sans détériorer de façon perceptible la qualité du signal audio. La compression audio se fait au format MPEG layer 2.

Un signal audio numérisé est stocké sur des disques durs, des disques compacts, des DVD… La nature de l'information qu'ils contiennent rend ces fichiers relativement volumineux. L'intérêt de la compression de données audio est de réduire la taille des fichiers audio. La possibilité de réduire le débit de ces données est généralement appliquée pour des systèmes ayant un débit faible (ex : Internet) ou une capacité de stockage limitée (ex : baladeur mp3). Les techniques de réduction de débit sont déjà très largement employées dans les domaines du cinéma et de la radio, via le câble, le satellite ou la TNT.

I.3.3.1. Les algorithmes de compression

Un algorithme est l'énoncé d'une suite d'opérations permettant de donner la réponse à un problème. Dans le cas de la compression, l'algorithme a pour fonction de réduire la taille d'un fichier selon un certain nombre de contraintes que le programmeur spécifie. Par exemple, une des contraintes peut être de conserver toutes les fréquences inférieures à 20kHz afin de limiter les pertes de qualité sonore dans la zone audible du spectre.

Lors de l'étape de compression et de décompression d'un flux audio ou vidéo, on utilisera des algorithmes spécifiques rassemblés sous le terme commun de « Codec ». Un codec est constitué de deux éléments :

Le Codeur contient un algorithme destiné à coder l'information. Dans le cas de la compression ce sera pour effectuer une réduction du poids des données ;

Le Décodeur contient un algorithme destiné à décoder l'information. Dans le cas de la compression ce sera pour reconstruire un signal audionumérique.

I.3.3.2. Le taux de compression

Compresser revient à réduire le débit du flux audio et/ou vidéo. Les algorithmes sont adaptés en fonction des applications (diffusion internet, télévision, cinéma) pour répondre aux besoins de chacun des médias. La réduction de débit (ou compression) s'exprime généralement sous la forme d'un taux dit « taux de compression ». Le taux de compression peut s'énoncer comme suit :

- soit comme le rapport entre le volume initial des données et le volume après réduction.

Si le volume de données est deux fois plus faible après réduction (passant de **10Mo** à **5Mo** par exemple), on écrira qu'il s'agit d'un taux de **2:1**;

- soit en **pourcentage** du volume après réduction par rapport au volume initial.

Si le volume de données est deux fois plus faible après réduction, on écrira qu'il s'agit d'un taux de **50%.**

I.3.3.3. Méthode appliquée lors d'une compression audio avec perte

Voici la méthode de compression avec perte couramment utilisée :

• décomposition temporelle du signal non compressé (PCM) en unités de temps élémentaires (les« Frames ») ;

• calcul d'une transformée pour passer du domaine temporel au domaine fréquentiel, en général par MDCT (Modified Discrete Cosine Transform) ;

• série d'analyses permettant de réduire le volume de données à encoder en tenant compte des caractéristiques de l'oreille : les sons susceptibles d'être masqués ne sont pas encodés ;

• quantification spectrale : il s'agit de l'étape de réduction de données ;

• compression de données par codage de Huffman, correspondant à une méthode non destructive d'élimination des redondances, pour optimiser la taille des données encodées. On obtient alors une « frame » de données spectrales compressées.

Cette méthode est ainsi utilisée dans les algorithmes de compression MPEG-1 Layer 3, Advanced

Audio Coding (AAC), Vorbis, Dolby Digital ou ATRAC.

I.3.3.4. Principales techniques de compression audio sans perte

- **Codage à longueur variable :** Plus connu sous le nom de RLC (Run Length Coding) ou RLE (Run Length Encoding), ce codage détecte la redondance entre des éléments successifs.

Exemple :

La série de chiffres…

7 1 1 1 1 3 8 8 8 2 2 6

…sera réécrite comme suit :

7 ; 4 x 1 ; 3 ; 3 x 8 ; 2 x 2 ; 6

- **Codage de Huffman** (codage entropique) : Le codage de Huffman (inventé en 1952) est une méthode de compression statistique de données. Cet algorithme est souvent utilisé en complément d'autres méthodes de compression (comme le MPEG 1 Layer 3 par exemple).

✓ L'algorithme de Huffman comprend plusieurs étapes :

- Calcul statistique de la fréquence d'apparition de chacun des éléments ;
- Classement dans l'ordre décroissant de probabilité d'occurrence ;

- Regroupement des deux éléments ayant la probabilité la plus faible pour constituer un nouvel élément dont la nouvelle probabilité est la somme des deux probabilités des deux éléments regroupés;
- Réitération de l'opération ; résultats présentés sous la forme d'une arborescence des éléments suivant l'augmentation de la probabilité d'occurrence.

I.3.3.5. Les formats de compression standard : l'exemple du MPEG-1 Audio

Le groupe MPEG (Moving Pictures Experts Group) est issu de deux instances de normalisation : l'ISO (International Standards Organisation) et l'IEC (International Electrotechnical Commission).

Les standards MPEG sont généralement utilisés pour la diffusion (internet, télévision).

Les algorithmes MPEG exploitent essentiellement les caractéristiques de l'audition humaine lors de l'étape de compression.

- **La norme MPEG-1 :** La norme MPEG-1 est composée de trois couches (ou modes) optionnelles (Layer 1, 2 ou 3). Chacune de ces couches présente des caractéristiques différentes. De manière générale, chaque nouvelle couche présente par rapport aux précédentes des taux de compression plus élevés (taux de compression maximum).

MPEG-1 / Audio Coding Approximate bit rates Compression factor:
Layer 1: 384 Kbit/s 4bits
Layer 2: 192 Kbit/s 8bits
Layer 3: 128 Kbit/s 12bits

I.3.3.6. Caractéristiques des différentes couches audio

- **MPEG-1 audio couche 1**

Le MPEG-1 couche 1 est aussi connu sous le nom de « Musicam simplifié ». Son débit peut varier de 32 à 448kbit/s pour des fréquences d'échantillonnage classiques de 32 ; 44,1 et 48kHz.

- **MPEG-1 audio couche 2**

Le MPEG-1 couche 2 est aussi connu sous le nom de « Musicam ». Son débit peut varier de 32 à 192kbit/s pour un signal mono et de 64 à 384kbit/s pour un signal stéréo.

Une des principales différences en ce qui concerne la couche 2 réside dans la précision de l'analyse de chaque sous-bande. En effet, une résolution d'analyse élevée de ces sous bandes permet de repérer avec plus de précision les différentes plus données à encoder. Pour un meilleur calcul des phénomènes de masquage, on augmente la résolution de l'analyse fréquentielle de chaque sous-bande en élevant le nombre d'échantillons analysés en entrée. Par exemple, on passe de 128 à 256, 512 ou 1024 échantillons.

- **MPEG-1 audio couche 3**

Le MPEG-1 couche 3, connu sous le nom « MP3 », ajoute une quantification non uniforme ainsi qu'un codage de Huffman.

Cette couche est la plus complexe des trois et permet des taux de compressions supérieurs aux autres. Chacune des 32 sous-bandes principales est subdivisée en 18 sous-bandes supplémentaires. Son débit peut varier de 8 à 320kbit/s avec des fréquences d'échantillonnage pouvant descendre à 24 et 16 kHz.

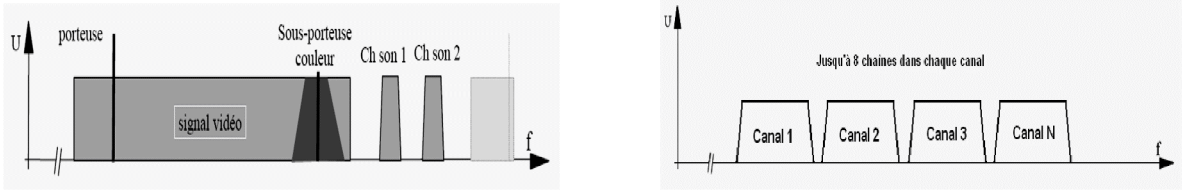
La norme MPEG-4 est utilisée aussi bien dans la télédiffusion terrestre, satellite; que dans différentes applications tel que Internet, multimédia sans fils.

En conclusion ; Les systèmes de compression MPEG sont utilisés par tout dans la vie courante. Le MPEG-2 est utilisé dans tous les DVD, et même dans les transmissions d'images par satellite. Ce document vise à décrire simplement leurs principes de fonctionnement et leurs méthodes. L'étude se fera sur le MPEG1, le MPEG-2 et le MPEG-4 qui sont les seuls formats MPEG à être réellement standardisés et utilisés.

I.4. Le multiplexage

Chaque composante est codée d'abord séparément puis regroupées lors du multiplexage pour faire un flux comportant toutes les informations du ou des programmes (vidéo, audio, données).

Afin de permettre de telles avancés dans le domaine télévisuel, il ne faut pas oublier toute la technique que cela demande. Le multiplexage est une des techniques qui a permis à la télévision numérique d'être aujourd'hui un média reconnu dans le monde entier. L'explication succincte de cette méthode est le fait d'associer plusieurs signaux dans un seul signal émis (parallèle-série), ce qui permet notamment à la télévision analogique de véhiculer le son et les différentes composantes de l'image.



Multiplexage en analogique Multiplexage des canaux en numérique

Figure. I.19: Multiplexage en analogique et en numérique

Toutefois, en diffusion analogique hertzienne, on est obligé d'émettre sur des largeurs de bandes de fréquences relativement étroites afin de préserver au mieux un spectre électromagnétique déjà fort encombré. Impossible donc de multiplier les chaînes. Avec le numérique, le multiplexage d'une émission est réalisé en amont de la diffusion en transformant la vidéo et le son en un flux de données numériques. Sur une même fréquence, on ne multiplexe donc plus le son et l'image d'une émission mais les flux numérisés de plusieurs programmes. Le nombre de chaînes peut donc être multiplié, et certaines fréquences hertziennes libérées pour d'autres utilisations. En moyenne, dans l'espace hertzien requis pour une chaîne analogique, on peut véhiculer huit chaînes numériques.

Le seul défaut de cette technique est que les postes de télévision classiques ne peuvent pas afficher directement une émission diffuser en numérique. Il faut utiliser un **boîtier** communément appelé **décodeur**, afin de séparer les différents flux multiplexés sur un même canal et permettre la transformation d'un de ces flux en signal utilisable par la télé.

I.4.1. Les différents flux

I.4.1.1. Le MPEG PS et le MPEG TS

Il existe deux flux pour synchroniser l'audio et la vidéo :

Le Program Stream (**PS** ou **flux de programme**) : est utilisé pour le MPEG enregistré sur un support, un DVD par exemple.

Le Transport Stream (**TS** ou **flux de transport**) : est utilisé dans le cas de la diffusion télévisuelle numérique d'une séquence vidéo. Ces deux normes, différentes dans l'application utilisée, en commun de multiplexer des flux élémentaires **ES** (Elementary Stream).

Chacun des flux ES est découpé en morceaux de tailles fixes ou variables, on parle alors de paquets **PES** (Packetized Elementary Stream). Parmi ces flux on trouve la vidéo, les différentes pistes audio (un flux ES par langue par exemple) ou les sous-titres. Ils intègrent, en plus des données qu'ils véhiculent, des informations diverses relatives à la correction d'erreur, au mode de décodage si le flux est protégé par cryptage, des codes de synchronisation…

Le **MPEG PS** a été conçu pour une transmission dans un environnement où le taux de perte et d'erreurs est très faible. Ce qui est le cas pour un lecteur DVD mais pas pour une liaison satellite ou encore hertzienne dans lesquels l'environnement peut à tout moment perturber le signal reçu.

Le **MPEG TS** a donc été conçu spécifiquement pour répondre à cette difficulté. Dans un flux TS, les flux élémentaires ES sont découpés en « paquets » de taille fixe. Les paquets des différents flux ES sont regroupés en paquets de transport. Ainsi, si un paquet de transport est perdu ou brouillé dans la transmission, les autres paquets de transport arriveront quand même au récepteur qui saura les interpréter et en conserver la synchronisation.

Une autre différence, entre ces deux types de flux, est la taille des paquets de données : un paquet **TS** a une taille de **188 octets**, alors qu'un **paquet PS** peut voir une taille de **2048 octets.**

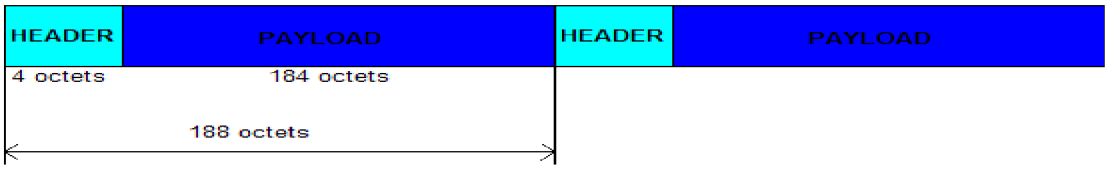


Figure. I. 20: Trame MPEG Transport Stream

L'en-tête (header) identifie le paquet à l'aide d'un PID (Paquet Identifier) mais identifie également le programme télévisé émis, c'est-à-dire le flux PES véhiculé par le paquet TS. Un flux TS peut véhiculer une multitude de flux PES. Chaque flux PES a son PID associé. C'est ainsi que le décodeur va pouvoir analyser le flux TS reçu et séparer les différents flux PES en autant de chaînes à consulter.

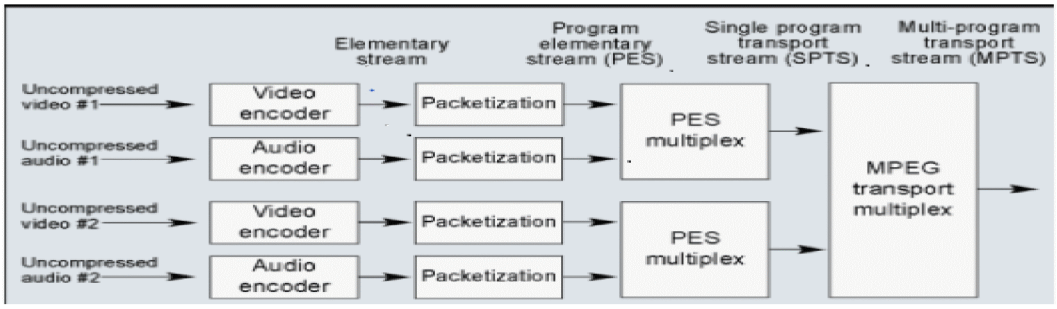


Figure. I.21: Multiplexage MPEG au sein d'un flux Transport Stream

Le STPS (Single Program Transport Stream) : est le multiplexage des TS vidéo et audio d'un même programme.

Le MTPS (Multiple Program Transport Stream) : réalisé avec un nouveau multiplexage qui est appliqué aux STPS des différents programmes.

I.4.1.2. Packet Elementary Stream

Pour des raisons de commodité, les flux élémentaires continus transportant de l'audio ou de la vidéo en provenance de compresseurs doivent être divisés en paquets. Ces paquets sont identifiés par des en-têtes contenant des **marqueurs temporels** pour la synchronisation. A partir des PES, on peut créer des Flux de Programme et des Flux de Transport.

- **Paquets PES**

Dans le flux élémentaire en paquets (PES), un flux élémentaire continu est divisé en paquets d'une taille adaptée à l'application. La taille peut atteindre plusieurs centaines de kilo-octets et varie en fonction de l'application. Chaque paquet est précédé par un en-tête PES. Le paquet commence par un préfixe de 24 bits (préfixe de départ) et un identificateur de flux caractérisant le contenu du paquet (audio ou vidéo), et si nécessaire, le type de codage audio.

Ces deux paramètres (préfixe de départ et identificateur de flux) constituent le code de départ identifiant le code de début du paquet.

Il est important de ne pas confondre le paquet d'un PES et le paquet plus petit utilisé dans les flux de transport, ces deux éléments portant malheureusement le même nom.

Comme le MPEG ne définit que le flux de transport, et non le codeur, un concepteur peut décider de fabriquer un multiplexeur convertissant les flux élémentaires en flux de transport en une seule étape.

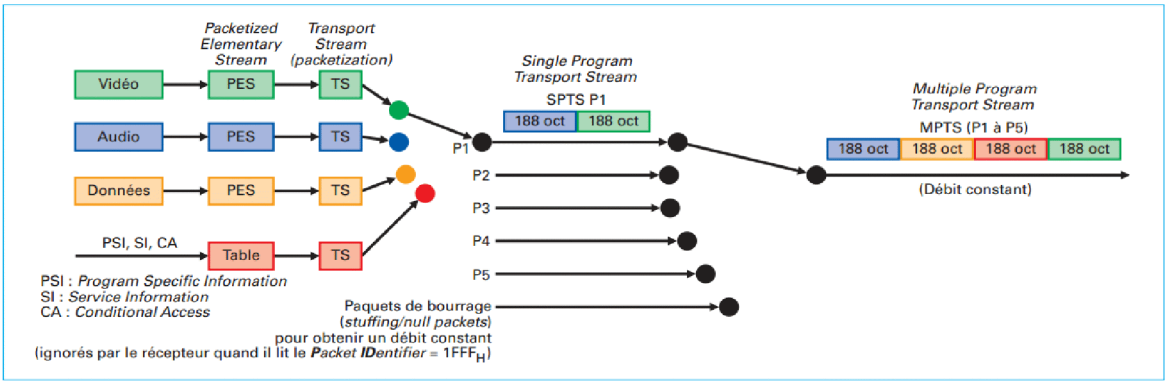


Figure. I.22: Génération d'un train de données MPEG-2 TS

I.4.1.3. Introduction aux flux de programme

Un flux de programme est un multiplex de paquets PES qui véhicule plusieurs flux élémentaires préalablement codés à partir de la même horloge mère ou de la même référence. Le flux peut être constitué d'un flux vidéo et de ses flux audio associés ou seulement un canal de multi programmes audio.

I.4.1.4. Flux de transport

Un flux de transport est bien plus qu'un simple multiplexage de plusieurs paquets PES. Dans les flux de programme, les marqueurs temporels sont suffisants pour recréer l'axe des temps parce que l'audio et la vidéo sont verrouillées sur une référence commune.

Pour télécharger des données dans un réseau éloigné, un impératif supplémentaire est nécessaire dans le décodeur pour recréer l'horloge de chaque programme.

Cela impose un élément supplémentaire dans la syntaxe afin de fournir la référence d'horloge de programme (PCR = Program Clock Reference).

Le flux de transport véhicule plusieurs programmes différents utilisant chacun un débit et un facteur de compression susceptibles de **varier dynamiquement**, même si le débit global reste constant.

Cette propriété est appelée multiplexage statistique et permet à un programme supportant des images difficiles de prendre de la bande à un programme supportant des images plus statiques.

I.4.2. Multiplexage numérique TDM

Principe : Les flux d'informations sont combinés dans un signal unique à l'aide d'un multiplexeur.

I.4.2.1. Multiplexage temporel

Répartition du temps d'utilisation de la totalité de la bande passante entre les différentes communications.

Dans le cas du **multiplexage temporel**, le multiplexeur fonctionne comme un commutateur, chaque signal est commuté à tour de rôle à grande fréquence, une **synchronisation de fréquence** et de **phase** étant assurée de part et d'autre pour que chaque signal soit restauré où est comme il le faut. Le multiplexage est également utilisé par les transmissions modernes en informatique et dans la transmission de chaînes de télévision numérique (Bouquet numérique de télédiffusion, Télévision numérique terrestre).

I.4.2.2. Multiplexage TDM

Le multiplexage TDM (Time Division Multiplexing) ou MRT (Multiplexage à répartition dans le temps) consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un court instant et à tour de rôle pour chaque utilisateur.

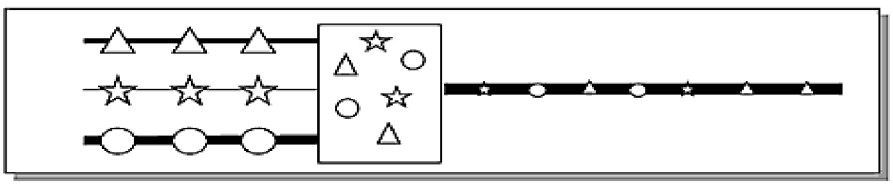


Figure. I.23: Schéma de principe d'un multiplexage à répartition dans le temps

Le multiplexage TDM permet de regrouper plusieurs canaux de communications à bas débits sur un seul canal à débit plus élevé. On retrouve ce type d'utilisation sur les canaux T1 aux Etats-Unis qui regroupent par multiplexage temporel 24 voies à 64 kbit/s en une voie à 1,544 Mbit/s ou sur les canaux E1 en Europe qui regroupent 30 voies analogiques en une voie à 2,048 Mbit/s.

Les canaux T1 ou E1 peuvent être multiplexés entre eux pour former des canaux à plus hauts débits, etc. Cette hiérarchie des débits est appelée hiérarchie numérique plésiochrone ou PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).

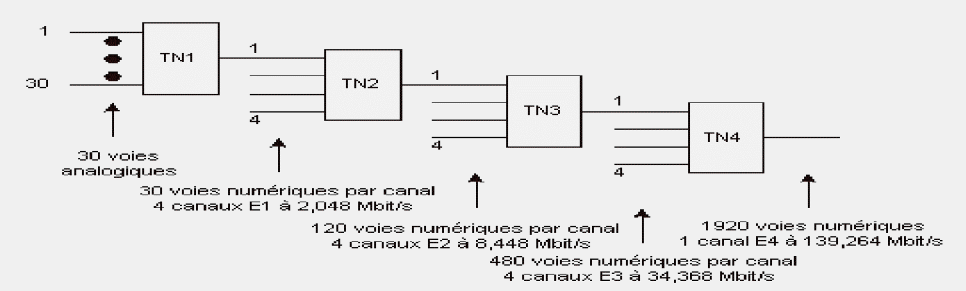


Figure. I.24: Multiplexage temporel dans la hiérarchie PDH en Europe

Cette technique présente toutefois un inconvénient dans le cas de PDH. L'accès ou l'insertion d'une information dans un canal E4 oblige à démultiplexer l'ensemble du train numérique. De même les technologies SONET (Synchronous Optical NETwork) et SDH (Synchronous Digital Hierarchy) utilisées comme techniques de transport dans les réseaux téléphoniques des grands opérateurs pratiquent un multiplexage temporel pour assembler plusieurs lignes en une seule ligne de débit supérieur.

Le multiplexage TDM peut être utilisé indifféremment sur paire torsadée ou fibre optique, il est indépendant du média de transmission.

I.5. La modulation

I.5.1. Les modulations numériques

Les modulations numériques ont pour but de transmettre des informations d'un émetteur (source) à un récepteur (destinataire) en utilisant un canal de transmission qui peut être un câble, une fibre optique ou encore la propagation sur un canal de radioélectrique.

Pour émettre un signal, il faut une porteuse, c'est-à-dire un signal sinusoïdal de fréquence pure « F », que l'on appelle la fréquence porteuse, parce qu'elle sert à porter sur les ondes les signaux que l'on veut émettre. On affecte cette sinusoïde de variations qui lui permettent de décrire le signal (modulant) que l'on veut transmettre. En analogique, le signal modulant est un courant électrique ou une tension, ce qui revient au même. On avait inventé deux catégories de modulation :

- La modulation d'amplitude **ASK** (c'est la modulation de la télévision analogique terrestre) dans laquelle la fréquence « F » est constante, mais l'amplitude de la sinusoïde varie comme la valeur instantanée du signal.

- La modulation de fréquence **FSK** (c'est la modulation de la télévision analogique par satellite), dans laquelle l'amplitude de la sinusoïde reste constante, mais sa fréquence varie comme la valeur instantanée du signal.
- La modulation de phase **PSK** c'est auquel nous nous intéressons.

La modulation a pour objectif donc d'adapter le signal à émettre au canal de transmission. Cette opération consiste à modifier un ou plusieurs paramètres d'une onde porteuse :

$S(t)= A \cos (w_0 t+\varphi_0)$ centrée sur la bande de fréquence du canal.

Les paramètres modifiables sont :

- L'amplitude : **A**
- La fréquence : $f_0= w_0/2\pi$
- La phase : φ_0

I.5.2. Le PSK (Phase-shift keying)

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

Les formes de PSK les plus utilisées sont la **BPSK** (ou **2-PSK** : deux valeurs de phase possibles), la **QPSK** (ou **4-PSK** : quatre valeurs de phase possibles) et la **8-PSK** (huit valeurs de phase possible).

Pour déterminer les erreurs de manières mathématiques, voici les définitions utiles pour la suite:

- E_s= Energie-par-symbole = kE_s avec *k* bits par symbole
- T_b= durée d'un bit (inverse du débit binaire)
- T_s= durée d'un symbole
- $N_0/2$= Bruit de densité spectrale (**W/Hz**)
- P_b= Probabilité d'une erreur de bit
- P_s= Probabilité d'une erreur de symbole

➢ **Fréquence intermédiaire (FI)**

Fréquence interne à l'émetteur et au récepteur servant de support à la modulation. Le signal modulé FI est ensuite transposé à une fréquence HF porteuse pour émission réception hertzienne. Pour des questions de simplicité, la fréquence intermédiaire dans le domaine TNT (BTESA) est de 36 MHz et en transmission terrestre sa valeur est de 70 et 140 MHz en satellite. Plus cette fréquence est élevée, plus le débit binaire transmissible sera important.

Interférence intra symbole : addition d'un symbole avec lui-même légèrement déphasé.

Interférence inter symbole : addition d'un symbole avec le suivant et le précédent légèrement déphasé.

➢ **La saisie de déphasage de quadrature**

Des données dans le modulateur sont séparées dans deux canaux appelés I et Q

- Q : La quadrature signifie les décalages de signal par phase qui sont séparés par des degrés
- I : l'amplitude

Deux bits sont transmis simultanément, un par canal.

I.5.2.1. Binary phase-shift keying (BPSK)

La quadrature signifie les décalages de signal par les phases qui sont séparés par 180 degrés. Le signal décale dans les incréments de 180 degrés de 0° à 180°. C'est une modulation dite à deux états de phase, parce que l'opposé d'une sinusoïde (-sin (x)) est la même déphasé de π, en effet -sin(x) = sin(x+π).

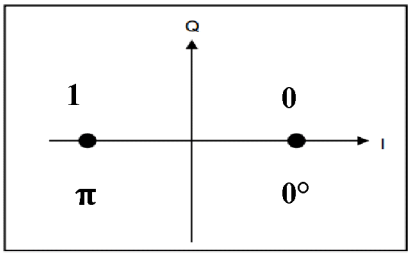


Figure. I.25: Exemple de diagramme de constellation pour B-PSK

B-PSK est la forme la plus simple du PSK. Elle utilise deux phases qui sont séparées de 180° ; on l'appelle également 2-PSK. Cette modulation est la plus robuste de toutes les PSK car il faut une grande déformation du signal pour que le démodulateur se trompe sur le symbole reçu. Cependant on ne peut moduler qu'un seul bit par symbole (voir le schéma), ce qui est un inconvénient pour les applications qui nécessitent un débit binaire élevé.

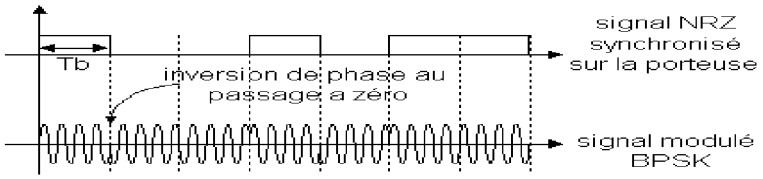


Figure. I.26: Signal modulé BPSK

Le changement de phase s'effectue alors au passage à zéro. Cela a un effet bénéfique sur le spectre sans la synchronisation préalable du signal NRZ.

I.5.2.2. Quadrature phase-shift keying (QPSK)

La quadrature signifie les décalages de signal parmi les déclarer de phase qui sont séparés par 90 degrés.

Le signal décale dans les incréments de 90 degrés de 45° à 135°, à -45° (315°), ou à -135° (225°). Rapidement on a trouvé plus judicieux de faire une modulation à quatre états de phase (0, π/2, π et - π/2).Cette modulation de phase possède donc un alphabet à 4 états (symboles) possibles pour le signal. Elle véhicule donc 2 bits par symbole.

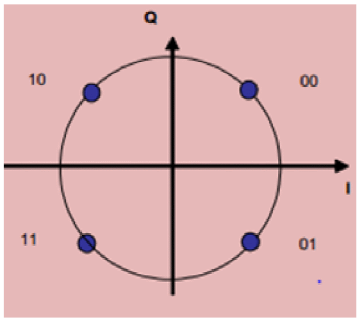


Figure. I.27: Diagramme de constellation pour QPSK (2 bits/symbole)

Souvent connue sous le nom de 4-PSK ou QPSK, cette modulation utilise un diagramme de constellation à quatre points, à équidistance autour d'un cercle. Avec quatre phases, QPSK peut coder deux bits par symbole. Cela permet de soit multiplier le débit binaire par deux comparé à un système BPSK tout en maintenant la bande passante du signal ou alors de maintenir le débit en réduisant la bande passante utilisée par deux.

Bien que le QPSK puisse être vu comme une modulation en quadrature, il est aussi simple de le considérer comme deux modulations indépendantes. Avec cette interprétation, les bits pairs (ou impairs) sont utilisés pour moduler la composante In-Phase(I), tandis que les bits impairs (ou pairs) sont utilisés pour la Quadrature-phase (Q).

Le train binaire entrant est partagé entre les composantes In-phase et Quadrature. Les trains de bits sortant du démultiplexeur sont modulés séparément à l'aide d'une fonction de base orthogonale. Dans cette implémentation, deux sinusoïdes sont utilisées. Par la suite, les deux signaux ainsi obtenus sont recombinés pour former le signal QPSK. Les encodeurs ne retournent pas de polarité à bit 0 (NRZ). Ceux-ci peuvent-être placés devant la source de données binaires, mais ici, ils sont disposés après pour illustrer conceptuellement la différence entre les signaux numériques et analogiques contribuant à la modulation numérique.

I.5.2.3. 8-PSK

La quadrature signifie les décalages de signal parmi les déclarer de phase qui sont séparés par 45 degrés. Le signal décale dans les incréments de 45 degrés de 45° à 90° à 135°, à 180°, à -135° (225°) puis à 270° et à 315°.

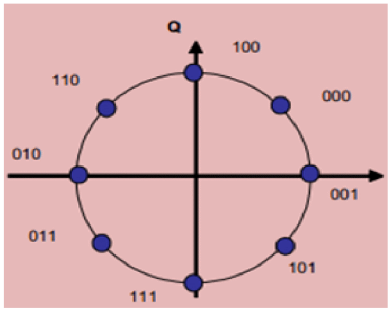


Figure. I.28: Diagramme de constellation pour 8-PSK (3 bits/symboles)

Il est possible de construire un diagramme de constellation PSK avec un nombre quelconque de phases. Mais, en pratique, 8-PSK est l'ordre le plus élevé dans l'élaboration d'un tel diagramme. En effet, avec plus de huit phases, la modulation PSK génère un taux d'erreur trop important.

Il est nécessaire, pour aller au-delà de huit phases, d'utiliser un type de modulation plus complexe comme **QAM** (quadrature amplitude modulation). Même si un nombre quelconque de phases peut-être employé, le fait que la constellation traite des données binaires signifie que le nombre de symboles est toujours obtenu à partir d'une puissance de 2 (ce qui représente un nombre égal de bits par symbole).

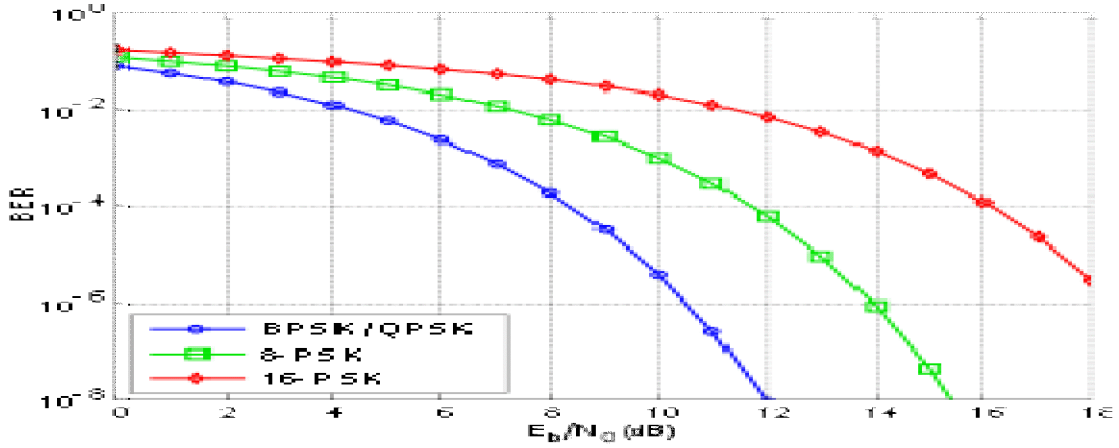


Figure. I.29: Courbes du taux d'erreur binaire pour BPSK, QPSK, 8-PSK et 16-PSK. Le rapport signal/bruit en abscisse est exprimé en décibel

Le graphique de ci-dessus compare le taux d'erreur binaire entre BPSK, QPSK (identique à BPSK), 8-PSK et 16-PSK. On constate sur celui-ci que les modulations d'ordre supérieur présentent un taux d'erreur plus important. En revanche, ce taux est constaté pour un train de données plus élevé.

I.5.3. Modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

La modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ou modulation d'amplitude en quadrature de phase est une technique qui emploie une combinaison de modulation de phase et d'amplitude. Elle est largement employée par les modems pour leur permettre d'offrir des débits binaires élevés.

Dans une constellation QAM, l'éloignement du point par rapport à l'origine indique l'amplitude, son angle indique le décalage de phase. La modulation QAM est obtenue en modulant en **amplitude** deux "expressions" **I (In phase)** et **Q (Quadrature)** d'une sous-porteuse. La figure ci-dessous indique la relation de phase entre les représentations I et Q de la sous-porteuse de fréquence fk.

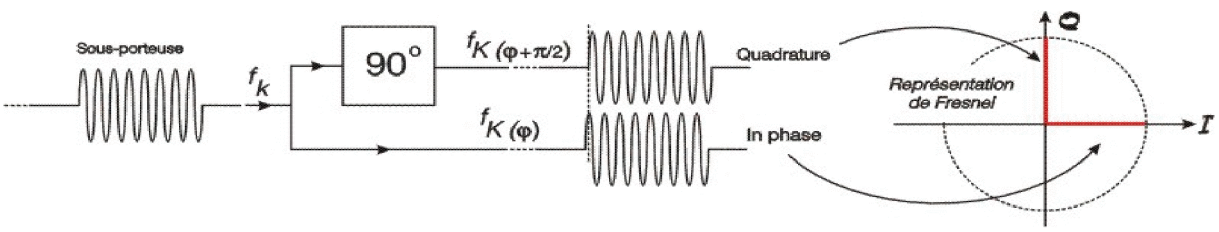


Figure. I.30: la relation de phase entre les représentations I et Q

Le QAM (**QAM** = **Quadrature Amplitude Modulation**) est obtenu en modulant en amplitude les sous-porteuses I et Q par un **symbole binaire**.

Cela n'est pas sans rappeler la modulation de la sous-porteuse chrominance en I et Q ou U et V (3,58 ou 4,43 MHz) d'un signal CVBS (vidéo composite) codé NTSC ou PAL.

Soit à considérer une sous-porteuse de fréquence fk, les expressions I et Q peuvent s'écrire :

$$i(t) = U_0 \cos(2\pi f_k t) \quad et \quad q(t) = U_0 \sin(2\pi f_k t)$$

Pour chaque symbole binaire modulant les expressions I et Q, **la résultante de modulation** s(t) (la somme des deux fonctions sinusoïdales I et Q est elle-même une fonction sinusoïdale, est caractérisable par un module et par une phase (en coordonnées polaires) ou par les **coefficients** *x ; y* d'un repère cartésien orthonormé.

$$s(t) = \{x; y\} \qquad ou \qquad s(t) = \rho \cos(2\pi f_k t + \varphi)$$

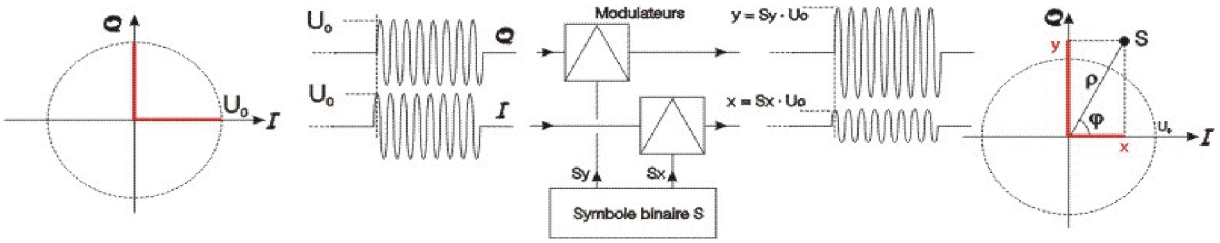


Figure. I.31: Caractéristique des deux fonctions sinusoïdales I et Q est une fonction sinusoïdale

Selon la dernière équation **s (t)** ci-dessus, la modulation QAM peut également être vue comme une **modulation combinée de phase et d'amplitude**. Le modulant étant caractéristique d'un symbole binaire, on observe des sauts de phase et d'amplitude.

Chaque **symbole binaire** peut être constitué de **plusieurs bits** et il est possible de transmettre plusieurs bits en une seule fois. L'ensemble des combinaisons d'amplitudes et de phases (S0, S1, ..., Sn), vu sur un diagramme en (x, y), est appelé **constellation QAM**.

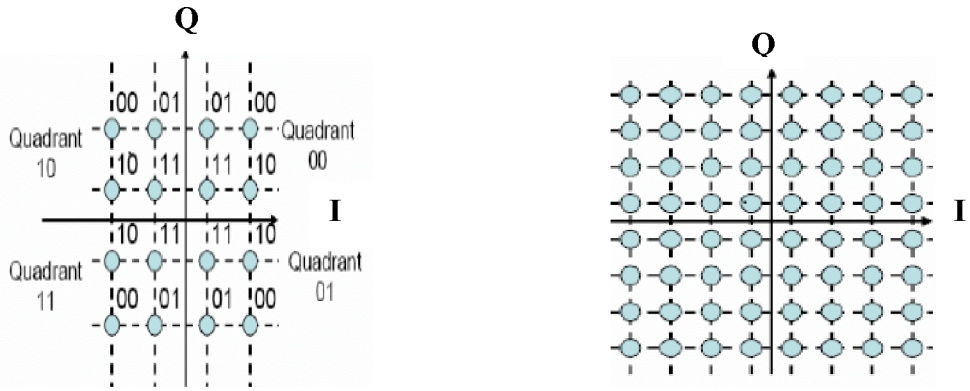


Figure. I.32: Possibilité de transmettre plusieurs bits en une seule fois

A un moment donné et pour une sous-porteuse, à chaque symbole binaire (6 bits dans le cas du **64-QAM** de la TNT) correspond une représentation complexe (amplitude et phase).

I.6. Conclusion

Le progrès incessant que connait le domaine des télécommunications ces dernières années a rendu possible plusieurs applications. La plus importantes de ces applications est la numérisation du monde de l'audiovisuel. Cette technique a ouvert de nouveaux horizons et a permit le développement de nouvelles techniques de codage, de traitement de la vidéo et de son et de nouvelles modulations de plus en plus performantes comme c'est vu dans le premier chapitre. Ces techniques ont donné naissance à la télévision numérique, satellite, câble et terrestre, ceux qui demandent à être protéger contre les évanouissements dues à la transmission et à la diffusion ce qui sera étudier dans le chapitre suivant.

II. Digital Video Broadcasting (DVB)-TNT

Introduction

La télévision numérique terrestre (TNT) est une évolution technique en matière de télédiffusion, fondée sur la diffusion des signaux de télévision numérique par un réseau d'émetteurs et de réémetteurs hertziens terrestres. Par rapport à la télévision analogique terrestre à laquelle elle se substitue, la télévision numérique terrestre permet de réduire l'occupation du spectre électromagnétique grâce à l'utilisation de modulations et de multiplexage plus efficaces (même pour câble et satellite), d'obtenir une meilleure qualité d'image, ainsi que de réduire les coûts d'exploitation pour la diffusion et la transmission une fois les coûts de mise à niveau amortis. La télévision numérique terrestre est à comparer à la télévision numérique reçue par câble ou par satellite. Dans ce dernier cas, la diffusion se fait non pas, par le réseau des émetteurs terrestre, mais via un satellite (d'où l'utilisation d'antennes paraboliques au lieu de l'antenne de télévision classique dite râteau).

Le groupe DVB est d'origine des standards de diffusion numérique de l'UER, d'abord pour le satellite **DVB-S** en décembre 1993 ensuite le câble **DVB-C** l'année suivante et enfin; le standard terrestre de télédiffusion numérique terrestre **DVB-T** en décembre 1995.

II.1. Pourquoi le DVB ?

Le groupe **DVB** s'est attaché à développer des solutions complètes pour la télévision numérique, allant de la diffusion par câble (DVB-C) et satellite (DVB-S), jusqu'à la diffusion terrestre (DVB-T). Il a également définit un système de cryptage pour le contrôle d'accès. D'autres standards DVB ont également été définit, comme le DVB-TXT pour le télétexte, DVB-ISC pour les services interactifs et DVB-MHP pour le moteur d'interactivité.

II.2. Rôle de DVB

Le DVB établit des spécifications techniques, qui sont ensuite soumises aux organismes de normalisation pour devenir des normes de l'UIT et de l'UER.

Les différents standards de diffusion que sont le satellite, le câble et le faisceau hertzien ont en commun la compression des signaux vidéo et audio, le multiplexage et l'embrouillage. Il n'y a que les techniques de transmissions qui sont spécifiquement adaptées.

Une des principales caractéristiques des canaux de diffusion numérique tient au fait qu'ils peuvent subir des grandes dégradations sans que cela ne soit visible. Mais lorsque l'on dépasse un certain seuil, la rupture de service est brutale et totale. C'est tout ou rien.

- Caractéristiques des canaux

Satellite: Largeur de canal fréquemment est entre 33 à 72 MHz et de modulation QPSK. Un signal provenant d'un satellite subit une atténuation de plus de 200dB. On reçoit donc un signal très faible et bruité.

Câble: Largeur de canal très réduite de 8 MHz et de modulation QAM (rappelons que le débit en sortie de multiplexeur est d'environ 40MBit/s). Par contre c'est un milieu très protégé.

Réseau terrestre: Largeur de canal très réduite 7 à 8 MHz et de modulation OFDM. Le système choisi doit être insensible aux phénomènes d'échos.

- Solutions

Pour chacune des voies de transmission, DVB a défini une chaîne de traitement et de codes de correction d'erreurs suivi d'un type de modulation adaptées.
Modulation: QPSK pour le DVB-S, QAM pour le DVB-C et COFDM pour le DVB-T.
Traitement: Brassage, entrelacement et filtre de Nyquist.
Correction d'erreur: Code Reed Solomon et code convolutif associé à un décodeur de VITERBI.

II.3. Le DVB-S

Le DVB-S est un standard défini pour la transmission par satellite. Ce standard a attiré l'intérêt des opérateurs et des chercheurs dans le domaine de communications en vu de sa bande large et des contraintes non strictes par rapports aux autres supports de transmissions.

Le DVB-S a pris un succès depuis 1994 et les émissions ont débuté depuis 1996 pour les premiers opérateurs commerciaux. C'est un standard de diffusion relativement simple qui utilise la modulation QPSK (Quaternary Phase Shift Keying). Il utilise des canaux relativement larges (33 ou 36 MHz). Un code correcteur d'erreurs interne, dit de VITERBI est utilisé pour corriger les effets négatifs de la réception par satellite.

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

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

II.3.1 La chaine de transmission de DVB-S

Le schéma de codage du canal du DVB-S est très particulier et il porte le nom de schéma de codage concaténé :

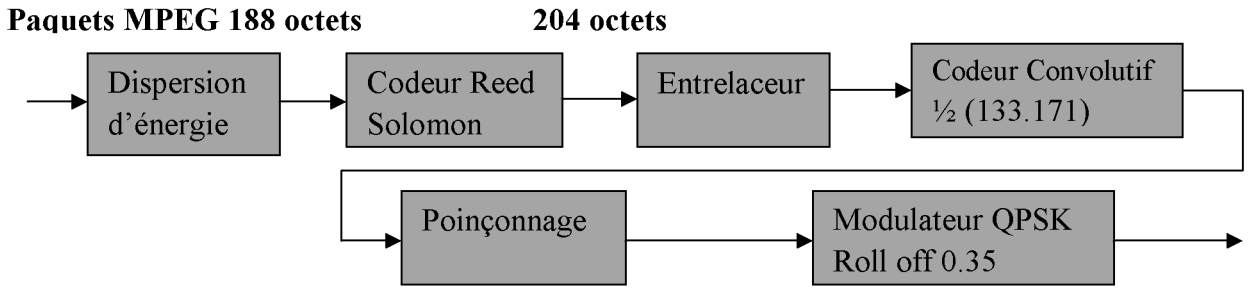


Figure. II.1: La chaine de transmission DVB-S

II.3.2. Principaux paramètres d'une chaîne d'émission/réception DVB-S

Le tableau**. II.1** résume les principales caractéristiques d'une chaîne d'émission réception DVB-S comme c'est présenté par la figure**. II.1**.

Les différents blocs composant la chaîne d'émission-réception doivent être configurés de sortes 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.

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

Tableau II.1 : Principaux paramètres d'une chaîne DVB-S

Une deuxième version de DVB-S a été proposée en 1997, c'est le standard DVB-DSNG (DVB, Digital Satellite News Gathering). Il introduit en plus, la modulation 8-PSK et 16-QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation) et les services payants. Mais avec la progression technologique et les nouvelles exigences, le DVB-S et le DVB-DSNG n'arrivent pas à satisfaire beaucoup les nouveaux besoins. D'où la nécessité d'un nouveau standard qui soit plus flexible et plus performant. Le DVB-S2 est le nouveau standard qui vient pour répondre à ces besoins actuels dans le domaine de communication.

II.3.3. Le Standard DVB-S2

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**. II.2** 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 des données	MPEG2	MPEG2, donnés	MPEG2, MPEG4, donnés

Tableau. II.2 : Evolution du standard de communication par satellite

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

II.3.3.1. Caractéristiques du DVB-S2

Les différentes caractéristiques du standard DVB-S2 sont présentées ci-dessus :

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

- **Ordre de modulation supérieure :** Le standard DVB-S2 défini quatre modulations : QPSK, 8QPSK, 16APSK et 32APSK.

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

II.3.3.2. Chaîne de transmission DVB-S2

Le système de transmission DVB-S2 est formé par des blocs pratiques qui assurent l'adaptation entre les flux d'entrés qui peuvent être des flux de transport MPEG ou des sources de données génériques et le signal RF à la sortie. Comme c'est montré dans la figure**. II.2**, la chaîne de transmission est formée des séquences de bloc que nous allons les décrire ci-dessous.

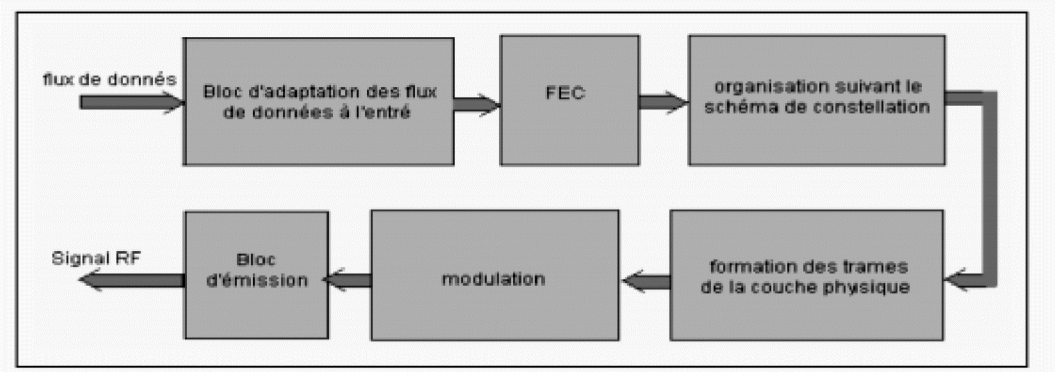


Figure II.2: système de transmission DVB-S/S2.

II.3.3.3. Applications du DVB-S2

Le système DVB-S2 a été conçu pour plusieurs applications satellitaires large bande :
- 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 de liens Internet (trunking).

II.4. Le DVB-C

DVB-C : c'est l'abréviation de ''Digital Vidéo Broadcasting – Câble'' une variante de DVB qui utilisée pour la transmission de services numériques complémentaire par l'intermédiaire d'un raccordement câble à large bande, On règle pour la diffusion numérique de signaux de télévision.
Il faut remarquer que l'offre de programme est restreinte par rapport à celle de DVB-S, c'est dû à la bande passante limitée du câble. Au grand-duché, des programmes de télévisons numériques sont diffusés par dives câblo-opérateur depuis un certain temps.

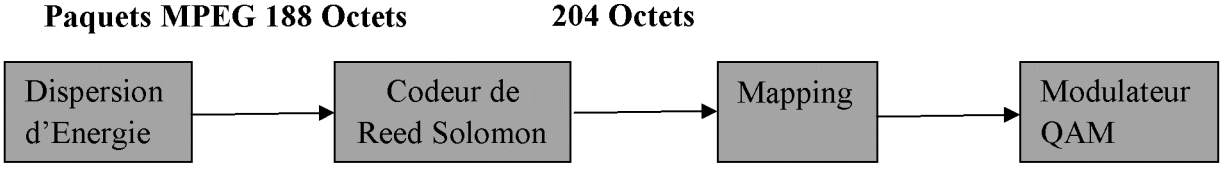


Figure II.3: Schéma synoptique de la chaine de diffusion numérique DVB-C

L'absence du codage convolutif, qui se justifie par des rapports signal sur bruit nettement supérieurs à ceux rencontrés lors d'une transmission par satellite, est comblée par **une conversion octets → symboles suivi d'un codage différentiel**.

La principale qualité de cette diffusion est une haute efficacité spectrale qui est de 4.76 bit/s par Hz, valeur nettement supérieure à celle d'une transmission par satellite.

II.4.1. Codage et Modulation

Le codage et la modulation utilisés dépendent ensuite du support utilisé. On ne décrira ici que la norme câble ETSI (ETS 300 429) issue des recommandations DVB-C (Digital Vidéo Broadcasting - Câble) qui utilise une modulation de type MAQ (modulation d'amplitude en quadrature). Le schéma blocs est donné (figure **II.3**).

Le codage utilisé permet de ramener le taux d'erreur binaire de 10^{-4} à un taux inférieur à 10^{-11}.Tel que : brassage, code externe, entrelacement et code interne

La modulation peut être une modulation MAQ (modulation sur deux voies I et Q en quadrature) à 16, 32, 64 états. La norme prévoit également l'extension à 128 ou 256 états. Pour l'instant, seules les modulations MAQ 16 et 64 sont utilisées.

Le débit n'est pas spécifié dans la norme mais pour compatibilité avec la norme satellite, le même débit utile (en excluant le codage de Reed-Solomon) doit être utilisé.

D'autre part, le débit brut doit être cohérent avec les canaux de 8 MHz définis sur le câble:

— largeur de bande occupée = débit symbole × (1 + roll-off) ;
— débit brut = débit symbole × nombre de symboles de la modulation ;
— débit utile = débit brut × 188/204 (redondance due au code de Reed-Solomon);

II.4.2. Techniques de transmission

II.4.2.1. Supports de transmission

Trois supports de transmission sont utilisés dans les réseaux de télévision par câbles : les câbles coaxiaux, les fibres optiques et les paires symétriques.

II.4.2.2. Architecture des réseaux

- **Structures de base**

On trouve deux types de structures utilisées dans les réseaux de télévision par câble :
— la structure en arbre.
— la structure en étoile.

Et l'on peut, bien entendu, combiner ces structures, aboutissant ainsi :
— au réseau en étoile/arbre, avec une structure en étoile depuis la tête de réseau, pour le réseau de transfert, puis en arbre, pour le réseau de distribution.
— au réseau en arbre/étoile, avec une structure en arbre pour le réseau de transfert, et une étoile pour le réseau de distribution.

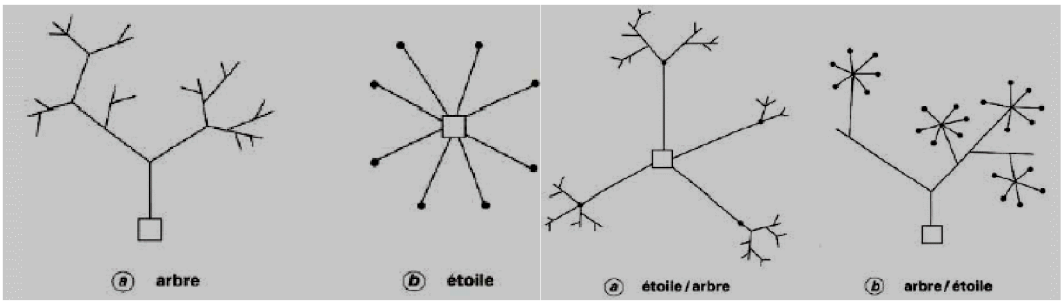


Figure. II. 4 : Structures de base d'un réseau de télédistribution et structure de réseaux mixtes

Après le développement des techniques utilisant la fibre optique monomode qui ont permis de réduire considérablement les coûts de construction et de maintenance des réseaux câblés, arrive aujourd'hui le numérique.

Par l'explosion du nombre de programmes possibles (à terme, on pourra envisager plus de 500 programmes),

Le réseau câblé pourra trouver enfin sa rentabilité économique et avoir sa place entre le satellite et les chaînes hertziennes.

II.4.3. DVB-C2

En 2007, le travail a commencé à regarder une norme DVB-C2 de seconde génération afin d'augmenter les possibilités des systèmes de câble en termes **de capacité et flexibilité**. La norme a été formellement développée pendant 2008 et 2009. Un des buts du développement était de construire, si possible et de s'approprier sur les dispositifs réussis des normes DVB-S2 et DVB-T2.

Étant donné que les systèmes de câble ont traditionnellement employé la modulation du simple-porteur QAM, la décision plutôt étonnante a été prise pour baser DVB-C2 sur l'utilisation de COFDM. L'utilisation de COFDM a été choisie pour les raisons suivantes :

- largeur de bande flexible de canal de : 6 mégahertz jusqu'à 64 mégahertz.
- exécution facile de ces entailles à bande étroite ou à bande large.
- ajustements de niveau de signal de ces sous-bandes facilement possibles.
- une manipulation plus facile de ces configurations câble-spécifiques d'interférence.
- insensibilité de concernant des échos jusqu'à un certain retard d'écho.

L'exécution théorique des options du système C2 en comparaison du système de DVB-C est montrée dans la figure suivante.

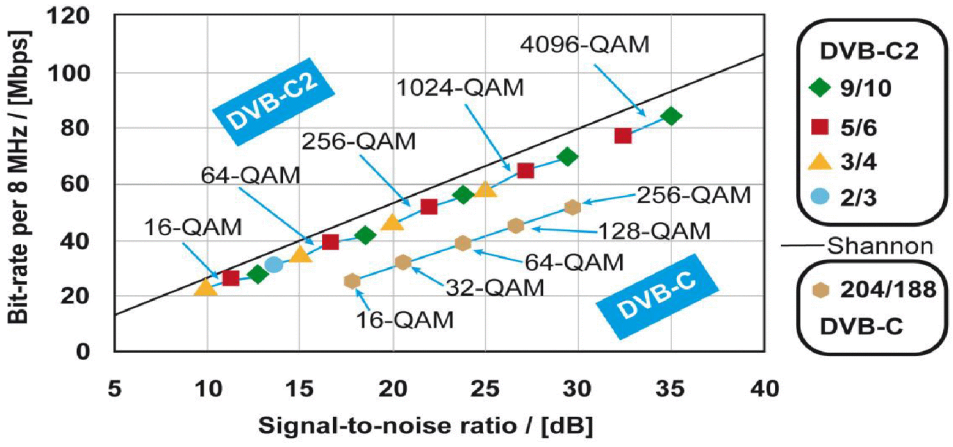


Figure.II.5: Comparaison entre le système DVB-C2 et DVB-C

II.5. Le DVB-T

DVB-T, c'est l'abréviation de "Digital Video Broadcasting – Terrestrial", soit "Télévision Numérique Terrestre". C'est donc la même chose. (DTT: digital television terresrial) C'est aussi le nom de la norme technique de diffusion.

La diffusion de la télévision par voie hertzienne répond à la norme DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial).

Un des principaux avantages de cette norme est qu'il ne demande pas un changement de matériel conséquent. En effet un simple ajout d'un décodeur permet à un téléviseur standard de récupérer un signal numérique via une antenne VHF et UHF appelé plus communément antenne râteau.

- **Il existe deux solutions possibles de diffuser la télévision numérique par voie hertzienne**

Le mode MFN (Multiple Frequency Network) ou en mode SFN (Single Frequency Network).

Le mode SFN un seul canal est utilisé pour couvrir une zone géographique. Le gros avantage de ce mode est qu'il économise le nombre de fréquences à allouer, mais il faudrait réserver des fréquences à cet usage exclusif sur tout le territoire géographique impliqué. Le mode MFN permet de réutiliser le fonctionnement actuel de la télévision analogique et donc d'utiliser les mêmes émetteurs. L'utilisateur n'a donc pas besoin de pointer à nouveau son antenne puisque celle-ci est déjà orientée vers un émetteur diffusant la télévision analogique. Transmettre en MFN permet également d'avoir une réception de meilleure qualité que le mode SFN, car il est moins sujet aux phénomènes.

II.5.1. L'architecture de réseau de diffusion

En 1990, a été codifié par l'UIT-R4 trois étapes dans l'élaboration et la transmission d'un programme audiovisuel. Deux de ces étapes concernent le milieu professionnel et la troisième concerne le grand public :

- le service de contribution : Il assure la mise en forme des signaux. C'est à ce stade que les retouches vidéo ou sonores sont effectuées.
- le service de distribution primaire : Il assure le lien entre les centres de productions audiovisuels et les têtes de réseaux de diffusion.
- le service de distribution secondaire : Il distribue les données audiovisuelles depuis les têtes de réseaux jusque chez le téléspectateur.

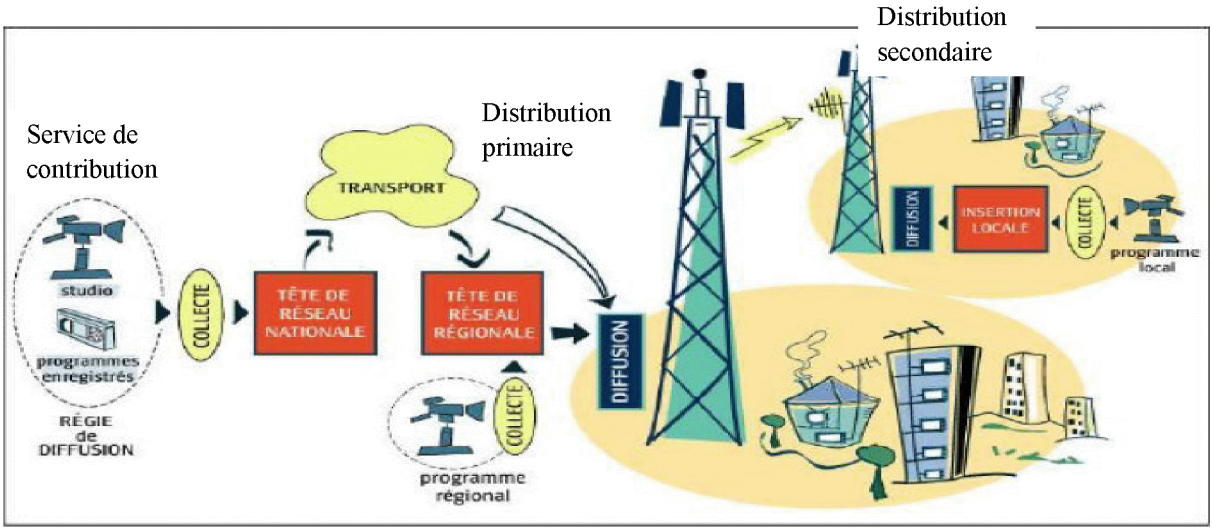


Figure. II.6: architecture d'un réseau de diffusion

II.5.2. Description de la chaine de diffusion DVB-T

Un signal arrivant d'un multiplexeur subit les étapes suivantes: Un brassage, Un codage Reed Solomon (204,188, t=8) Un entrelacement, Un code convolutif, Un poinçonnage, Un filtrage, Une modulation QAM ou QPSK, Une modulation COFDM.

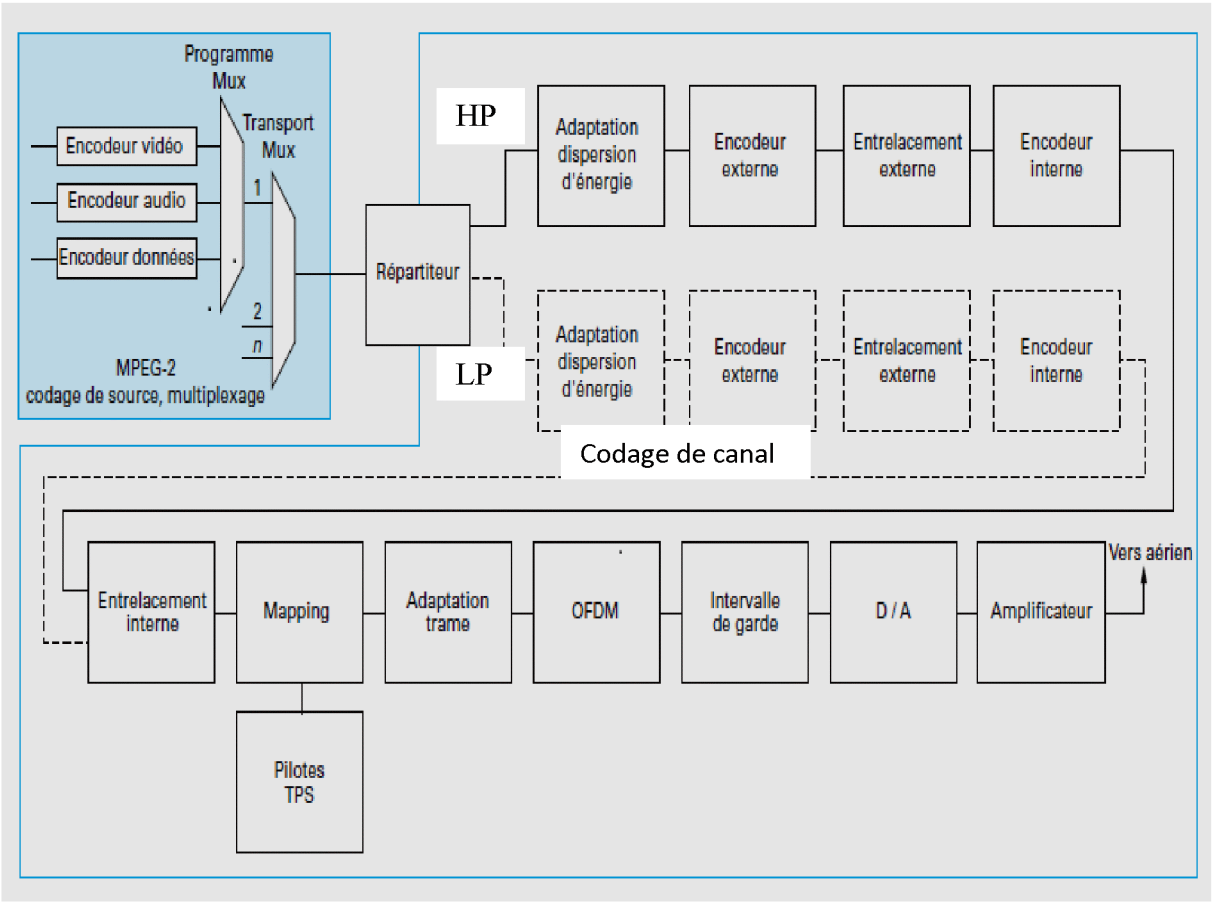


Figure. II.7 : Schéma synoptique de la chaine de diffusion numérique DVB-T

Le schéma synoptique de la chaine de diffusion numérique DVB-T nous montre les trois blocs de traitement du signal avant émission.

C'est une combinaison de ces différentes techniques qui formera notre canal de transmission. Voyons les étapes préliminaires indispensables qui vont permettre de sécuriser notre train TS et cela quelque soit notre canal de transmission.

II.5.2.1. Codage de Source

Le codage de source repose sur le standard MPEG-2. Cette norme est appliquée au signal TV et pour fonction de réduire le débit numérique et pour cela on utilise un ensemble flexible d'outils de compression d'image et du son.

II.5.2.2. Codage de Canal

Grace au codage de source on dispose maintenant d'un flux d'information (**MPEG-2 TS**) que l'on désire transmettre par voie radiofréquence vers les utilisateurs. Cette voie qui est le canal de transmission n'étant pas exempt des erreurs qui viennent perturber le signal utile (le bruit, interférence, échos,…), il est nécessaire donc de prendre des mesures prenant en charge ces problèmes avant modulation. L'une des mesures consiste à ajouter des bits au flux du multiplex.

- **Mode de transmission hiérarchique**

Lorsque les conditions de transmission deviennent mauvaises on constate une disparition totale du signal numérique, c'est pour cela que les données à transmettre sont partagées (par le séparateur) en deux flux (Incluant les modules en pointillé représenté dans la figure**. II.7**).

Dans ce mode deux trains de données MPEG-2 TS organisés :

- Train de transport haut priorité **HP** (grande protection contre les erreurs de transmission et débit binaire assez bas).
- Train de transport basse priorité **LP** (faible protection contre les erreurs de transmission et débit binaire élevé).

- **Mode non hiérarchique (pour les récepteurs fixes uniquement)**

Ce mode nécessite uniquement le traitement représenté en traits pointilles sur la figure**. II.7.** Contrairement au mode précédant (hiérarchique) la séparation n'est plus nécessaire. Un flux peut véhiculer un ou plusieurs programmes. Tous les programmes à l'intérieur d'un flux sont protégés d'une façon identique.

II.5.2.2.1. Dispersion d'énergie (Le brassage)

Le polynôme générateur de cette séquence est $1+X^{14}+X^{15}$. Le générateur est composé de 15 registres à décalage. A chaque top d'horloge, on fait la somme (OU exclusif) des 14ème et 15ème registres, le bit résultant étant rebouclé sur le premier registre, après décalage vers la droite de tous les registres. Une séquence d'initialisation est nécessaire. Celle spécifié par la norme DVB est : 100101010000000.

Ici on veut répartir l'énergie sur l'ensemble du canal de transmission. En clair, éviter les longues suites de 1 ou de 0 qui créeraient une raie à forte énergie dans le spectre. Un signal connu qui possède cette caractéristique est le bruit qui par nature est aléatoire et donc une énergie uniformément répartie. Nous allons rendre notre signal TS semblable à du bruit en le multipliant par la sortie d'un générateur Pseudo aléatoire. C'est un dispositif simple formé de 15 registres à décalage et d'un OU exclusif.

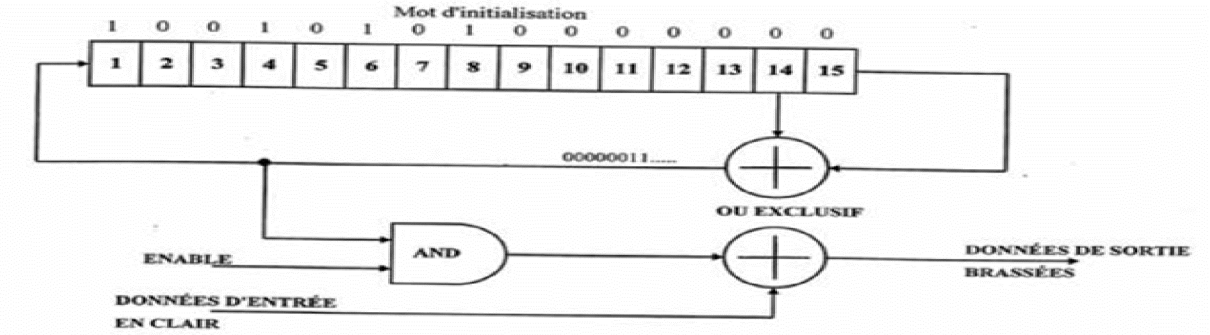


Figure. II.8: principe de Brassage en DVB

Pour pouvoir faire le traitement inverse en réception, nous allons employer deux mécanismes de synchronisation. Au premier paquet TS qui se présente, on charge le générateur avec un mot connu (le mot d'initialisation) et l'octet de synchro du paquet (0x47) est complété pour devenir 0xB8. Huit paquets d'affilés sont ainsi brassés. Au neuvième paquet, le mot d'initialisation est de nouveau chargé et l'octet de synchro complété. La porte AND est activé à chaque octet de synchro pour ne pas les brasser et ainsi conserver ces points de repère. L'énergie de notre signal est maintenant répartie sur tout le spectre et ceci même s'il n'y a pas de signal en entrée. En réception c'est le même circuit qui est employé, on attend un octet ayant le mot de synchro 0xB8 pour charger le mot d'initialisation et dé-brasser les huit paquets.

II.5.2.2.2. Codage Reed Solomon (Codage Externe)

Une préoccupation majeure pour la diffusion de signaux numériques est la résistance aux erreurs. Ce code est noté RS (204, 188, T=8), ce qui veut dire 188 octets en entrée, 204 en sortie du codeur et 8 octets sur 188 peuvent être corrigés. C'est un code en bloc qui va ajouter 16 octets de redondance derrière chaque paquet TS. Si plus de 8 octets sont détectés comme erronés, le paquet est marqué comme défectueux. Le principe est d'ajouter un certain nombre d'octets de redondance à une trame MPEG-2. La structure de la trame, après codage RS, est présentée sur la figure. **II.9**. L'octet « Synchro » est soit **Sync 1** (l'octet de synchro inversé lors du brassage).

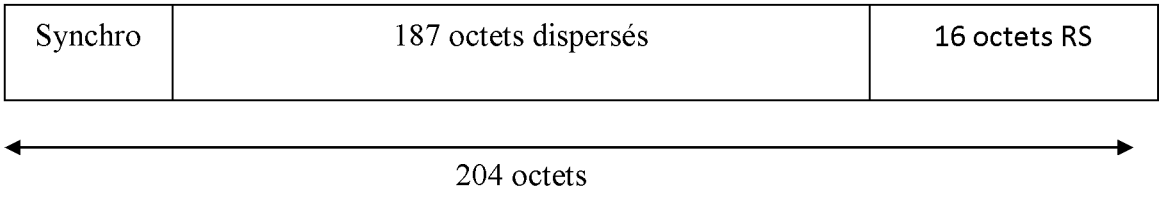


Figure. II.9: trame DVB après codage RS

Ce code n'est pas exactement un code RS : pour pouvoir corriger 8 octets, la trame devrait contenir 255 octets au total, dont 16 de redondance (code RS (255, 239, T=8)). Mais afin de garder la structure des paquets MPEG-2 (188 octets avant codage) pour des questions de synchronisation, on doit raccourcir le code. Pour ce faire, on calcule les 16 octets de redondance en ajoutant 51 octets mis à zéro au début du paquet MPEG-2. Une fois ces 16 octets calculés, on retire les 51 octets nuls et on rajoute la séquence de redondance après les 188 octets du paquet. La trame ainsi formée fait partie d'un code particulier et à éléments finis. A la réception, le décodeur vérifie si la trame reçue fait bien partie du code. Dans la négative, il remplace le mot reçu par le mot du code qui en est le proche.

II.5.2.2.3. L'entrelacement

Le pouvoir de correction du code de Reed-Salomon a ses limites : il ne peut corriger que 8 octets sur un paquet de 188 octets. Ainsi, pour éviter d'avoir des paquets d'erreurs trop long, on utilise l'entrelacement des trames DVB. Une des choses les plus difficiles à corriger est une longue suite de bit ou d'octet consécutifs erronés. On va donc répartir, à l'émission, les octets d'un paquet dans d'autres paquets.

On voit nettement que l'entrelacement a permit de répartir les erreurs sur plusieurs paquets. Seul un octet par paquet est affecté et le code Reed Solomon, vu avant, peut facilement corriger ces erreurs. Sans entrelacement, ce sont les mots complets qui auraient été affectés sans espoir de pouvoir les récupérer. Dans la pratique on utilise un jeu de registre à décalage et de commutateur pour placer chacun des octets d'un paquet dans des 12 paquets différents. Ce qui d'un point de vue paquet se traduit par la figure **II.10:**

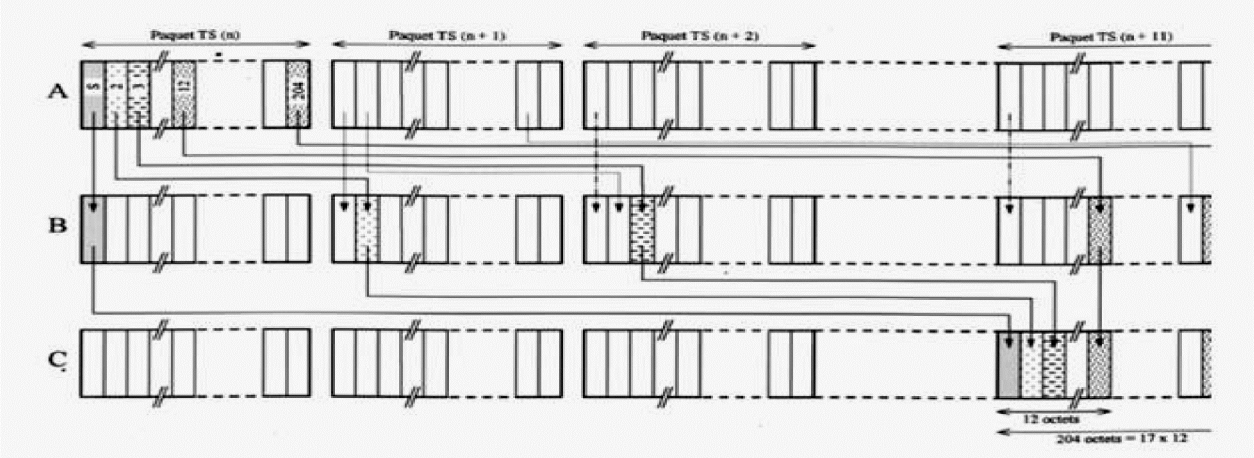


Figure. II.10 : comment traduire un paquet

A: avant entrelacement,
B: après entrelacement,
C: après désentrelacement.

II.5.2.2.4. Code convolutif (codage interne)

Ce codage est spécifique aux transmissions par satellite et par voir de terre. Il a pour but de corriger les erreurs aléatoires dues aux faibles RSB, et d'amener le taux d'erreur binaire (TEB) de 10^{-2} à la sortie du démodulateur jusqu'à un maximum de 10^{-4} en entrée du décodeur RS. Ce dernier rendra le TEB inférieur à 10^{-10}, ce qui correspond à une transmission dite « quasi sans erreur ».

Lorsque l'on affronte des milieux très bruités comme dans le cas des liaisons satellites ou terrestres, il convient de renforcer encore les mesures de protection des données à transmettre. Nous allons mettre en œuvre maintenant un code convolutif (**VITERBI**). Si l'on regarde bit à bit le signal, aucun lien ne les relie. Chaque bit est rigoureusement indépendant. L'idée du code convolutif est de lier un bit à un ou plusieurs bits précédents de sorte à pouvoir retrouver sa valeur en cas de problème.

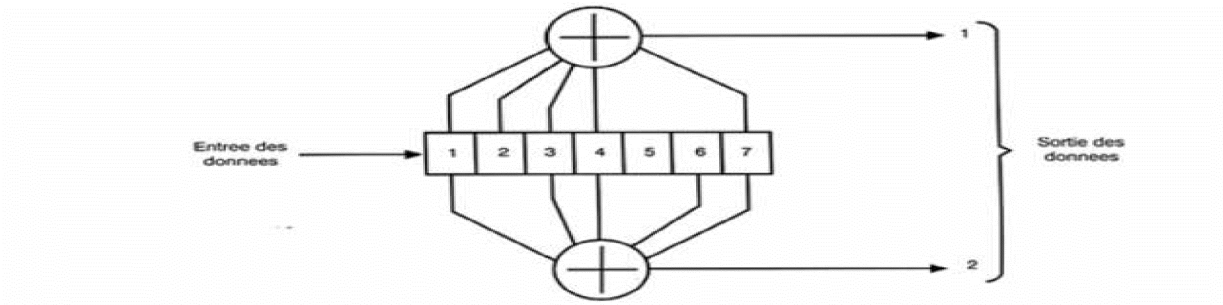


Figure. II.11: le codeur utilisé par DVB

Voici le codeur utilisé par DVB. On voit que chaque bit incident va générer deux bits sortants et qu'il sera lié aux 6 bits précédents. Le bit 1 de sortie est un "OU exclusif" entre les bits 1, 2, 3, 4 et 7 tandis que le bit 2 de sortie est un "OU exclusif" des bits 1, 3, 4, 6 et 7.

- **Avantage:** Ce code dit "en treillis" va permettre de retrouver la valeur la plus probable d'un bit en observant les bits précédemment reçus. Ce n'est pas très évident à expliquer mais c'est très efficace dans la réalité.
- **Inconvénient:** On vient de doubler le débit du train TS. Quand on connaît le prix du bit transmis, on se doute que l'on va trouver une astuce pour améliorer le rendement. L'opération de décodage est réalisée en réception par le décodeur de VITERBI.

II.5.2.2.5. Le poinçonnage

Le rendement du codeur vu ci-dessus est de 1/2, 1 bit d'entrée, 2 bits de sortie. Le poinçonnage consiste à améliorer ce rendement en ne transmettant pas certains bits sortant du codeur convolutif. Si trois bits se présente en entrée de codeur, on va en retrouver 6 en sortie mais on en transmettra que 4. Le rendement sera alors de 3/4. On parle aussi de FEC 3/4 (FEC = Forward Error Correction).

Nombre de bit en entrée	Nombre de bit en sortie	Nombre de bit transmit	FEC
1	2	2	½
2	4	3	2/3
3	6	5	3/5
5	10	6	5/6
7	14	8	7/8

Tableau. II.3 : le rendement du codeur poinçonnage (FEC)

Bien sur, ce poinçonnage crée des erreurs puisque l'on ne transmet pas tous les bits. En réception, dans le décodeur de VITERBI, on remplace ces bits par des zéros. De part la robustesse et la nature du code convolutif choisi, on retrouve leurs valeurs la plus probable.

On est maintenant presque prêt à attaquer un modulateur numérique. Un problème subsiste cependant. Le signal numérique est de forme rectangulaire et si on le module ainsi, on obtient un spectre en fréquence infini (un sin x/x). On va résoudre le problème en filtrant le signal de façon à réduire la bande occupée. Le filtre choisit est le filtre de Nyquist.

N.B : Attention, dans le cas de la transmission par câble, qui est considéré comme un milieu protégé, il n'y a pas d'application du code convolutif et donc du poinçonnage.

II.5.2.2.6. Filtre de Nyquist

Le canal de transmission à une bande passante importante, ce qui impose une contrainte dans les débits de transmission. Pour augmenter l'efficacité spectrale (qui est le rapport du débit utile sur la bande passante), et ainsi faire passer plus d'information sur un même canal, on utilise la modulation par onde porteuse, qui permet de combiner plusieurs bits en un même symbole à transmettre._Avant l'émission, le signal doit être filtré pour réduire son spectre aux dimensions de la bande passante.

Une explication plus complète viendra en son temps. Pour le moment, on dira juste que ce filtrage va diminuer le débit utile de notre signal en fonction d'un coefficient appelé **Roll Off** (il détermine la raideur de filtre). La largeur de bande occupée sera égale à:

W=Débit utile x (1+Roll Off)

II.5.2.2.7. Mapping

Réorganisation de la trame à l'intérieure de la bande constituée.

II.5.2.2.8. Présentation de l'OFDM

Si les premières études sur les multi-porteuses datent de la fin des années 1950, le multiplex à division de fréquences orthogonales, plus connu sous le nom anglophone OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) a fait son apparition une dizaine d'années plus tard.

Délaissé ensuite lors du développement de la théorie de l'égalisation pour les systèmes mono-porteuses (de moindre complexité), l'OFDM dû son retour en grâce, vers le milieu des années 1980, au projet de radiodiffusion numérique DAB (Digital Audio Broadcasting).

En effet, les systèmes mono-porteurs, contrairement à l'OFDM, ne remplissaient pas les conditions de résistance aux trajets multiples et de débit élevé pour un taux d'erreur binaire faible requis par cette nouvelle application.

Depuis lors, l'OFDM est restée une technique prépondérante, puisqu'elle est utilisée pour de nombreuses applications comme la télévision numérique DVB (Digital Vidéo Broadcasting) ou la norme ADSL (Asymetric Digital Suscriber Line) permettant des liaisons Internet à haut débit.

Enfin l'OFDM s'adapte parfaitement aux communications mobiles, et semble incontournable pour les futurs standards de troisième et quatrième générations, où il est notamment question de l'associer au CDMA (Code Division Multiple Access) ou aux systèmes multi-antennes.

a. Problème du Trajet-Multiple

Transmettre un train numérique par voie hertzienne n'est pas une mince affaire et c'est la raison pour laquelle c'est la technologie qui a demandé le plus de temps pour émerger.

- Caractéristiques du canal

Le canal est caractérisé par plusieurs phénomènes physiques :
• La réflexion du signal sur un obstacle.
• La réfraction du signal lorsque celui-ci traverse un milieu d'indice différent de celui d'où il provient.
• La diffraction due à un obstacle.

Tous ces phénomènes physiques entraînent des échos (propagation par trajets multiples due à la présence d'obstacles) pouvant engendrer des évanouissements (fadings) qui sont des « trous de transmission » résultant de l'annulation du signal à un instant et une fréquence donnée.

Par conséquent, lorsqu'on est en réception fixe, portable ou mobile, la probabilité de recevoir uniquement une onde directe provenant d'un émetteur est très faible. On va donc recevoir le signal émis par l'émetteur ainsi qu'une multitude de signaux atténués et retardés provenant des différents échos.

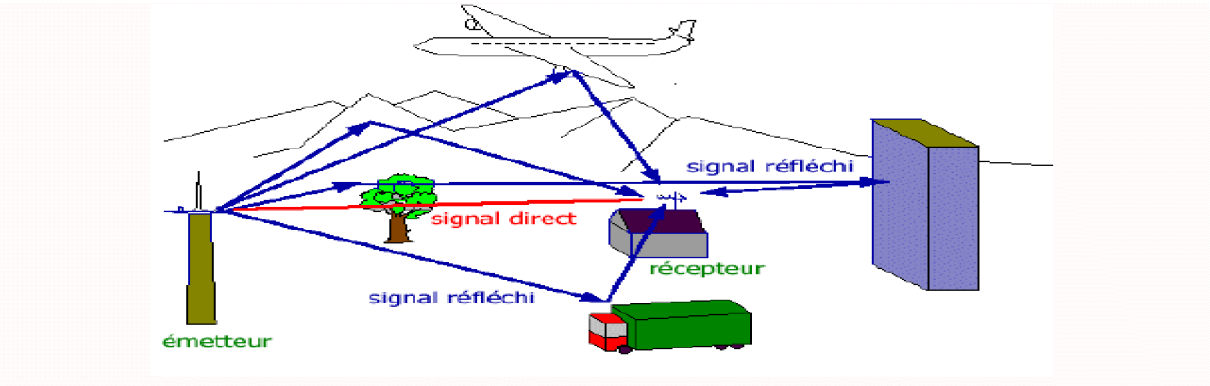


Figure. II.12 : Trajet multiple dans un canal radio

Comme le passage du signal à sa destination prend plusieurs trajets avec un délai entre eux, donc au récepteur, on aura le symbole affecté par d'autres symboles en retard.

b. Schéma d'un symbole OFDM

L'OFDM découpe le canal en cellule selon les axes du temps et de fréquence. Le canal est alors constitué d'une suite de sous bandes de fréquence et d'une suite de segments temporels.

A chaque cellule fréquence/temps est attribuée une porteuse dédiée. On va donc répartir l'information à transporter sur l'ensemble de ces porteuses modulée chacune à faible débit par une modulation du type QPSK ou QAM.

Un symbole OFDM comprend l'ensemble des informations contenues dans l'ensemble des porteuses à un instant t. Chacune des porteuses est orthogonale à la précédente.

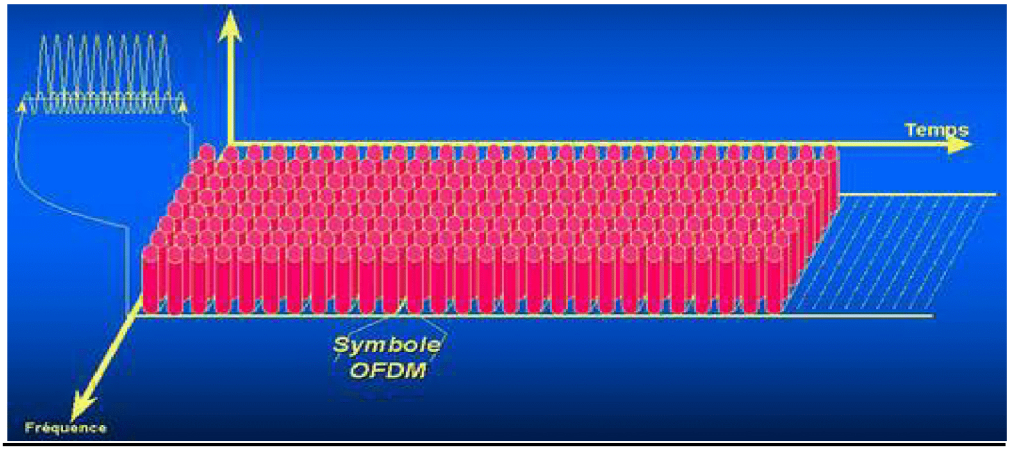


Figure. II.13: Symbole OFDM

c. Principe de la modulation

Le principe de multiplexage en fréquence est de grouper des données numériques pour former les symboles OFDM et de moduler par chaque donné une porteuse différente en parallèle.

Chaque porteuse modulant une durée pendant une fenêtre de durée T_s, son spectre est le transformée de Fourier de la fenêtre et le spectre total est la somme des spectres individuels.

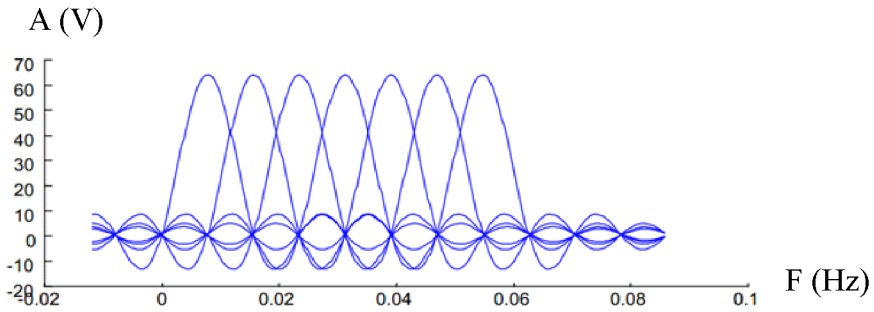


Figure. II.14 : Spectre des différentes porteuses

La figure montre que l'espace entre chaque sous porteuse $1/T_s$ permet, lorsque le spectre d'une sous porteuse est maximale, d'annuler le spectre de toutes les autres : c'est la condition d'orthogonalité permet d'avoir un recouvrement entre les spectres des différentes porteuses, et malgré ceci d'éviter les interférences entre sous porteuses si l'échantillonnage est fait précisément à la fréquence d'une sous porteuse.

d. Domaines d'application

Selon "l'expression consacrée", l'OFDM (***Orthogonal Frequency Division Multiplexing***) permet de répartir un train binaire à haut débit en N sous-canaux orthogonaux à bas débit.

A chaque sous-canal correspond une sous-porteuse. En diffusion **TNT**, le CSA a fixé à **6817 le nombre de sous-porteuses** dites utiles.

e. Notion d'orthogonalité

La différence fondamentale entre les différentes techniques classiques de modulation multi-porteuses et l'OFDM est que cette dernière autorise un fort recouvrement spectral entre les sous-porteuses, ce qui permet d'augmenter sensiblement leur nombre ou d'amoindrir l'encombrement spectral.

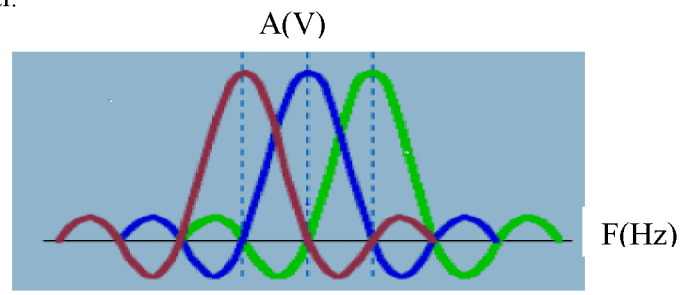


Figure. II.15 : Porteuses orthogonales

Cependant, pour que ce recouvrement n'ait pas d'effet néfaste, les porteuses doivent respecter une contrainte d'orthogonalité, à la fois dans les domaines temporel et fréquentiel. L'utilisation d'un très grand nombre de porteuses est une perspective presque effrayante : il faut sûrement beaucoup de modulateurs / démodulateurs et de filtres, Il faut aussi davantage de largeur de bande.

Il est heureusement simple de résoudre ces deux problèmes en spécifiant un espacement rigoureusement régulier de $fu = 1/Tu$ entre les sous-porteuses, où est la période (utile ou active) du symbole pendant laquelle le récepteur intègre le signal démodulé. Les porteuses forment alors ce que les mathématiciens appellent un ensemble orthogonal.

La figure **II.15** donne la **représentation spectrale** de l'ensemble des sous-porteuses du système. L'écart de fréquence entre chaque sous-porteuse est de 1/Tu.

L'orthogonalité de deux fonctions f(t) et g(t) dans l'intervalle [a,b] est définie par la relation :

$$\int_a^b f(t) \cdot g(t) dt = 0$$

Dans le canal de transmission, les fonctions sont orthogonales deux à deux, de proche en proche.

Le système est composé de k sous-porteuses (k = 6817 dans le système 8k). **Chaque sous-porteuse existe pendant une durée Tu.** Chaque sous-porteuse est à la **fréquence fk définie par fk = k/Tu** et est composée d'un nombre entier N de portions de sinusoïdes.

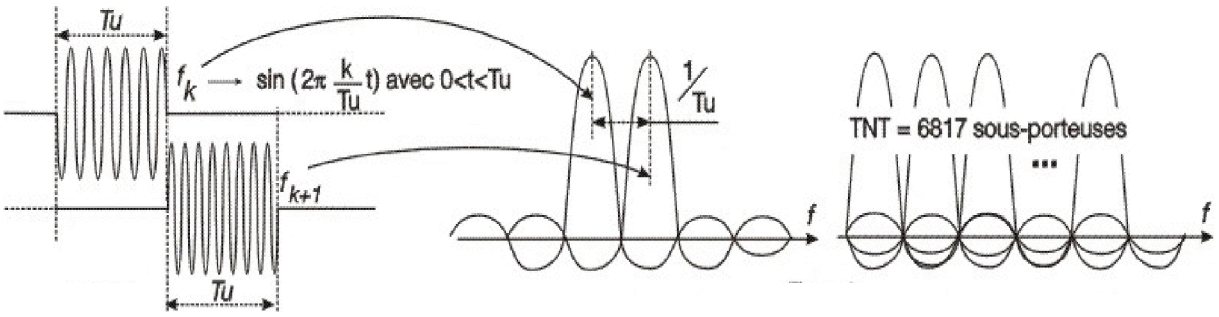


Figure. II.16: la représentation spectrale de l'ensemble des sous-porteuses du système

f. Principe de mise en œuvre de l'OFDM

Pour transmettre un symbole en OFDM, la fréquence, l'amplitude et la phase de chaque expression I et Q des sous-porteuses sont déterminées par des coefficients f_k, S_x, S_y. L'ensemble des sous porteuses **I modulées** sont déterminées par les **coefficients** f_k, S_x alors que l'ensemble des sous-porteuses **Q modulée**s sont déterminées par les **coefficients** f_k, S_y.

La Figure**. II.17**, donne une illustration du **spectre des sous-porteuses I (ou Q) modulées** à un moment donné. Après un intervalle de temps T_u, les contenus binaires changent et par conséquent, l'enveloppe des spectres des sous-porteuses **Imod** et **Qmod** est modifiée.

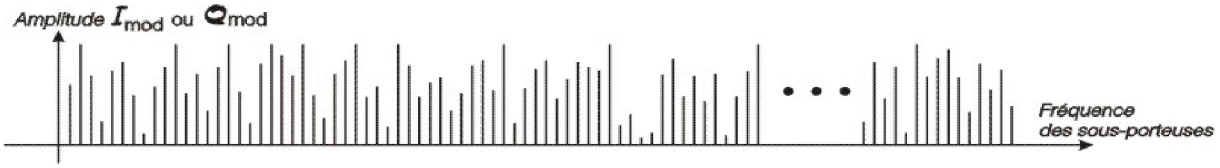


Figure. II.17 : illustration du **spectre des sous-porteuses I (ou Q) modulées** à un moment donné

g. Transposition sur un canal HF, UHF : émission

Le terme « modulation » contenu dans OFDM prête à confusion dans le sens où il ne s'agit que de répartir l'information sur N sous-porteuses en bande de base.

La modulation à proprement parler, qui permet d'assurer le transport du signal autour de la **fréquence centrale du canal**, reste quant à elle et dans le principe, identique à celle utilisée dans les chaînes de transmission HF, UHF classiques.

Ces **symboles OFDM** doivent passer par des convertisseurs numérique / analogique (**CNA** ou **DAC**, digital/analog converter) afin de pouvoir moduler une porteuse en I et Q du canal de transmission HF / UHF (figure**. II.18**).

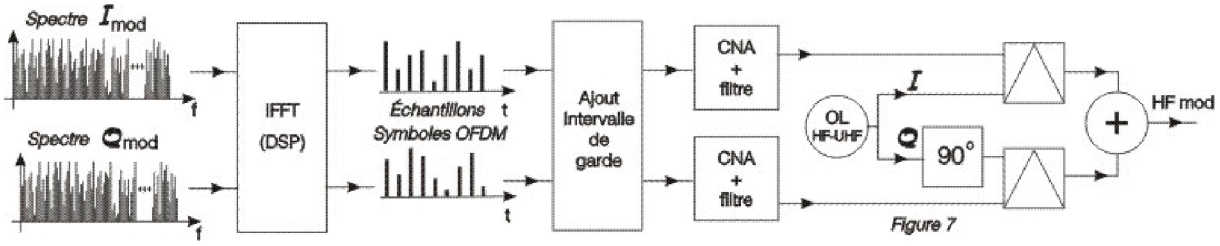


Figure. II.18: modulation d'une porteuse en I et Q du canal HF/UHF

II.5.2.2.9. COFDM

Le COFDM: Transmettre un train numérique par voie hertzienne n'est pas une mince affaire et c'est pourquoi c'est la technologie qui a demandée le plus de temps pour émerger. C'est celle du DAB (Digital Audio Broadcasting) qui a été adaptée à la télévision numérique. Voici quelques éléments et avantages utilisés par le DVBT.

a. Aperçu de COFDM

Le challenge relevé est qu'à la réception on puisse retrouver les symboles transmis indépendamment des chemins multiples (réflexions, échos, antenne recevant deux émetteurs différents, effet doppler dans le cas de la réception mobile) empruntés depuis le ou les émetteurs. Par définition, les caractéristiques d'un canal de transmission ne sont pas constantes dans le temps. Mais durant un court laps de temps, les caractéristiques d'un canal hertzien sont stables. Le COFDM découpe le canal en cellule selon les axes du temps et des fréquences. Le canal est alors constitué d'une suite de sous bandes de fréquence et d'une suite de segments temporels.

Un symbole COFDM : On va donc répartir l'information à transporter sur un ensemble de ces porteuses, modulée chacune à faible débit par une modulation du type QPSK ou QAM. Deux choix existent, le mode dit 8K (6817 porteuses dans le canal) ou le mode dit 2k (1705 porteuses dans le canal). Chacune des porteuses est orthogonale à la précédente.

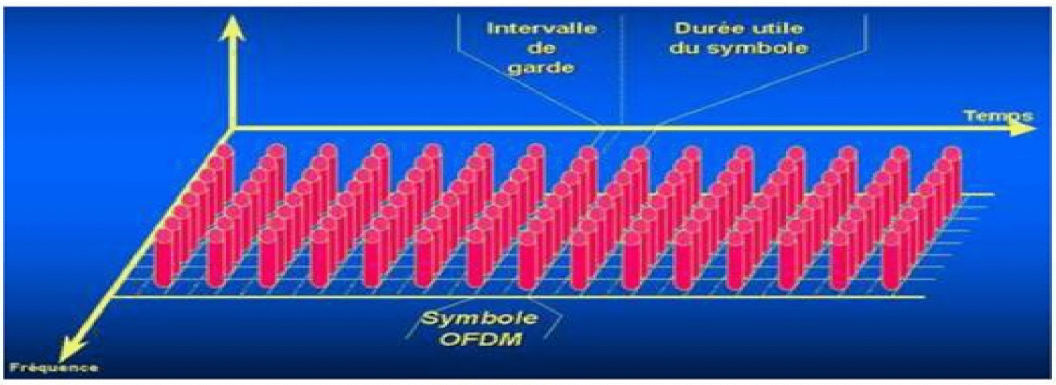


Figure. II.19: Symbole COFDM

Une même suite de symbole arrivant à un récepteur par deux chemins différents se présente comme la même information arrivant à deux instants différents et qui s'additionnent. Ces échos provoquent deux types de défauts:

- **L'interférence intra-symbole:** Addition d'un symbole avec lui-même légèrement déphasé.
- **L'interférence inter-symbole:** Addition d'un symbole avec le suivant plus le précédent légèrement déphasé. Entre chaque symbole transmis, on insère une zone "morte" appelée intervalle de garde. De plus la durée utile d'un symbole sera choisie suffisamment grande par rapport à l'étalement des échos. Ces deux précautions vont limiter l'interférence inter symbole (celle-ci se produisant au début des symboles, c'est l'intervalle de garde qui est affecté).

Le DVB-T nécessite une capacité de données importante. La réception mobile n'est pas essentielle mais la résistance à la réception par trajets multiples est cruciale du fait de l'utilisation très répandue d'antennes TV intérieures.

Un nouveau type de modulation, la COFDM a donc été choisi pour les deux systèmes. Cependant, certains détails différents et des choix appropriés de paramètres ont été opérés afin de répondre à leurs exigences spécifiques.

En COFDM, les données sont modulées en MRF sur un grand nombre de porteuses. La COFDM est particulièrement bien adaptée aux chaînes hertziennes grâce à ses caractéristiques principales :

- son orthogonalité (le "O" de COFDM) ;
- la présence d'un intervalle de garde ;
- l'utilisation du codage d'erreurs (le "C" de COFDM), de l'entrelacement et d'informations sur l'état de la voie.

Les avantages de la modulation COFDM sont nombreux, mais un de ses intérêts principaux est sa capacité à faire face aux échos, produits par des réflexions dues à l'environnement ou à plusieurs émetteurs fonctionnant sur le même canal RF. En fait, le COFDM peut employer des échos constructifs (c-à-d: ceux qui augmentent la puissance reçue) et négliger les effets négatifs des autres

La COFDM, est bien adaptée aux canaux hertziens de par sa capacité à traiter les trajets multiples importants et la présence de brouillage dans le même canal en bande étroite. Elle permet aussi les réseaux SFN.

On peut adapter la COFDM en choisissant correctement les paramètres. Le DVB-T comporte de nombreuses options en vue de faciliter l'exploitation de cette possibilité.

II.5.2.2.9.1. Le nombre des porteuses en DVB-T

Deux système en été normalisés : le « **2K** » avec **1705** porteuses et le « **8K** » avec **6817** porteuses.

- En **2K**, on a normalisé la durée utile T_u du symbole à 224 µs, ce qui impose un espacement Δf entre porteuses de 4464 Hz.
- En **8K**, on a normalisé la durée utile T_u du symbole à 896 µs, ce qui impose un espacement Δf entre porteuses de 1116 Hz.

Paramètres	**Mode 8K**	**Mode 2K**
Nombre de porteuse	6817	1705
Nombre de porteuses utiles	6048	1512
Durée de symbole utile	896 µs	224 µs
Espacement entre porteuse	1116 Hz	4464 Hz
Intervalle de garde (Δ)	$T_s/4$, $T_s/8$, $T_s/16$ ou $T_s/32$	$T_s/4$, $T_s/8$, $T_s/16$ ou $T_s/32$
Modulation des porteuses	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM

Tableau. II.4 : Différents paramètres de mode **8K** et**2K**

II.5.2.2.9.2. l'Intervalle de Garde

L'intervalle de garde, délai introduit entre la transmission de deux symboles OFDM consécutifs, est utilisé dans les systèmes terrestres afin d'absorber l'étalement des retards dus aux multi-trajets. A des fins de synchronisation plus simples, on place dans cet intervalle de garde une copie de la fin du symbole OFDM à transmettre. On le nomme alors le préfixe cyclique.

Du fait du canal gaussien caractérisant une transmission fixe par satellite, l'intervalle de garde ne servira qu'à effectuer l'opération de synchronisation. Sa longueur peut alors être beaucoup plus faible que dans les systèmes terrestres et doit être optimisée dans le but d'améliorer l'efficacité spectrale du système étudié par rapport aux systèmes mono-porteur.

L'optimisation de la taille de l'intervalle de garde conduisant à la comparaison de performances en termes d'efficacité spectrale entre les systèmes multi-porteuse et Mono-porteuse.

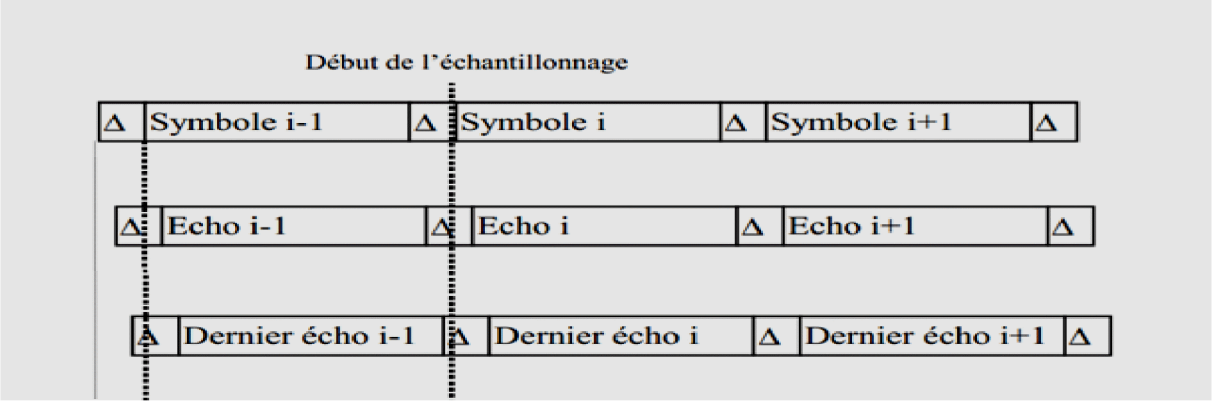


Figure. II.20 : Intervalle de garde

II.5.2.2.9.3. FEC (Le correcteur d'erreur)

Comme les transmissions sont du type « broadcast », le récepteur ne peut pas envoyer un message à l'émetteur pour dire : « Je n'ai pas reçu le dernier message, pouvez-vous le retransmettre ? » C'est pour cela qu'on utilise le FEC (Forward Error Correction).
Il s'agit d'informations de correction d'erreurs diffusées en complément des informations signal. Elles permettent au récepteur de reconstituer le flot de bits si des pertes ou dégradation se produisent lors de la chaîne de diffusion.

- Les circuits FEC correcteurs d'erreurs :

Les FEC utilisés avec la modulation OFDM sont composés de plusieurs systèmes de corrections d'erreurs dont 2 principaux :
- Le codage REED SOLOMON
- Le code de VITERBI (c'est un code convolutif).

- **Quelques chiffres**

DVB a défini les paramètres suivants: L'intervalle de garde Delta peut être égale à: 7, 14, 28, 56, 112 ou 224 µs. Plus l'intervalle est grand plus le symbole est protégé. La durée utile d'un symbole est égale à: 4, 8, 16, 32 fois Delta. La modulation des porteuses peut être: QPSK, QAM-16 ou QAM-64.

Tableau des valeurs des débits regroupés

	Efficacité code convolutif	Intervalle de garde : débit utile en fonction du rapport Delta/Durée d'un symbole			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	½ 2/3 3/4 5/6 7/8	4,98 6,64 7,46 8,29 8,71	5,53 7,37 8,29 9,29 9,68	5,85 7,81 8,78 9,76 10,25	6,03 8,04 9,05 10,05 10,56
16-QAM	½ 2/3 3/4 5/6 7/8	9,95 13,27 14,93 16,59 17,32	11,06 14,75 16,59 18,43 19,35	11,71 15 ,61 17,56 19,52 20,49	12,06 16,09 18,10 20,11 21,11
64-QAM	½ 2/3 3/4 5/6 7/8	14,93 19,91 22,39 24,88 26,13	16,59 22,12 24,88 27,65 29,03	17,56 23,42 26,35 29,27 30,74	18,10 24,13 27,14 30,16 31,67

Tableau. II.5 : Les valeurs des débits regroupés

On constate pue ces valeurs sont indépendantes du choix du nombre de porteuses, se qui se comprend aisément, puisque le rapport entre la durée Tu du symbole et le nombre de porteuses du canal (c'est-a-dire l'écart entre porteuse extrêmes du canal, puisque l'écart inter-porteuse est égal à 1/Tu) est le même en 8K et en 2K.

- **Avantages**

- Qualité de réception constante (contrôlée à l'émission)/ Possibilité d'une réception mobile parfaite.
- 5 à 6 programmes numériques / canal analogique.
- Possibilité de gérer des décrochages locaux pour des chaînes ou des programmes locaux.
- Récepteurs numériques avec mise à jour logicielle.
- Possibilité de réception hertzienne mobile de qualité.
- Introduction de réseaux mono-fréquence dit SFN (Single Frequency Network).
- Un programme est disponible sur une seule et même fréquence sur tout le territoire.

- **Inconvénients**

- Moins de canaux disponibles qu'avec le satellite
- Si mauvaise réception, pas d'image

- Nouveau standard à évolution très rapide
- Coût de l'infrastructure des émetteurs terrestres
- Coût et complexité des circuits de démodulation

II.5.3. Récepteur DVB-T

Le multiplex (des programmes) va être transmit par faisceaux hertzien via des ondes Électromagnétiques vers les émetteurs de diffusion.

- **L'Emetteur :** l'émetteur DVB-T de la sérié BTD à semi-conducteur et à refroidissement à air, travaille dans les bandes TV UHF IV et V.

- **L'Antenne :** Réception individuelle et collective avec la même antenne râteau qu'en analogique. Dans un tel cas, les canaux choisis pour la TV terrestre numérique doivent être à l'intérieur ou près de la bande pour laquelle l'antenne analogique a été conçue. En utilisant la même antenne pour des canaux analogiques et numériques.
  On peut viser une zone de couverture similaire pour les deux services. La plupart des antennes de transmissions existantes doivent convenir.

- **Le Décodeur TNT:** La réception est faite par connexion d'un **adaptateur** (Décodeur) **TNT** à un téléviseur traditionnel, ou un téléviseur à décodeur intégré. Le synoptique du récepteur est donné par la figure suivante :

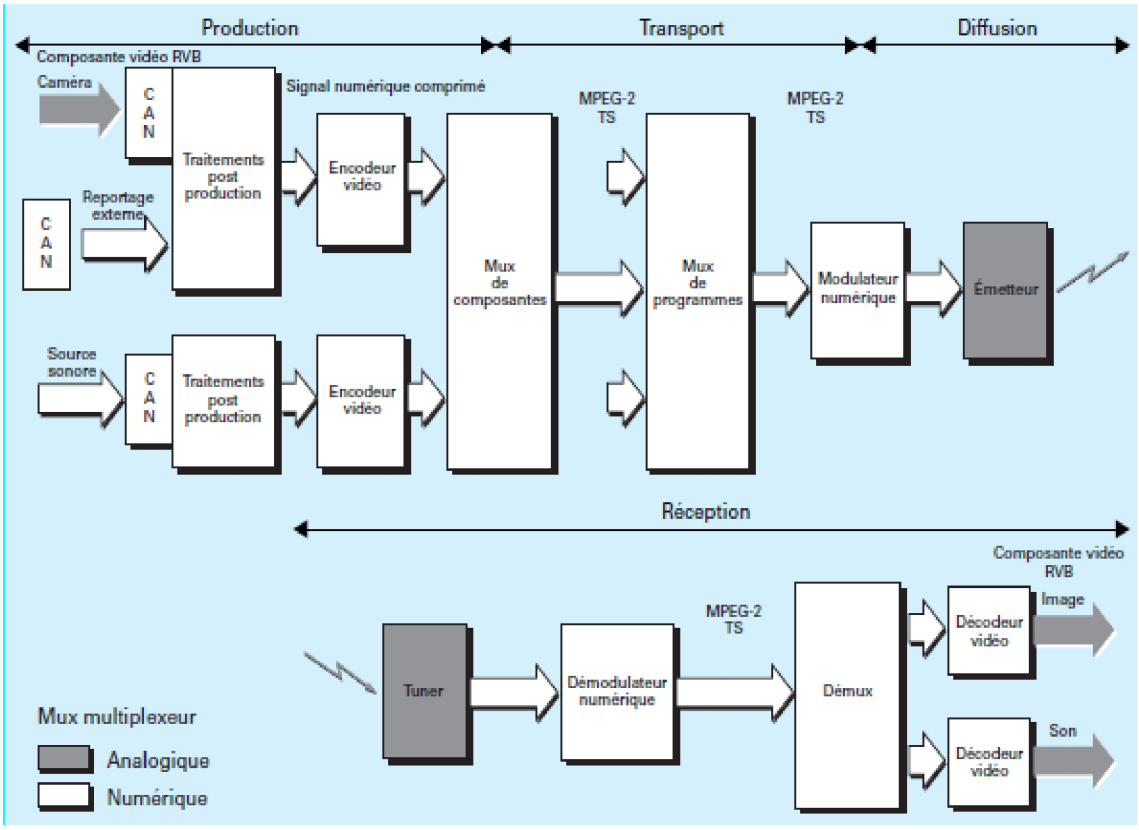


Figure. II.21 : Chaine de transmission en numérique **[10]**

La **partie frontale** consiste en un tuner (RF & IF) et un CAN (convertisseur analogique numérique) comme indiqué.

L'**AGC** (contrôle de gain automatique) permet de maintenir un niveau constant en sortie pour des niveaux d'entrée différents, pour différentes fréquences RF et permet au convertisseur **CAN** de fonctionner sur toute sa gamme. C'est un compromis entre l'écrêtage du signal et le bruit de quantification.

Pour introduire un bruit négligeable dans le signal, un CAN de 8 bits « vrais » est nécessaire. Pour réaliser cela, un CAN de 10 bits est généralement employé (c'est pour un système qui fonctionne dans les modes 2K et 8K).

II.5.3.1. Résumé

La figure ci-dessous : résume les différentes opérations effectuées sur le flux binaire (par exemple, issu d'un encodeur MPEG). On y retrouve de faite le schéma ***synoptique d'un émetteur de télévision*** (TNT) ou de tout autre équipement de transmission utilisant le principe OFDM ou COFDM.

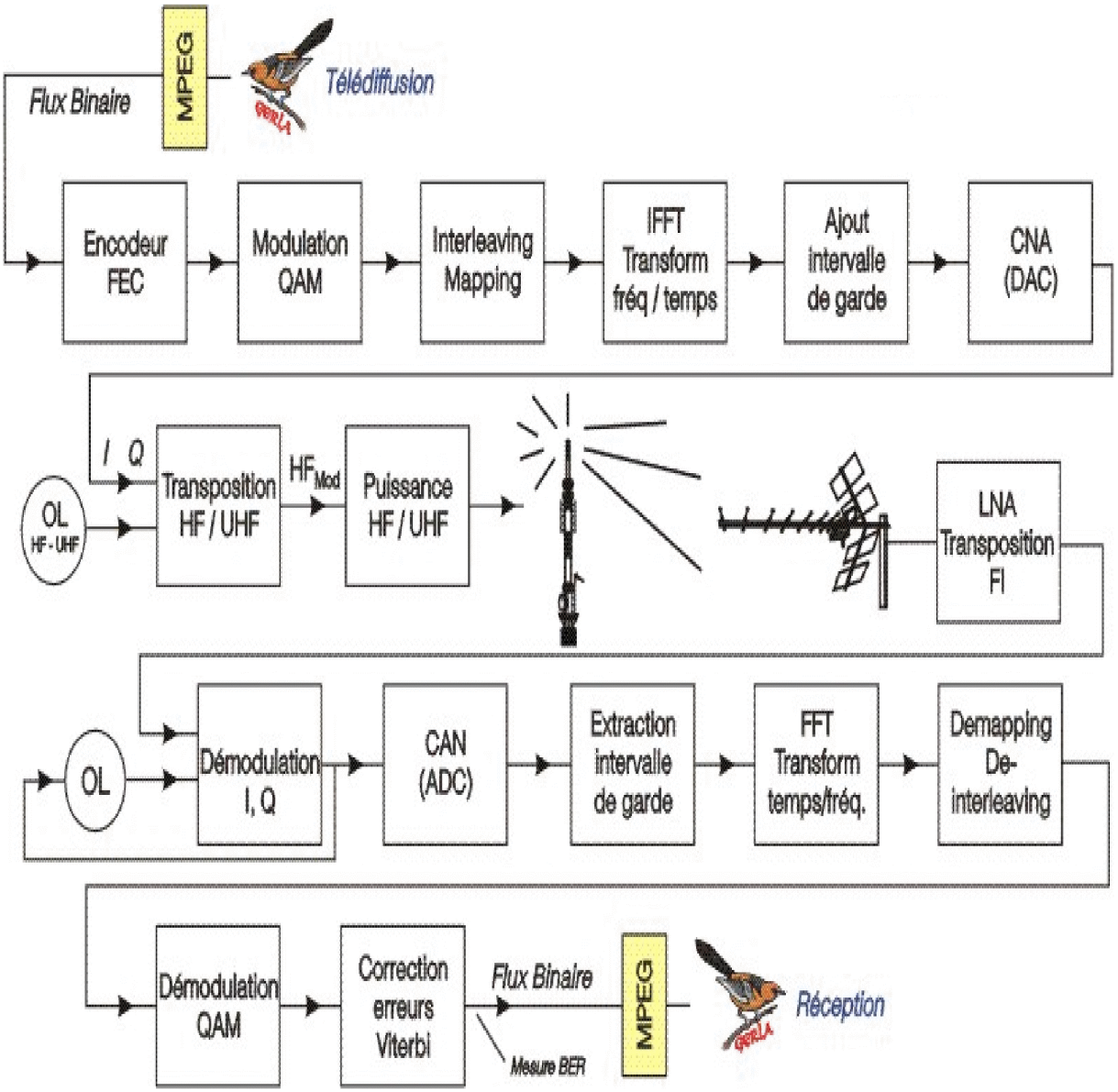


Figure. II.22 : Les différentes opérations effectuées sur un flux binaire

L'encodage FEC (Forward Error Correction) : comporte les codes **Reed Solomon** et **Viterbi**, permet de corriger (dans une certaine mesure) les erreurs de transmission.

Le flux binaire est ensuite découpé en symboles binaires (6 bits dans le cas du **64 QAM de la TNT**), chaque symbole binaire devant moduler en QAM une sous-porteuse.

L'Interleaving : mêle les données obtenues afin de **répartir l'énergie dans le canal** et d'éviter les rafales d'erreurs.

Reed-Solomon : il protège contre des erreurs. Il ajoute 16 bits de parité.

Codification de Viterbi : il ajoute bits de redondance.

IFFT : pour revenir au domaine temporel puis insérer l'intervalle de garde.

ICI : Inter-Carrier Interference.

CNA (DAC) : Comme le symbole OFDM est numérique (digital), il faut passer par une conversion numérique/analogique pour revenir au domaine analogique puis transposer le signal au domaine HF/UHF.

LNA : Low Noise Amplifier (préamplificateur HF à **faible bruit** et bain réglable par contrôle automatique de gain ou **CAG**).

OL : Oscillateur local. Sa fréquence de fonctionnement est déterminée par rapport à la fréquence centrale du canal de transmission.

BER : Bit Error Rate. Taux d'erreur binaire. Généralement **mesuré dans le récepteur** en sortie du module de correction Viterbi.

II.5.4. DVB-T2

DVB-T2 est une abréviation pour Digital Vidéo Broadcasting - deuxième génération terrestre; c'est la prolongation de la télévision DVB-T standard, publiée par le consortium DVB, conçu pour la transmission d'émission de la télévision terrestre numérique. DVB a été normalisé par l'ETSI.

Ce système transmet l'acoustique numérique comprimée, vidéo, et d'autres données dans la couche physique PLPs. Il utilise la modulation d'OFDM avec le codage et l'interfoliage de canal enchaînés. Le débit binaire plus fortement offert, en ce qui concerne son prédécesseur DVB-T, lui fait un système adapté pour porter des signaux de TVHD sur la chaîne de télévision terrestre (bien que beaucoup de radiodiffuseurs emploient toujours DVB-T plat à cette fin).

- **Enquête préliminaire**

En mars 2006 DVB a décidé d'étudier des options pour une norme améliorée de DVB-T. En juin 2006, un groupe de travail formel appelé TM-T2 (module technique sur prochaine génération DVB-T) a été établi par le groupe de DVB pour développer un arrangement avancé de modulation qui pourrait être adopté par une norme terrestre numérique de télévision de deuxième génération, pour être appelé DVB-T2.

Selon les conditions et l'appel commerciaux pour les technologies publiées en avril 2007, la première phase de DVB-T2 serait consacrée pour fournir la réception optima pour les récepteurs stationnaires (fixes) et portatifs (c-à-d, les unités qui peuvent être nomades, mais pas pour entièrement le mobile), l'utilisation des antennes existantes, tandis qu'une deuxième et troisième phase étudierait des méthodes pour fournir de plus hautes charges utiles (avec de nouvelles antennes) et l'issue mobile de réception.

Le système original devrait fournir une augmentation minimum de 30% en charge utile, dans les états semblables de canal déjà utilisés pour DVB-T.
Le modulateur de l'essai DVB-T2 s'est développé par recherche et innovation de BBC etc...

- **La norme**

  Les caractéristiques suivantes ont été conçues pour la norme de T2 :
  - Modulation de COFDM avec les constellations QPSK, 16-QAM, 64-QAM, ou 256-QAM.
  - Les modes d'OFDM sont 1k, 2k, 4k, 8k, 16k, et 32k. Les intervalles de garde sont 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, et 1/4. pour le mode 32k, le maximum est 1/8).
  - FEC est des codes enchaînés de LDPC et de BCH (comme dans DVB-S2 et DVB-C2), avec des taux 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, et 5/6. (DVB-T2 emploie le codage de LDPC (contrôle de parité de faible densité) et de BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham).
  - Il y a peu de pilotes, dans 8 pilote-modèles différents, et l'égalisation peut être basée également sur le système de RAI CD3.
  - Dans le mode 32k, une plus grande partie de la norme canal de 8 MHz peut être employée, ajoutant la capacité supplémentaire environ de 2%.
  - DVB-T2 est spécifié pour la largeur de bande de canal de 1.7, 5, 6, 7, 8, et 10 MHz.
  - Le MISO (à sortie unique à entrées multiples) peut être employé mais MIMO ne sera pas employé. Des récepteurs de diversité peuvent être employés (pendant qu'ils sont avec DVB-T).
  - PLP multiple pour permettre la robustesse de détail de service.
  - L'empaquetement de plus de canaux dans un SuperMUX (appelé le TFS) n'est pas dans la norme, mais peut être ajouté plus tard.

II.5.5. Différences entre DVB-T et DVB-T2

Le tableau suivant rapporte une comparaison des modes disponibles dans DVB-T et DVB-T2

	DVB-T	DVB-T2
Input Interface	Single Transport Stream (TS)	Multiple Transport Stream et Generic Stream Encapsulation (GSE)
Mode	Constant Coding et Modulation	Variable Coding et Modulation
Forward Error Correction (FEC)	Convolutional Coding+Reed solomon 1/2, 2/3, 3/4,5/6.	LDPC +BCH 1/2, 3/5, 2/3 3/4,4/5, 5/6
Modulation	OFDM	OFDM
Modulation Schémas	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
Discrete Fourier Transform (DFI) size	2K, 8K	1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K
Scattered Pilots	8% of total	1%, 2%, 4%, 8% of total
Continual Pilpts	2.6% of Total	0.35% of Total

Tableau. II.6 : Comparaison des modes dans DVB-T et DVB-T2

Par exemple, mode 64-QAM, 2k pour le DVB-T (codant taux 2/3, intervalle 1/32 de garde) et un équivalent DVB-T2 : 256-QAM, 32k (codant taux 3/5, intervalle 1/128 de garde) tient compte d'une augmentation de débit binaire de 24.13 Mbits/s à 35.4 Mbits/s (+46.5%).

II.5.6. Avantage de DVB-T2 comparé à DVB-T

En raison de technologies présentées dans DVB-T2, le gain potentiel dans la capacité qui pourrait être réalisée est presque de 30 à 50% comparé au mode DVB-T courant utiliser. En plus de la capacité accrue, on s'attend à ce que le mode DVB-T2 proposé offre une plus grande tolérance d'interférence par trajets multiples et impulsive que le mode courant de DVB-T.

Une plus grande augmentation de la capacité pourrait être réalisée pour l'opération à réseau de fréquence unique (SFN), en raison des grands intervalles partiels de garde utilisés dans ces modes.

II.6. Comparaison entre les trois normes de diffusion DVB-S, DVB-C et DVB-T

Paramètre	Diffusion DVB-S	Diffusion DVB-C	Diffusion DVB-T
Types	Satellite : y'a d'écho	Canal : pas d'écho	Terrestre : écho fort
Débit Mb/s	23,7 à 41,5	25,2 à 38,1	5 à 32
Modulation	QPSK	MAQ-16 a 64	OFDM 2K ou 8K QAM 4, 16 OU 64
Largeur du canal MHZ	26 à 36	7 ou 8	8 ou 7
Seuil C/N dB	4,1 à 8,4	\	3 à 20
Roll-off	0,35	0,15	Intervalle de Garde 1/32, 1/16, 1/8, 1/2
Codage Vidéo	MPEG-2		
Codage Audio	MPEG-1		
Paquet Transport	188 octets (Sync + 187 utils)		
Embrouillage	DVB-CSA (Common Scrambling Algorithm)		
Brassage	$1+X^{14}+X^{15}$		
Codage externe	Reed-Solomon (204,188, T=8)		
Entrelacement	Convolutif (12blocs)		
Codage interne	Convolutif (171,133) Poinçonnage R_c =1/2, 1/3, 3/4, 5/6, 7/8	Non	Convolutif (171,133) Poinçonnage R_c =1/2, 1/3, 3/4, 5/6, 7/8

Tableau. II.7: la comparaison entre les trois types de diffusion (S-C-T)

Le tableau précédent illustre plusieurs différences entre les trois modes de réception tel que le débit, corrections, largeur de canal utilisé etc…

II.7. Conclusion

Le signal précédemment étudié et protégé par l'utilisation des normes DVB-S, DVB-S2, DVB-C, DVB-C2, DVB-T et DVB-T2 -chacune par sa méthode- va nous ramener à une étude relativement détaillée d'un réémetteur TNT (DVB-T) qui représente un cas pratique de l'application sur terrain de la diffusion TNT.

III. Le Réémetteur BTESA

Le réémetteur TNT travail pour émettre un multiplex de programmes de haute qualité et pour couvrir une zone d'ombres bien déterminée.

Nous avons opté pour une configuration hardware et une configuration software d'un réémetteur DVB-T/H 50W UHF en utilisant le logiciel *User Console*. Par la suite, nous avons simulé le codage correcteur d'erreur et la modulation COFDM dans une émission-réception DVB-T en utilisant le logiciel MATLAB.

III.1 Etude d'un réémetteur DVB-T/H

III.1.1. Description générale du Réémetteurs DVB-T/H

Les réémetteurs DVB-T/H de la série BTD sont des équipements à semi-conducteurs à refroidissement à air, travaillant sur les Bandes TV UHF IV et V, capables de fournir différentes puissances rms suivant le modèle utilisé, exemple : Modèle BTD51A : 50 W **rms**

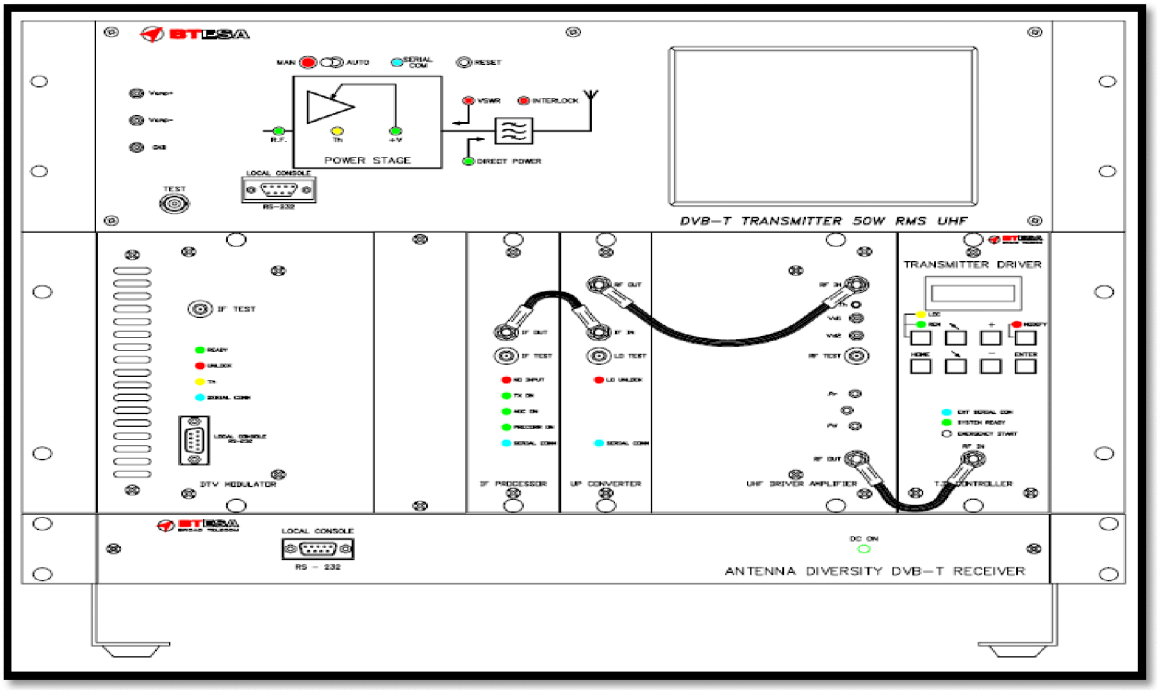


Figure.III.1: Schéma synoptique du réémetteur DVB-T/H

Tous les réémetteurs DVB-T/H de la série BTD sont équipés d'amplificateurs de puissance fondés sur des dispositifs actifs LDMOS travaillant dans la classe ''AB'', configuration aux choix.

Les modules d'excitation de réémetteur sont composés des sous-assemblages suivants :

Modulateur numérique avec sortie FI, unité de traitement FI, convertisseur de canal UHF et amplificateur driver de RF. Pour les versions SFN (Réseau à Fréquence Unique), une plaque de fréquence et de temps GPS est comprise.

Le MPEG-2 TS avec le signal multiplexé à transmettre alimente le modulateur de version DVB-T/H COFDM, à travers une interface série asynchrone (ASI). Le modulateur réalise la modulation numérique conformément à la norme ETSI EN 300 744 pour DVB-T et ETSI EN 302 304 pour DVB-H :

Mode de transmission :	8K, 2K
Intervalles de sauvegarde :	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Débits de code :	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 (Indépendant pour LP & HP)
Constellation :	QPSK, 16QAM, 64QAM
Mappage :	Uniforme α=1, α=2 et α=4
Mode hiérarchique :	support complet en mode MFN

III.1.2. Emetteur Excitateur

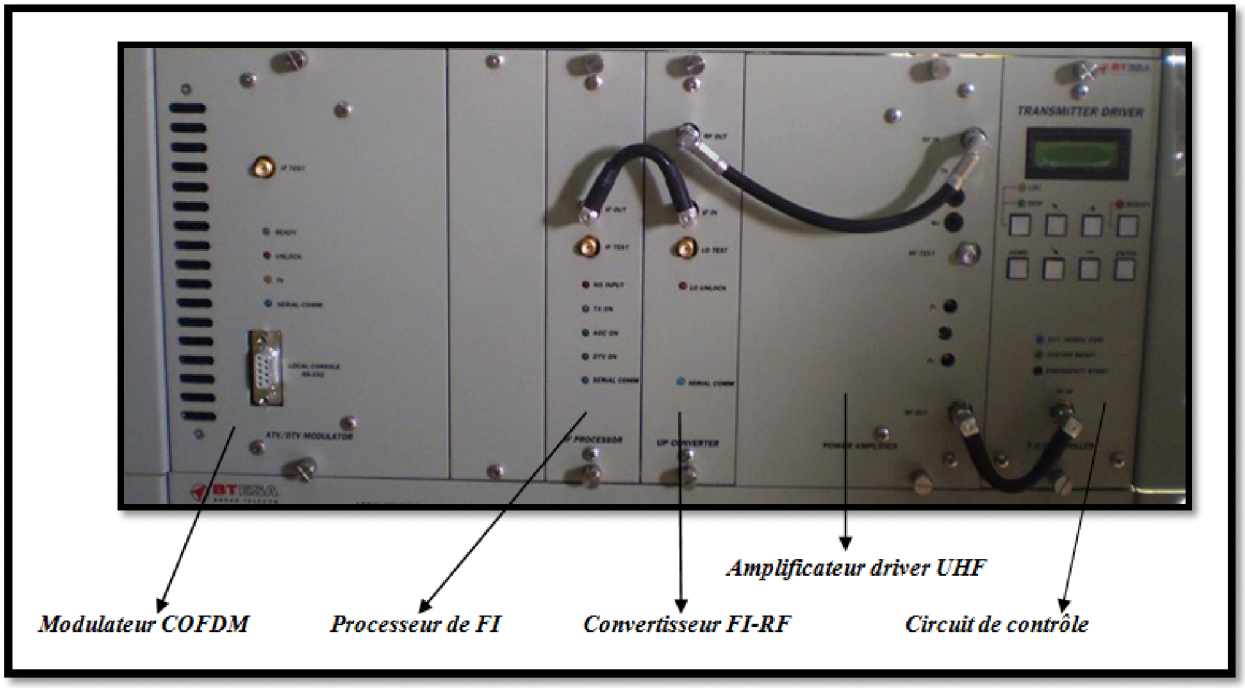


Figure.III.2: Blocs de l'émetteur excitateur

L'émetteur excitateur est composé des sous-assemblages suivants :

- Modulateur COFDM
- Fréquence de référence (GPS en option)
- Processeur de FI
- Convertisseur FI-RF
- Amplificateur driver UHF

- Circuit de contrôle
- Alimentation

III.1.2.1. Modulateur COFDM

Le modulateur COFDM est un modulateur DVB-T /H respectant toutes les spécifications comprises dans les normes ETSI EN 300 744 et EN 302 304, et qui fonctionnent sur le mode 2K, 4K ou 8K. Ce module, alimenté avec un Train de Transport (TS) MPEG-2 ayant des débits entre 3 Mbps et celui exigé par le mode sélectionné, réalise le codage du canal et la modulation OFDM en utilisant un modulateur numérique I/Q avec une sortie directe a une fréquence de FI (voir le schéma synoptique sur la page suivante).

Pour le MPEG-2 TS, deux entrée série (ASI) sont disponibles. La sélection de l'entrée ASI peut être réalisée automatiquement en cas d'erreur de celle définie comme principale, ou manuellement depuis la console de contrôle ou en utilisant une supervision a distance. Les deux entrées, pour LP et HP, sont utilisées simultanément en cas de transmissions hiérarchiques.

Le modulateur pour DVB-T est équipé de deux fréquences interne et externe successivement : stabilité de ± ppm, 10MHz.

Pour l'opération SFN, une entrée pour le signal de 10 MHz est incluse, ainsi qu'une autre entrée pour le 1 pps, les deux exigées pour une correcte synchronisation, et provenant normalement d'un récepteur GPS.

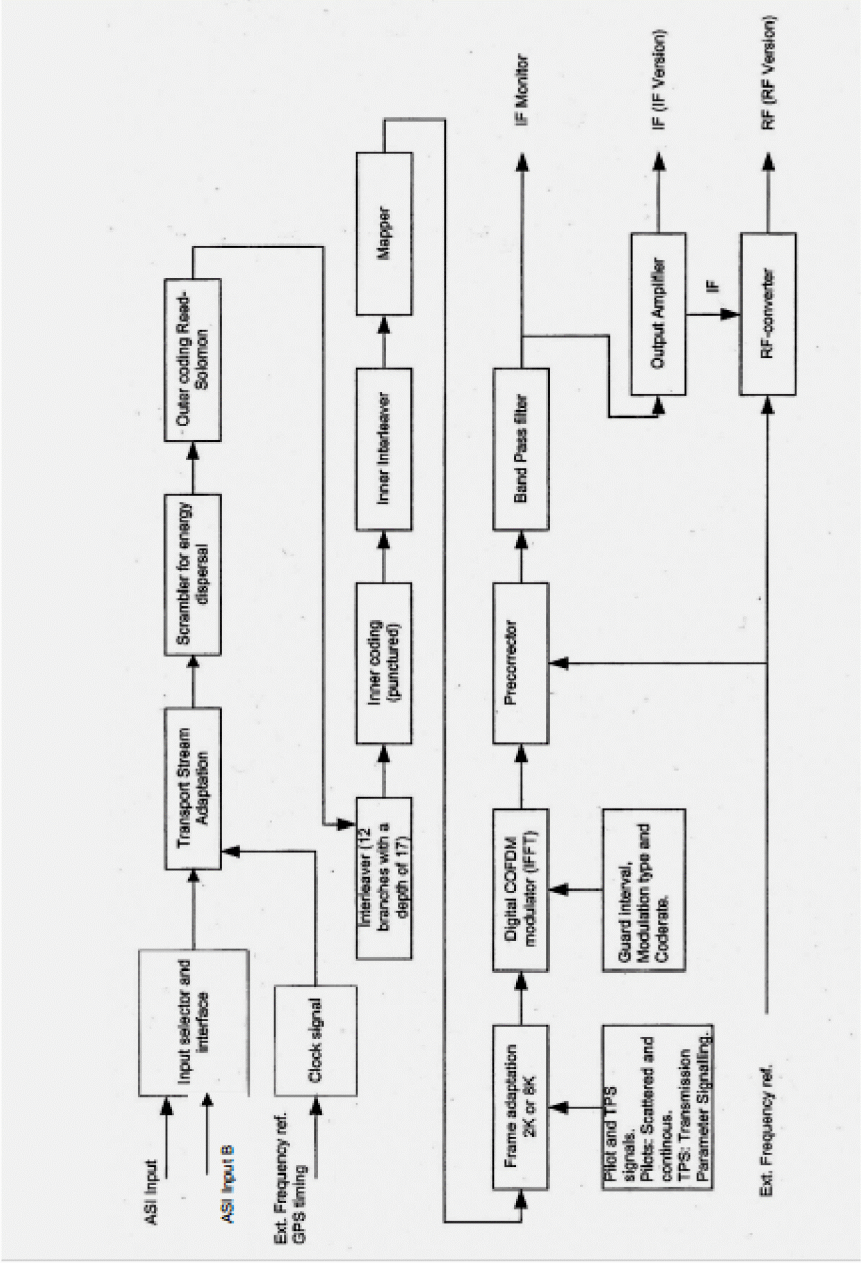


Figure. III.3: Schéma synoptique du modulateur COFDM

Le modulateur comprend pré-correcteur numérique, qui permet une compensation personnalisée des distorsions linéaires et non linéaires dans les étages de puissance de l'émetteur. Ce pré-correcteur est réglé d'une manière itérative conforme au contrôle du signal affiché sur l'analyseur de spectre, en employant une application fondée sur PC. Quand le spectre souhaité est obtenu, les courbes de précorrection sont stockées en permanence dans la modulation.

Un filtrage numérique de signaux I et Q préalable au mélangeur I/Q limite la largeur de bande du signal COFDM a la valeur spécifiée de 7.61 MHz (canaux de 8 MHz).

La partie frontale de modulateur comprise les points test pour monitoring et les LEDs pour indiquer les alarmes.

Le modulateur COFDM peut être contrôlé à distance via un bus RS485/RS232 du tiroir du module d'excitation (connecté à la logique de commande principale de l'émetteur). En utilisant un SW spécifique pour Windows installé dans un PC (console de l'opérateur), l'utilisateur final peut régler à distance tous les paramètres de l'équipement, y compris les modes DVB-T et la configuration générale du modulateur.

Le modulateur COFDM est un module enfichable compact situé dans le tiroir de l'émetteur excitateur.

- **Caractéristiques générales**

Les caractéristiques les plus importantes du modulateur COFDM sont les suivantes :

- Entièrement compatible avec les normes pour DVB-T (ETSI EN 300 744) et pour DVB-H (ETSI EN 302 304)
- Largeur de bande du canal : 8MHz, 7MHz ou 6MHz (sélectionnable via SW).
- Taille FFT : 2K et 8K (4K pour DVB-H)
- Valeurs d'intervalle de sauvegarde : 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
- Débits de code : 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 (Indépendant pour LP et HP)
- Codes de sortie : Reed Solomon (188, 204, T=8) avec entrelacement.
- Constellations de modulation : 4-QAM (QPSK), 16-QAM, 64-QAM.
- Mappage : Uniforme α=1, α=2, α=4
- Débit binaire d'entrée : MFN : de 3 Mbps au maximum selon sélectionné. SFN : Tous
- Retard du signal pour opération SFN : de 10 ms a 1 s (compatible avec TS101 191). Décalage local réglable dans la plage de retard totale.
- Fonctions de test en retirant les transporteurs et en utilisant un PRBS, compris
- Écrêtage OFDM réglable entre 0 dB et -10 dB (rel. a niveau +17 dB RMS)
- Précorrections numériques pour distorsions linéaires
- Bus RS232/RS485 pour monitorisation et contrôle a distance des l'alarmes

- **Traitement signal d'entrée**

Le MPEG-2 TS alimentant ce modulateur peut inclure un nombre variable de services et de programmes. C'est pourquoi, le ''débit binaire'' peut varier d'une application a l'autre. Conformément à la norme ETS 300 744, le modulateur devrait accepter des valeurs comprises entre 3.732 Mbit/s et 31.67 Mbit/s (pour des canaux de largeur de bande de 6.7 et 8MHz).

L'équipement SFN de ce modulateur lit les signaux de synchronisation compris dans les méga-trames pour régler automatiquement le retard du signal transmis conformément aux exigences du réseau. Pour un bon rendement de ce système, il doit y avoir une référence commune de fréquence. Ceci est possible en introduisant dans l'équipement SFN des références de 10 MHz et 1 pps fournis par un récepteur GPS.

III.1.2.2. Référence GPS de temps et de fréquence

Le module enfichable optionnel ''Référence GPS de temps & Fréquence '', situé à l'intérieur du tiroir de l'émetteur excitateur, comprend un récepteur GPS de code C /A balayant jusqu'à 8 satellites sur L1 (1575MHz). Comme référence de temps, un VC /OCXO interne de 10 MHz, bloqué en phase et fréquence sur le signal 1 pps fourni par le récepteur GPS. En cas d'absence du signal GPS, l'oscillateur conserve 4 heures de suivi continu avec une précision de + /-5 us.

Le réglage et les états des alarmes de ce module sont accessibles par contrôle à distance via une interface série.

III.1.2.3. Référence de fréquence de 10 MHz

Dans le cas de réseaux MFN, au lieu du module récepteur GPS indiqué avant, un module de fréquence de référence plus simple peut être utilisé.

Ce module fournit le signal sinusoïdal de 10 MHz exigé par le synthétiseur de conversion du canal. Pour ce faire, le module comporte un oscillateur VCXO de 10MHz ou, si des conditions de précision de fréquence plus élevées sont exigées, un OCXO avec une stabilité de température de 1.10^{-8}et de 1.10^{-10} /jour.

Dans les deux cas, il est nécessaire que le bruit de phase de référence de 10 MHz soit meilleur que -120dBc/Hz@100 Hz, afin de conserver le rendement de l'oscillateur du canal conformément aux exigences rigoureuses pour le bruit de phase du signal DVB-T.

III.1.2.4. Processeur de FI

Ce module comporte une CAG qui corrige automatiquement les niveaux de sortie RF qui doit être constante par apport à l'entrée après détection d'un échantillon RF.

Pour protéger l'émetteur d'une puissance réfléchie au niveau de l'antenne, un échantillon de ce signal réfléchi, après sa détection, est également envoyé au module de traitement de FI. Si la puissance réfléchie dépasse une certaine limite, la puissance de sortie de l'émetteur est proportionnellement réduite, ce qui garantit une continuité du fonctionnement avec un niveau inférieur de RF.

Un égalisateur d'amplitude réglable permet de compenser de possibles déficiences dans la courbe de réponse amplitude/fréquence.

L'émission de la TNT se fait pour l'essentiel dans la bande UHF qui va de **460** à **862** MHz. Cette bande a été divisée en canaux de largeur 8 MHz pour la TV analogique, numérotés de **21** à **69**. La TNT a reprit les même canaux.

Formule de calcul de la fréquence du canal: $\mathbf{F_{MHZ} = 306 + (8 \cdot Numéro\ du\ canal)}$

Pour le canal **43** c'est **650** MHz;

Pour le canal **60** c'est **786** MHz;

FI est fixée en **36** MHz;

Les diffuseurs peuvent être amenés à faire varier en plus ou en moins les fréquences des émetteurs pour éviter des brouillages.

- **NOTE BIEN:** Il convient d'ajouter parfois un décalage (shift) de ±166KHz destiné à éviter les perturbations dans le canal voisin analogique.

III.1.2.5. Convertisseur ascendant FI-RF

Le signal FI provenant du modulateur COFDM est converti vers le haut de fréquence au canal de sortie au moyen d'un double mélangeur équilibré avec un oscillateur local synthétisé.

Cet oscillateur local utilise une boucle PLL pour garantir une fréquence synthétisée de ± 0.6 Hz. Ainsi, que le bruit de phase ne doit pas dépasser -85 dBc/Hz @ 1 KHz.

Un filtre a bande passante situé sur la sortie du mélangeur sélectionne la bande latérale inférieure et élimine tout produit de mélange non souhaité ; le spectre obtenu est amplifié jusqu'à un niveau maximum de 0 dBm rms.

Il est également possible d'alimenter cette unité à l'aide d'un oscillateur local externe, au lieu d'un oscillateur interne.

III.1.2.6. Amplificateur driver UHF

L'amplificateur RF fournit une puissance de 50 W en se basant sur des préamplificateurs de 1 à 15 W. pour éviter une intermodulation non désirable a la fin des étages amplificateurs.

Dans les deux cas, pour protégé le module amplificateur contre des températures excessives, un capteur de température est intégré et si la température maximum de fonctionnement est dépassée, la tension en CC fournie à l'amplificateur est coupée. En outre, une LED sur le panneau frontal montre ce fait.

La valeur de la température qui provoque la coupure de l'amplificateur peut être réglée par un potentiomètre, 80°C étant une valeur typique. Le fonctionnement normal du module est récupéré quand la température chute de 10°C en dessous du seuil réglé.

III.1.2.6.1. Amplificateur driver UHF de 1 W rms

Le module amplificateur de 1 W est un amplificateur a large bande, composé de deux étages en cascade fournissant un gain de 30 dB. Il incorpore un ventilateur axial propre, fixé directement sur le module qui maintient un refroidissement approprié même si l'amplificateur travaille hors du tiroir de l'excitateur.

Les deux étages en cascade sont de type équilibré et emploient les dispositifs suivants comme éléments actifs dans le circuit principal de RF :

- 2 amplificateurs monolithiques AH101 polarisés a +12V.
- 2 transistors LDMOS PD57006 alimentés a V_{DD} = +28V.

A la sortie, un coupleur prélève un échantillon du signal pour l'envoyer a un détecteur de crête afin d'obtenir un niveau de CC, qui est envoyé a la plaque de FI processeur pour mesurer la puissance de RF fournie par l'émetteur excitateur ou pour fermer la boucle CAG de l'équipement.

Pour faciliter le contrôle de l'amplificateur, un échantillon du signal RF est prélevé a sa sortie par un autre coupleur et envoyé au panneau frontal.

III.1.2.6.2. Amplificateur de 15 W rms

Le module amplificateur UHF de 15 W est un amplificateur a large bande, composé de trois étages en cascade fournissant un gain de 40 dB. Il incorpore un ventilateur axial propre, fixé directement sur le module qui maintient un refroidissement approprié même si l'amplificateur travaille hors du tiroir de l'excitateur.

Les trois étages en cascade sont de type équilibré et emploient les dispositifs suivants comme éléments actifs dans le circuit principal de RF :

- 1 amplificateur monolithique SiGe (HBT) polarisés a +12V.
- 2 amplificateurs monolithiques AH201 (config. Equilibrée) polarisés a +12V.
- 2 transistors LDMOS MRF9045LR1 (config. Equilibrée) alimentés à V_{DD}=28 V.

A la sortie RF de l'amplificateur, il existe trois coupleurs directionnels : l'un est utilisé pour réaliser un échantillonnage de la sortie sur la partie frontal du module.

Le second est employé pour détecter (avec un capteur compensé à diode) le signal direct de sortie. Après détection et amplification, cet échantillon est envoyé aux circuits de protection ROS et aux circuits de commande automatique de gain (situé sur le module de FI).

III.1.2.7. Contrôleur TD

Ce circuit agit comme une interface entre la logique de commande principale du driver de l'émetteur et les microprocesseurs individuels dans les modules.

Il est fondé sur un microcontrôleur générique GEMIC-4 et supervise toutes les fonctions réalisées par l'émetteur excitateur, via un bus RS-485 interne.

La communication avec un équipement externe peut être effectuée via un bus RS-232 ou RS-485. Un dispositif de pontage sur le GEMIC-4 sélectionne le standard utilisé.

Le GEMIC-4 est un microcontrôleur a usage générale et comprend un microprocesseur de type encastré Philips XAS3qui possède des caractéristiques suivantes :

- Mémoire de programme (FLASH) …….....512 Kbytes
- Mémoire volatile de données (Ram) ……....512 Kbytes
- Mémoire non volatile de données (EEPROM) ……....8 Kbytes
- Entrées analogiques (résolution 8 bit) ……8
- Lignes E/S TTL à usage général ……24
- Interfaces de communications synchrones en série……...1(12C)
- Interfaces de communications asynchrones en série……2(RS-485/RS-232)

III.1.2.8. Source d'alimentation de l'excitateur

La source d'alimentation de l'émetteur excitateur est composée d'un convertisseur commuté CC/CC, quand la tension CA est rectifiée. Sa sortie est reliée a un ensemble de convertisseurs commuté CC/CC pour obtenir des tensions de fonctionnement en CC de l'émetteur excitateur.

L'alimentation est équipée d'un filtre de tension d'alimentation ainsi que d'un transformateur d'isolation et d'une protection contre les surtensions et les surpuissances.

III.2. Exploitation du réémetteur

Le réémetteur DVB-T/H 50W (**Figure.III.4)** peut être commandé en hardware en utilisant le module TD contrôle ou en software en utilisant le logiciel *User Console*.

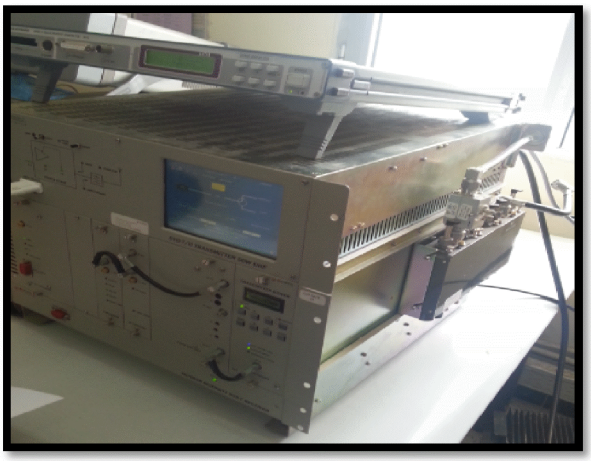


Figure.III.4 : Réémetteur DVB-T-/H 50W

III.2.1. Configuration Hardware

III.2.1.1. Mise en marche de l´équipement

Les étapes nécessaires pour la mise en marche de l'émetteur sont:

- Connecter la sortie coaxiale de RF à l´antenne ou à la charge artificielle de 50 Ω.

- Connecter l´alimentation secteur.

- Situer le contrôle Auto/Man de la Logique de Contrôle en position: Auto

- Actionner la commande "Reset" de la Logique de Contrôle.

- Mettre le commutateur Auto/Man de l'UCA (versions doubles) en position: "Auto"

- Dans l´UCA appuyer sur le bouton: Rearme (réarmement).

- Mettre les contrôles de l'/des Émetteur/s Excitateur/s de la façon suivante:

- Panneau de Contrôle: Led verte REM allumée
- Insérer les signaux « Transport Stream » en format ASI dans les connecteurs prévus à cet effet, qui sont situés sur la face arrière des émetteurs excitateurs.

Dans ces conditions, l´équipement se mettra en marche dès qu´il détectera la présence du signal ASI à l´entrée du réémetteur excitateur en service (**figure.III.5**) ; la Led "Tx ON" de la carte "IF Processor" s´allumera alors, et l'écran du panneau de commande de l'excitateur devra :



Figure.III.5 : Affichage de détection de présence du signal ASI

- Vérifier que la mesure de puissance du réémetteur marque bien le niveau nominal de puissance directe, et une valeur maximum 1/10 du nominal pour la puissance reflétée (**Figure.III.6**).

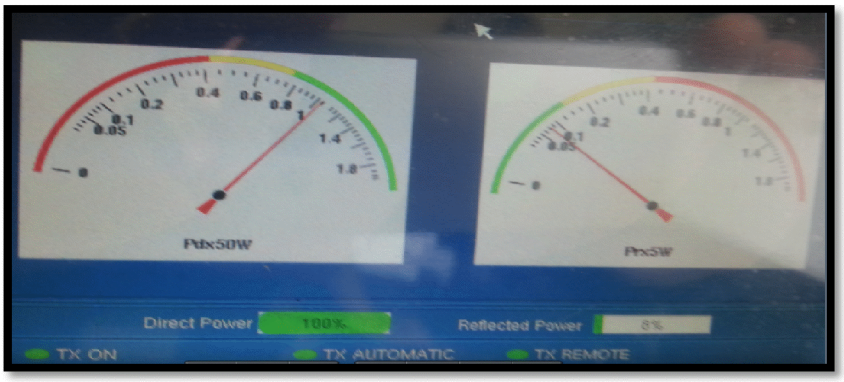


Figure.III.6: Affichage de puissance sur l'écran du réémetteur

III.2.1.2. SIGNALISATIONS

Avec le réémetteur en opération, vérifier que les indications lumineuses à la face avant des modules de l'émetteur excitateur sont :

- Modulateur DVB-T : Éteintes : UNLOCK ; Th
  Allumés : READY (Verte); SERIAL COMM
- Processeur FI : Éteintes : NO INPUT ; PRECORR ON
  Allumés : Tx ON ; AGC ON ; SERIAL COMM
- Convertisseur FI/RF : Éteinte : LO UNLOCK
  Allumé : SERIAL COMM
- Amplificateur: Éteinte : Th
- Panneau Commande: Éteintes : LOC ; MODIFY

Allumés: REM; EXT SERIAL COM; SYSTEM READY

- Vérifier aussi que les tensions mesurées sur la face avant du module amplificateur de puissance sont : Tension V(+) ≈30V.

III.2.1.3. Démarrage et arrêt de l´équipement

Le démarrage de l'émetteur se fait automatiquement en présence du signal ASI d'entrée, en sélectionnant le mode « Distante » à l'aide du bouton LOC/REM du panneau de commande de l'émetteur excitateur (LED verte « REM » allumée). Aussi peut se faire le démarrage et l'arrêt de l'émetteur pour la commande à distance (avec la led verte « REM » allumée) afin de faciliter la télé-supervision.

✓ **Arrêt et Démarrage Manuel**

Si on veut arrêter et démarrer l'équipement manuellement, les étapes à suivre sont les suivant:

- Poussez pendant 1 seconde le bouton LOC/REM dans la face avant du panneau de commande de l'émetteur Excitateur. La Led « LOC » s'allumera en jaune et au même temps la led « MODIFY »s'allumera en rouge.

Arrêt manuel

- Poussez (pendant 1 seconde) le bouton (—) pour arrêter l'émetteur.

Démarrage manuel

- Poussez (pendant 1 seconde) le bouton (+) pour démarrer l'émetteur.

Récupération du mode de commande « Distante »

- Une fois que l'action désirée de démarrage ou arrêt est réalisée, poussez de nouveau le bouton LOC/REM pour récupérer la commande de l'émetteur en mode « Distante » (Led verte « REM » allumée).

III.2.2. Configuration Software

Les paramètres de fonctionnement du réémetteur sont accessibles depuis un PC. Le programme de la console *User Console* doit être installé dans ce PC. Le transfert de données entre le PC et le réémetteur est réalisé en connectant le connecteur de la console locale de la partie frontale du module de la logique de commande au PC via un support RS-232.

Après avoir connecté le réémetteur au PC, ce réémetteur affiche dans la fenêtre du logiciel *User Console* sous la forme d'une structure à arbre sur la gauche. Le niveau de racine de cet arbre correspond à l'équipement dans son ensemble, Les modules opérationnels de l'arbre sont marqués d'un point vert (**Figure.III.7**).

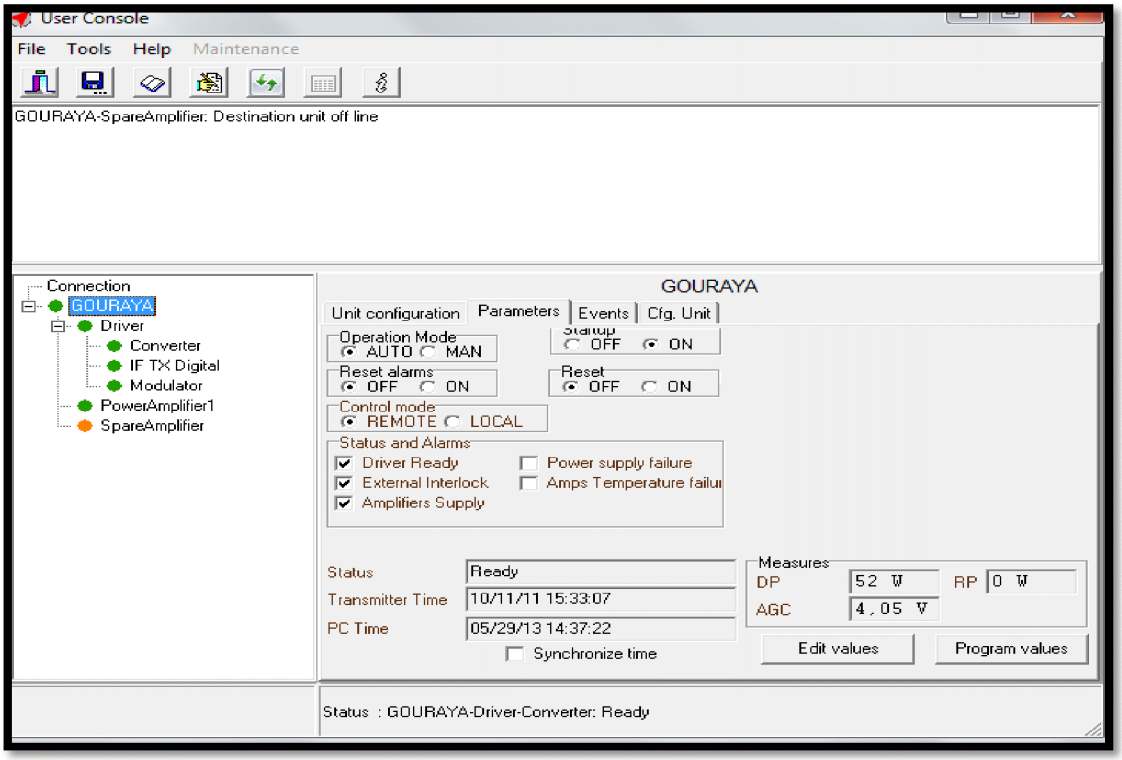


Figure.III.7: Fenêtre de structure a arbre des équipements du réémetteur

L'onglet ''Paramètres'' permet d'accéder aux commandes suivantes :

- Mode de fonctionnement manuel ou automatique (AUTO/MAN).
- Réinitialisation des alarmes (OFF/ON).

Aussi elle nous donne des indications sur l'état du réémetteur, l'heure, et ainsi les mesures de la puissance émise (52 W), la puissance réfléchit (0W) et la tension CAG (AGC : 4.05 V). Si un des modules opérationnels est sélectionné en utilisant la souris, ses caractéristiques techniques et ses paramètres s'affichent, ce qui permet de les configurer.

III.2.2.1. Configuration du Modulateur

On sélectionnant le modulateur (Modulator) et en suite on choisie *Unit configuration 2* on aura la fenêtre de la figure, dont on pourra configurer les paramètres suivants (**figure.III.8**):

- Sélectionner laquelle des deux entrées ASI est la principale (Input A : ASI 1).
- Sélectionner l'intervalle de garde (Guard interval : 1/32).
- Sélectionner le débit du code (poinçonnage) pour HP (code rate HP : 7/8).
- Sélectionner le mode de transmission (IFFT mode : 8K).
- Sélectionner la Constellation de modulation (Constellation : 64 QAM).
- Sélectionner largeur de bande du canal (Bandwidth : 8 MHz).

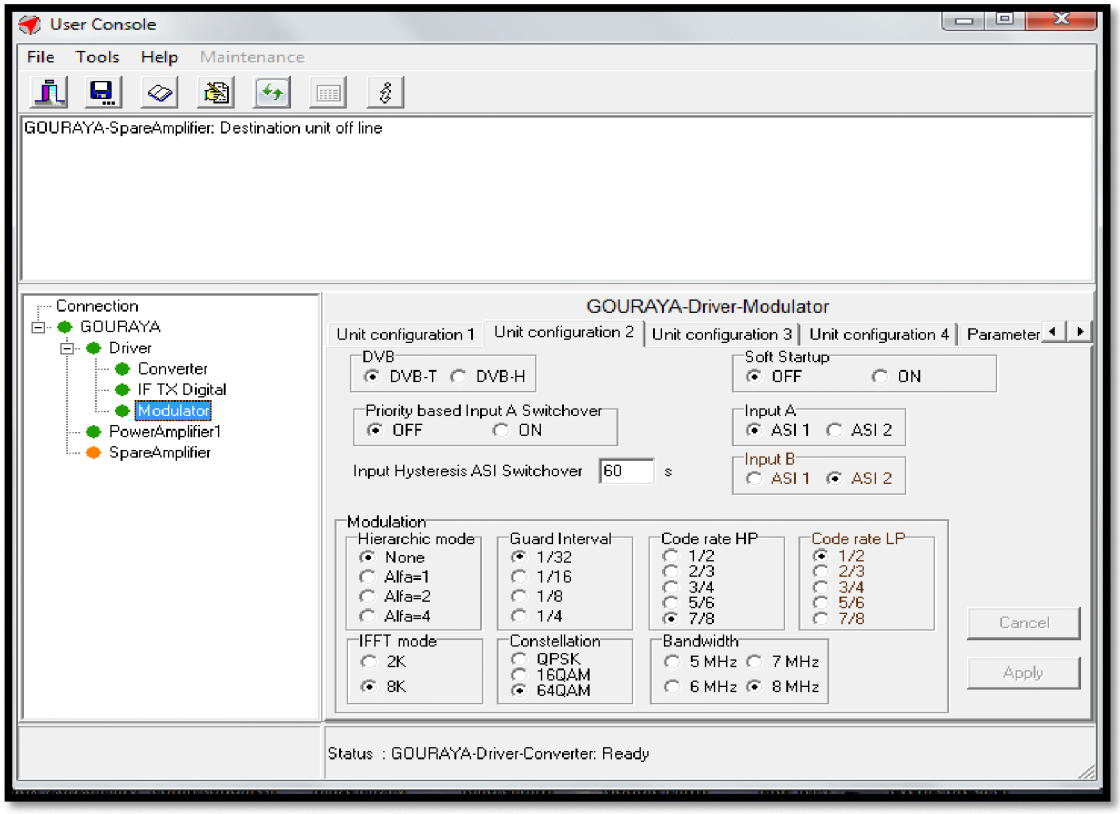


Figure.III.8 : Fenêtre de configuration du modulateur.

III.2.2.2. Configuration du Processeur FI

En sélectionnant le processeur FI (IF TX Digital) et en choisissant Paramètres, on aura les paramètres du processeur FI (**Figure.III.9**) qui sont réglés automatiquement comme suit :

- Débit de l'entré du processeur (IF input.level : 0.19 dBm).
- Débit de l'énergie de sortie du processeur (IF output power : -6.88 dBm).
- Tension de contrôle de l'atténuateur variable de la boucle de CAG (AGC voltage : 4.41 V).
- Tension de contrôle de la boucle de CAG du signal de FI (VDFI voltage : 4.43 V).
- Tension de contrôle de la boucle de CAG du signal de RF (VDTX voltage : 4.50 V).

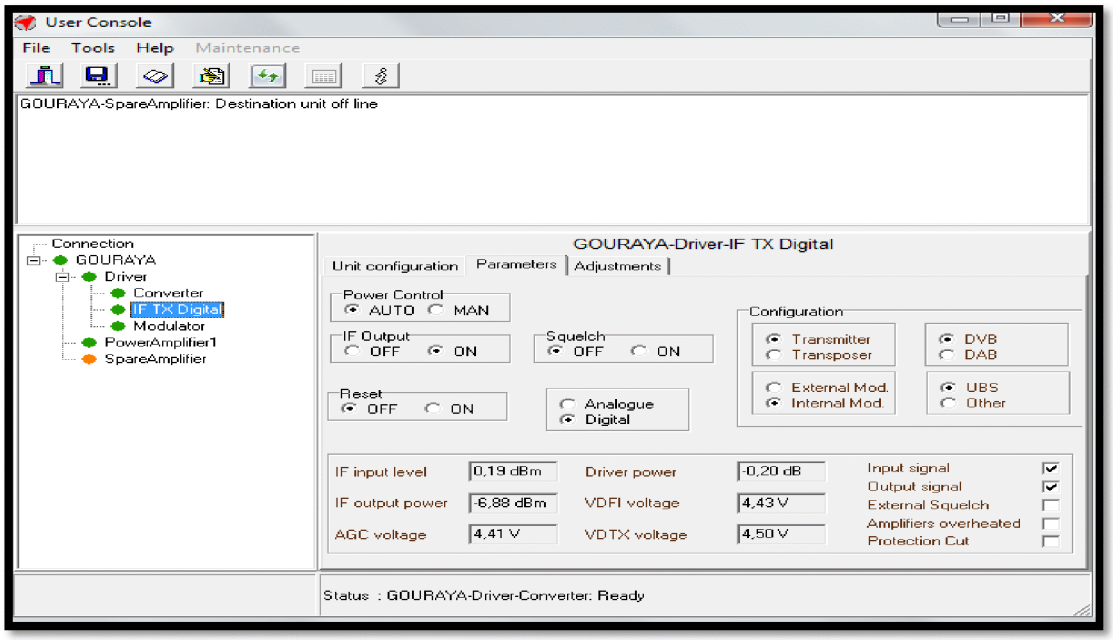


Figure.III.9 : Fenêtre de configuration du Processeur FI.

III.2.2.3. Configuration du Convertisseur FI-RF

En sélectionnant le Convertisseur FI-RF (converter) et en choisissant *Parameters*, on aura les paramètres du Convertisseur FI-RF (**Figure.III.10**) qui sont réglés automatiquement comme suite :

- Numéro du canal de transmission (Channel : 37).
- Tension de contrôle de VCO (PLL) (PLLCV : 3.70 V).

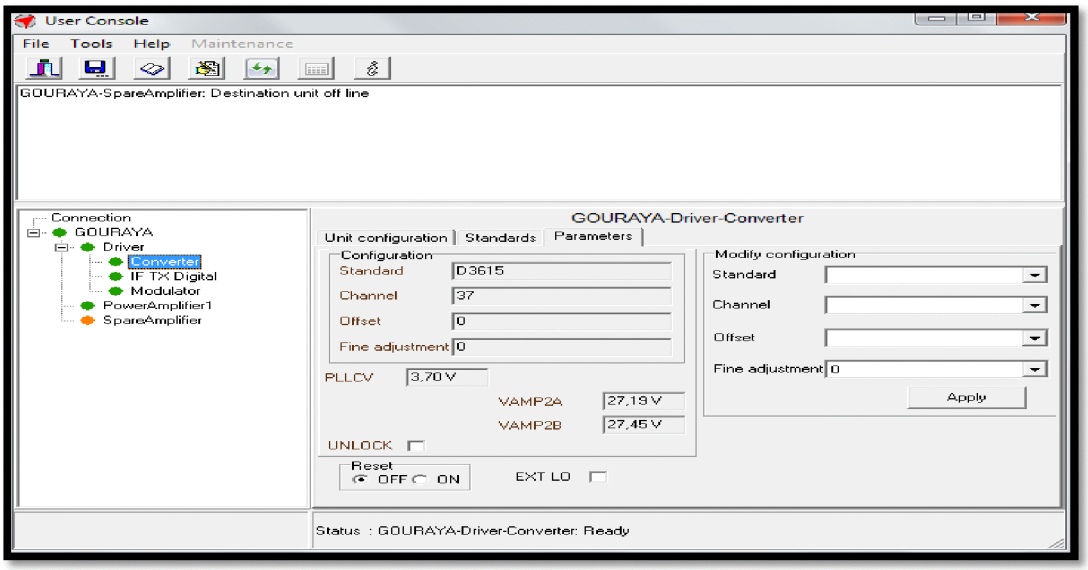


Figure.III.10 : Fenêtre de configuration du Convertisseur FI-RF

III.2.2.4. Configuration de l'Amplificateur

En sélectionnant l'Amplificateur (power Amplifier 1) et en choisissant Paramètres, on aura les paramètres de l'Amplificateur (**Figure.III.11**) qui sont réglés automatiquement comme suite :

- Température le l'amplificateur (Temps S1: 56.2 °C).
- Tension de polarisation des transistors de l'amplificateur (VPA1 : 30.4 V), et l'ampérage (ICPA1 : 7.5 A).

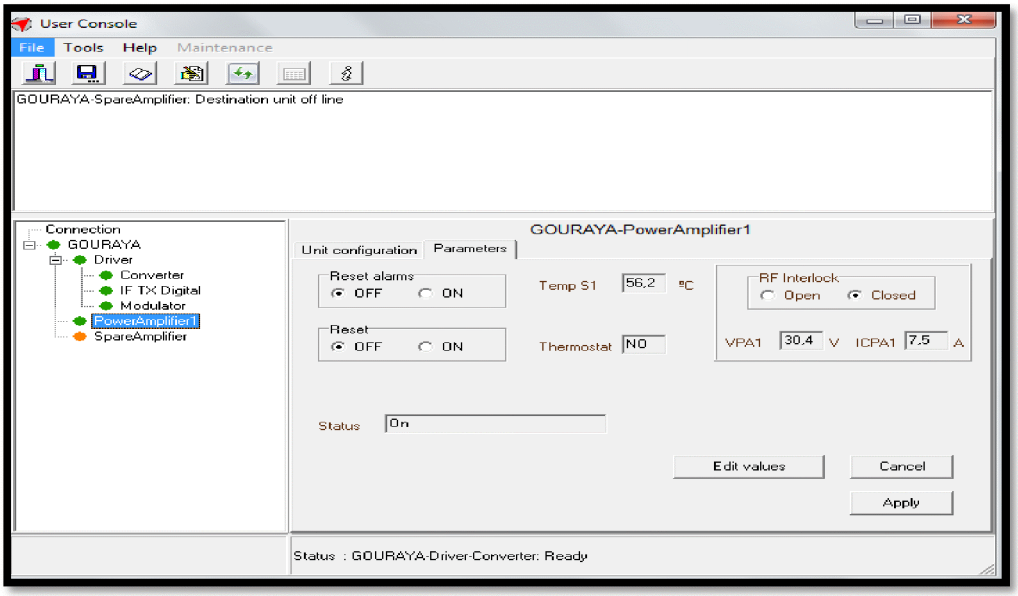


Figure.III.11: Fenêtre de configuration de l'Amplificateur

III.3. Récepteur DVB-T/H Avec Diversité D'antenne (RDV-1000)

III.3.1. Description

- Le RDV-1000 est un récepteur DVB-T/H professionnel, spécialement conçu pour travailler dans des environnements de réception faciles.
- Le RDV-1000 met à profit la diversité d'espace fournie par ses deux démodulateurs couplés à deux antennes **indépendantes** pour fournir une réception fiable même dans les pires situations de RF des sites de transmission, des véhicules munis d'un équipement léger de tournage (ENG) ou des applications mobiles.
- La taille compacte du Le RDV-1000 permet de l'intégrer facilement dans des transmetteurs DVB-T, des systèmes de monitorisation ou des équipements ENG.

III.3.2. Caractéristiques-clé

- Le récepteur DVB-T avec diversité d'antenne respecte la norme ETS 300744.
- Il supporte tous les modes DVB-T
- Canal RF de 6.7 et 8 MHz RF en bande VHF III ou bande UHF IV et V.
- 4 modes de fonctionnement :
  - Canal double.
  - Diversité d'antenne.
  - Démodulation hiérarchique (démodulation LP et HP).
  - Récepteur redondant.
- Fonctions de monitorisation (MER, niveau RF, C/ N+1…).
- Correction automatique de la fréquence de ±350 KHz.
- Contrôle et monitorisation par port RS232 ou RS485.
- Taille compacte.
- Alimentation unique 12V.

III.3.3. Spécifications

- Entrée de RF
  - Bande VHF III (canal 5 à 12) et bande UHF IV et V (canal 21 à 69).
  - Canal de RF de 6.7 et 8 MHz.
  - Niveau d'entrée minimum : < -92 dBm (pour QPSK-CR 2/3 avec BER=2.10^{-4}).
- Démodulateur
  - Emploi d'une puce DIBCOM, optimisée pour les canaux difficiles.
  - Tout les modes DVB-T sont supportés, même les hiérarchiques.
- Modes de fonctionnement
  - Canal double : le module est employé comme récepteur double fonctionnement de manière indépendante.
  - Diversité d'antenne : les 2 démodulateurs sont en cascade, offrant ensemble une amélioration d'environ 6 dB et doublant la vitesse limite maximum de réception.
  - Hiérarchique : le module démodule simultanément les flux de données LP et HP.
  - Redondant : le module démodule 2 canaux de RF et permet de sélectionner manuellement ou automatiquement le meilleur canal de réception.
- Sortie MPEG-TS
  - 2 sorties ASI pour référence RXT0 (respectant la norme EN50083-9).
  - 1 sortie SPI (interface parallèle en parallèle de MPEG-TS) pour la référence RXT1.
- Contrôle et monitorisation
  - Port de contrôle RS232 et RS485 avec protocole ASCII.

- Physique
  - Tenson d'alimentation : 12 Vcc ou 220 Vac.
  - Boitier interne en aluminium compact avec une résistance thermique très faible.
  - Plage de température de fonctionnement : de 0° C à 50° C.

III.3.4. Version

- Récepteur DVB-T modèle RDV-1010 à canal unique, sortie ASI.
- Récepteur DVB-T modèle RDV-1020 avec diversité d'antenne, sortie AS.

Connecteurs

- Entrée 1 de RF, Entrée 2 de RF : 75 Ω 'F' femelle.
- Sortie 1 ASI, Sortie 2 ASI : 75 Ω BNC femelle.
- RS232 : sub-D, 9 contacts.

III.4. Simulation avec le logiciel MATLAB

Dans cette partie du travail on a élaboré une simulation avec le simulink du logiciel MATLAB dont le schéma block est le suivant

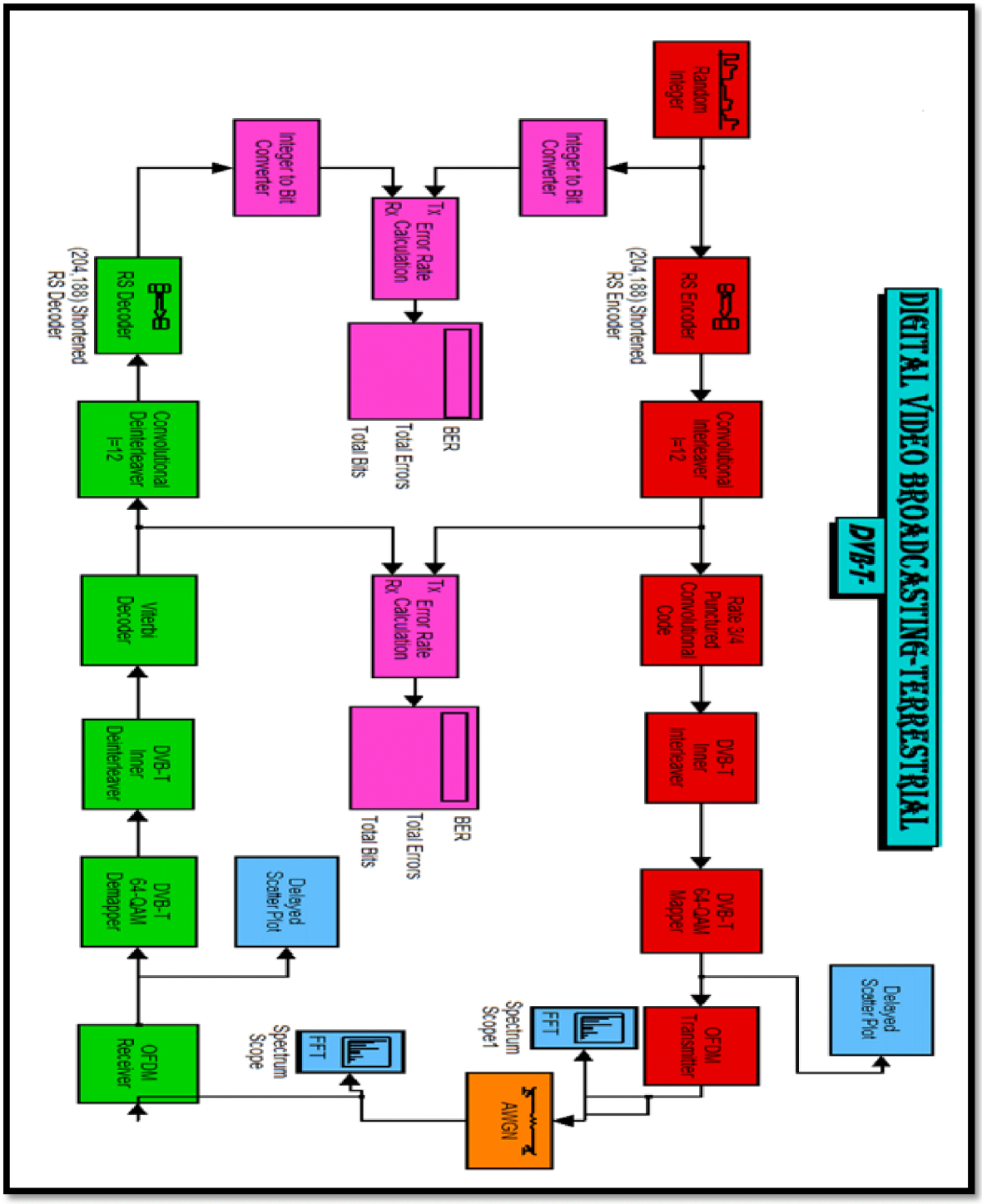


Figure. III.12: Schéma block de la simulation MATLAB

Notre simulation consiste à évaluer un système d'émission-réception DVB-T, dont les blocs rouges constituent la chaine d'émission qui est composée de:

- L'entré du système définie par le bloc **Random Integer** qui est un générateur de nombres entiers.
- **RS Encoder** qui effectue le codage RS (204, 188, T=8).
- **Convolutional Interleaver** qui sert à effectuer l'entrelacement externe au codage RS.
- **Rate ¾ Punctured Convolutional** Code qui effectue le codage convolutif interne ainsi que le poinçonnage de l'ordre de ¾.
- **Inner Interleaver** qui sert à effectuer l'entrelacement interne au codage convolutif.
- **64-QAM Mapper** qui fait la modulation 64-QAM.
- **OFDM Transmitter** qui fait la modulation OFDM.

Et les blocs en verts représentent la chaine de réception qui est composée de :

- **OFDM Receiver** qui effectue la demodulation OFDM.
- **64-QAM Demapper** qui utilise la demodulation QAM.
- **Inner Deinterleaver** qui effectue le déentrelacement interne.
- **Viterbi Decoder** qui fait le décodage du codage covolutif.
- **Convolutional Deinterleaver** qui fait le déentrelacement externe.
- **RS Decoder** qui fait le decodage RS (204, 188, T=8).

On dispose d'un block **AWGN** qui relie les deux chaines émission et réception, et qui introduit un bruit gaussien au signal transmis. Aussi on a des blocks d'affichage de résultats :

- Analyseur de spectre (**spectrum scope 1**) pour afficher le spectre du signal émie et reçoit.
- **Delayed Scatter Plot** pour afficher les diagrammes de constellations des modulations QAM émise et reçoive.
- **Display** pour affiche les calcules d'erreurs entre le signal codé en émission et le signal décodé en réception.

III.5. Résultats de simulation

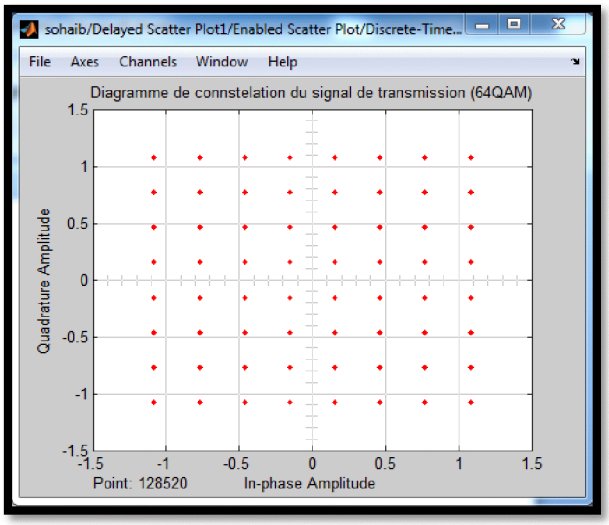


Figure.III.13 : Diagramme de constellation (64-QAM) transmit.

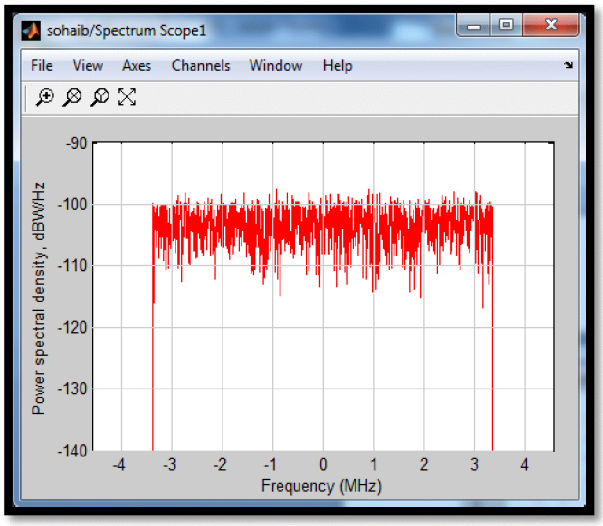


Figure.III.14: Spectre de signal transmit

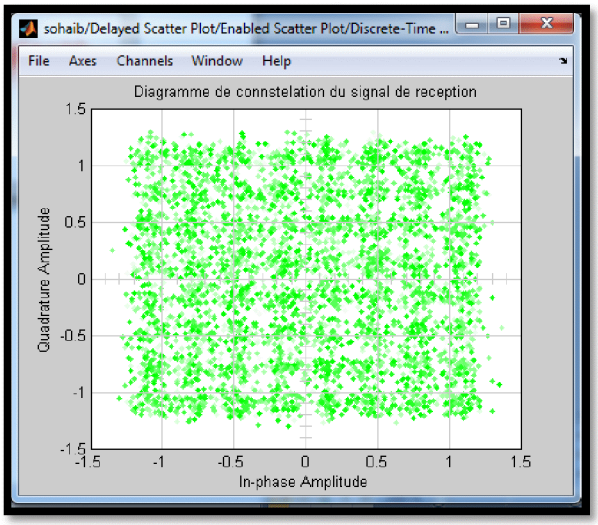


Figure.III.15: Diagramme de constellation (64-QAM) reçu

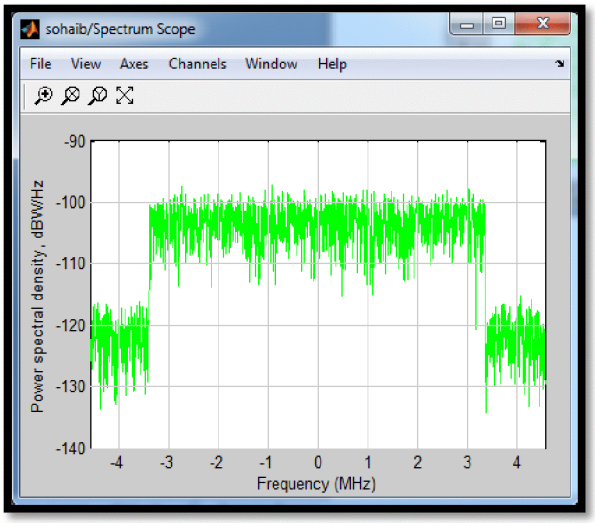


Figure.III.16: Spectre du signal reçu

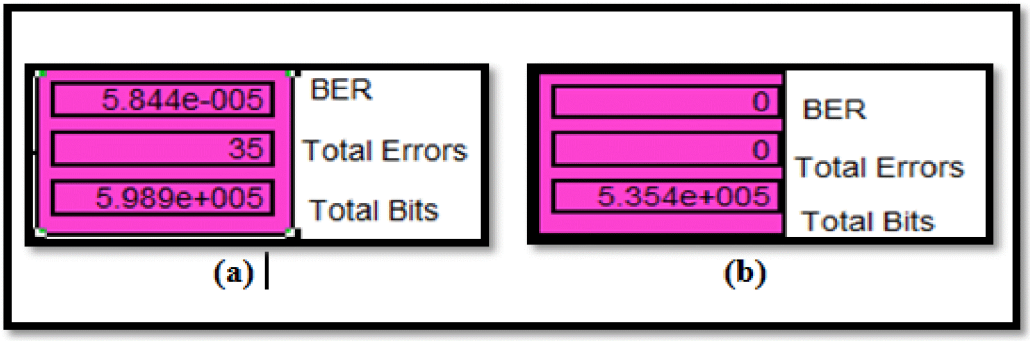


Figure.III.17: résultats de calcules d'erreurs.

D' après les résultats obtenus en simulation on remarque que le diagramme de constellation de l'émission est différent a celle de réception est cela du a cause du bruit lors de la transmission.

Aussi le spectre du signal reçu a en plus des ondulations au début et à la fin qu'au spectre du signal émie est cela est due à cause du bruit et à la transmission d'autre signaux aux canaux adjacent.

On remarque qu'après le décodeur Viterbe un totale d'erreur de 35 erreurs avec un taux d'erreur (BER) de $5.844^{\times} 10^{-5}$, au niveau de la sortie du décodeur RS en remarque que la totale erreur et le taux d'erreurs sont nuls c'est-à-dire que notre signal a été bien protégé et qu'on a récupère le même signal d'entré.

La simulation nous a permis d'observer l'effet du bruit de canal sur le signal d'émission, ainsi que le calcule d'erreur de codage entre l'émission et la réception qui confirme que le codage a bien assuré la protection de notre signal.

III.6. Démonstration pratique:

Suite à l'installation du Réémetteur TNT de Baloua, **canal 33** avec une **bande TV IV et V**.

Nous avons procédé ainsi :

- Nous avons bronché un **Décodeur TNT** mobile (USB)
- Ensuite une **antenne passive** (antérieure/extérieure) mobile qui est liée à ce dernier
- Nous avons introduit la fréquence **560 MHz** à base d'un logiciel « **BLAZE HDTV DELUXE 4.0** »
- Enfin, on a pu recevoir un bouquet numérique qui contient les 6 programmes algériens.

Ainsi s'achevait notre tache qui consiste à rassembler en un seul canal analogique les 6 programmes algériens avec une qualité d'image meilleure.

III.7. Conclusion

Nous avons acquis une expérience pratique on manipulant le réémetteur cité dans ce chapitre ainsi l'utilisation de nos connaissances théorique sur terrain. La simulation nous a permis d'observer l'effet du bruit de canal sur le signal d'émission, ainsi que le calcule d'erreur de codage entre l'émission et la réception qui confirme que le codage a bien assuré la protection de notre signal.

Les spécificités de ce réémetteur ont montré la simplicité de sa maintenance et de son exploitation.

Conclusion Générale

La télévision numérique n'est plus dans le domaine du futur, elle est maintenant une réalité dans le monde.

Notre stage dans le milieu professionnel nous a permis d'avoir une vision globale sur ce que sera demain notre réseau de transmission et de diffusion numérique terrestre de la télévision destiné et aussi d'acquérir des connaissances dans le domaine de la télécommunication, de réaliser notre projet qui consiste à étudier la nouvelle technologie de diffusion hertzienne numérique. Pour cela, on a fait une étude théorique sur la numérisation, la compression MPEG des signaux Audio-Vidéo, le multiplexage des données et des programmes et les techniques de modulation numérique utilisées lors de la transmission.

Ensuite, nous avons consacré notre travail sur le système DVB-T, qui a donné une solution efficace au problème des échos et des interférences, qui a permis d'assurer les techniques de codage correcteur d'erreurs et d'obtenir des résultats exceptionnels grâce à la modulation COFDM.

Par la suite, nous avons effectué une configuration hardware et software d'un réémetteur BTESA DVB-T/H 50W UHF en utilisant le logiciel *User Console* qui nous a permis d'apprendre plus sur les fonctionnalités du système.

Enfin, nous avons simulé le codage correcteur d'erreur et la modulation COFDM dans une chaine d'émission-réception DVB-T en utilisant le logiciel MATLAB.

Annexe

Le modèle psychoacoustique

Les modèles psychoacoustiques essaient de décrire la manière dont une personne perçoit les sons.

Ces modèles sont utilisés dans l'algorithme de compression MPEG-1 afin de déterminer avec quelle résolution les différentes données présentes dans le signal audio doivent être codées. Les données perçues avec une grande précision par le système auditif humain seront affectées d'un nombre de bits plus importants que les données moins perceptibles.

Par exemple, la bande de fréquences 1000-3000Hz correspond à la zone de plus grande sensibilité de l'oreille. Toute modification du son dans cette zone du spectre peut être préjudiciable car l'auditeur y sera très sensible.

Il existe plusieurs modèles psycho acoustiques comme MUSICAM3 ou l'AT&T 4. Ils sont appliqués selon le type de données audio à compresser et le débit en sortie recherché. Par exemple, les codages d'une voix seule ou d'un orchestre symphonique reposent sur des modèles différents.

HF

Le qualificatif de haute fréquence possède un sens légèrement différent selon le domaine auquel il s'adresse.

- En radiocommunication, et ce sera le sens développé dans cet article, le domaine des « hautes fréquences » (« *High Frequencies* » en anglais, abrégé en HF), désigne les ondes radio dont la fréquence est comprise entre **3 MHz et 30 MHz**. Elles sont également appelées « ondes décamétriques » et « ondes courtes », c'est-à-dire que leur longueur d'onde est comprise entre 10 et 100 mètres.
- En électronique, les signaux de haute fréquence sont ceux dont la fréquence est au-delà de l'audiofréquence. On lui substitue souvent le terme de « radiofréquence »
- En acoustique, le terme haut fréquence désigne les sons de 4 kHz à 20 kHz.

VHF

VHF est la gamme UIT-indiquée des ondes électromagnétiques de radiofréquence de **30 à 300 MHz**. Les fréquences immédiatement au-dessous du VHF sont des fréquences notées (HF). Les utilisations communes pour le VHF sont la radiodiffusion par radio de FM, émission télévisée, débarquent les stations mobiles (urgence, affaires, militaires privés d'utiliser), le long terme de transmission de données jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres avec les modems par radio, les communications par radio et marines d'amateur. Les communications de contrôle du trafic aérien et les systèmes de navigation aérienne (par exemple Vor, télémètre radar) fonctionnent aux distances de 100 kilomètres ou de plus aux avions à l'altitude de croisière.

UHF

La bande UHF est le terme officiel désignant les fréquences de **300 à 3 000 MHz**, mais la partie haute appartient plus généralement au domaine technique des « hyperfréquences » qui s'étend de 1 GHz (1 000 MHz) à 1 000 GHz. L'UHF est connu par le grand public pour les antennes TV dites "râteau" et d'intérieur, servant à capter la TNT entre 470 et 790 MHz.

PDH

La **hiérarchie numérique plésiochrone** ou PDH (en anglais *Plesiochronous Digital Hierarchy*) est une technologie utilisée dans les réseaux de télécommunications afin de véhiculer les voies téléphoniques numérisées. Le terme « plésiochrone » vient du grec *plesio* (proche) et *chronos* (temps) et reflète le fait que les réseaux PDH utilisent des éléments pratiquement mais non parfaitement synchronisés : ils ont un même débit nominal pour toutes les artères du même type mais ce débit diffère légèrement en fonction de l'horloge de traitement local. Les versions européennes et américaines du système diffèrent légèrement mais reposent sur le même principe.

SDH

La **hiérarchie numérique synchrone** ou **SDH** (en anglais *Synchronous Digital Hierarchy*) est un ensemble de protocoles pour la transmission de données numériques à haut débit. Par ailleurs, la SDH constitue la troisième génération de la hiérarchie de multiplexage des infrastructures des opérateurs où elle succède à la PDH : (E1 (2 Mbit/s), E2 (8 Mbit/s), E3 (34 Mbit/s) etc. en Europe, T1 (1,5 Mbit/s), T2 (6 Mbit/s), T3 (45 Mbit/s) etc. aux États-Unis), Ses débits sont appelés STM-1 avec le STM-1 égal à 155,52 Mbit/s. STM signifie Synchronous Transport Module. Le STM-4 correspond à un débit de 622 Mbit/s, le STM-16 correspond à un débit de 2,5 Gbit/s et le STM-64 correspond à un débit de 10 Gbit/s.

Les redondances

- **La redondance subjective :** il est inutile de codé les détails fins que l'œil ne voit pas.
- **La redondance statique :** on utilise des traitements purement informatiques qui exploitent par exemple les similitudes dans les suites de valeurs numériques.

Modes de transmission des données

- **Mode simulcast**

Le contenu des flux HP et LP est le même. Le flux LP conduit à une meilleure qualité (débit utile élevé), mais nécessite de meilleures conditions de réception (faible protection). Le récepteur est capable de décoder le flux binaire le plus intéressant (HP ou LP). Tout dépend des conditions de réception et d'installation de l'antenne.

- **Mode non simulcast (multiprogramme)**

Le flux bas priorité peut contenir un ou plusieurs programmes complètement différents de ceux présents dans le flux haut priorité. Ce qui permet au récepteur fixe qui décode le flux LP d'obtenir des programmes supplémentaires par rapport au récepteur portable et mobile qui décode le flux HP. Les performances du système dans le mode multiprogramme sont semblables à celles obtenues en mode simulcast

Code de VITERBI

Le Code de Viterbi (Code Rate) est symbolisé par une fraction. C'est un code convolutif qui permet de lier un bit à un ou plusieurs bits précédents de sorte à pouvoir retrouver sa valeur en cas de problème. La fraction définit, dans un débit symbole donné, le rapport entre les données signal et les informations de corrections d'erreurs.

Exemple 2/3 :

Dans ce cas, les 2/3 des symboles sont utilisés pour transmettre les données signal TV… et les 1/3 pour transmettre les informations de sécurisation de la diffusion.

DVB-H (Digital Video Broadcasting- H handhelds)

Le « H » signifie « handheld », pour les récepteurs que l'on peut tenir à la main. Le DVB-H représente une évolution de la norme DVB-T, qui permet la retransmission de service multimédia, et spécialement celle des programmes numériques de radiodiffusion vers des terminaux mobiles et/ou portables.

A l'aide de la compression en MPEG-4 d'une résolution moins élevée et d'un taux de données plus faible qu'en DVB-T, le DVB-H est mieux adapté pour la réception mobile. Tandis que le DVB-H permet la retransmission de quatre programmes par canal, le DVB-H en permet 10 fois plus.

Une modulation 4K a été introduite. Ce mode optionnel permet un compromis entre le mode 2K du DVB-T (vitesse élevée possible, mais zone de couverture réduite) et le mode 8K (vitesse plus faible, pour une couverture plus grande).

La compression des signaux audio et vidéo, la constitution des multiplex et l'embrouillage sont communs à tous les supports de diffusion (terrestre, câble, satellite). Il n'y a que les techniques de diffusion qui sont spécifiquement adaptées.

Le standard DVB-H a été développée pour répondre aux besoins et aux capacités des téléphones mobiles qui sont limités à cause de la taille réduite du mobile, contrairement au cas de DVB-T, où on dispose des équipements suffisants (télévision, antenne,…).

Cela s'explique par l'encapsulation des données du standard DVB-H dans des paquets DVB-T comme l'indique la figure suivante:

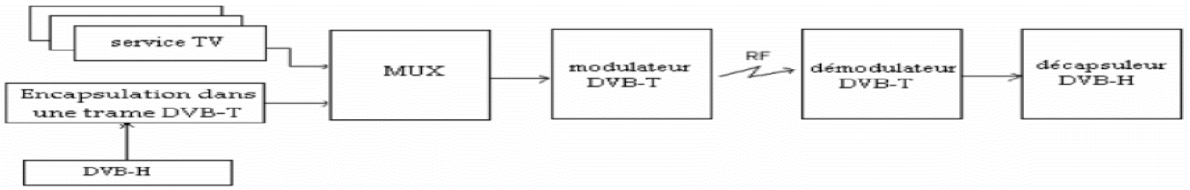


Figure. II.23 : Encapsulation de l'information DVB-H en DVB-T

DVB-TXT

Encapsulation MPEG-2 pour les données télétexte. En plus le groupe DVB ayant rajouté la couche DVB-SI (système d'information de service, qui permet à l'utilisateur de naviguer a travers le monde DVB) qui identifie ces paquets, tout type de données numérisées peut être transporté et interprété. Le standard proposé présente les avantages suivants :

Ouvert: les standards accessibles par tous les utilisateurs.

Interopérable: un appareil confirme au standards, s'adapte sans problème au réseau.

Flexible: le transport du données est basé sur le standard MPEG-2, celui-ci capsule en paquet ces données.

Glossaire

[A]

AAC: Automatique Audio Coding
ACM: Adaptive Coding and Modulation
ADSL: Asymetric Digital Suscriber Line
AGC: Contrôle de Gain Automatique
APSK: Amplitude Phase Shift Keying (modulation)
ASBU : Union des radios télévisions arabes
ASI: Interface Série Asynchrone
AWGN: Additive White Gaussian Noise

[B]

BCH: Bose Chaudhuri Hochquenghem
BER: Bite Error Rate
BOC: Buffer Occupation Control
BPSK: Binary Phase Shift Keying (modulation)

[C]

CA: Commutateur Automatique
CABAC: Context-adaptive binary arithmetic coding
CAN: Convertisseur Analogique Numérique
CAVLC: Context-adaptive variable-length coding
CC: Commutateur Contrôle
C.C.I.R : Commutée Consultatif International Radios Diffuseurs
CCM: Continued Coding Modulation
CCSK: Cyclic Code Shift Keying
CDM: Code Division Multiplexing
CDMA: Code Division Multiple Access
CNA: Convertisseur Numérique Analogique
COFDM: Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex
CSA: Conseil Supérieur de L'Audiovisuel

[D]

DAB: Digital Audio Broadcasting
DCT: Discrete Cosine Transform
DSP: Densité Spectrale de Puissance
DVB: Digital Video Broadcasting
DVB-S: Digital Video Broadcasting-Satellite
DVB-DSNG: DVB, Digital Satellite News Gathering
DVB-C: Digital Video Broadcasting-Câble

DVB-T: Digital Vidéo Broadcasting-Terrestrial
DVB-TXT: Digital Vidéo Broadcasting-Teletext
DVB-ISC: Digital Vidéo Broadcasting-Interactive Services
DVB-MHP: Digital Vidéo Broadcasting- Engine of Interactivity
DVB-H: Digital Video Broadcasting; Transmission System for Handheld Terminals
DVB-S: Digital Video Broadcasting by Satellite - première génération
DVB-S2: Digital Video Broadcasting by Satellite - deuxième génération
DVB-SH: Digital Video Broadcasting for Satellite services to handheld devices

[E]

ENG : Equipement Léger de Tournage
ENTD: Entreprise Nationale Télédiffusion
ES : Elementary Stream : Train binaire élémentaire
ETSI: Europe Transport System International

[F]

FDM: Frequency Shift Keying (modulation)
FEC: Forward Error Correction (correcteur d'erreur)
FFT: Fast Fourier Transform
FH: Faisceaux Hertziens
FI: Frequency Intermediate
FR: Fréquence de Réception

[G]

GOP: Groupe of Picture
GSD: Generalized Sphere Decoding
GPS: Globle Position System

[H]

HD: High Definition
HDTV: Haute Definition TV
HF: Haute Fréquence
HP: High Power Amplifier
HP: High Priority

[I]

IBO: Input Back-Off
IEC: International Electrotechnical Commission
IES : Interférence Entre Symboles
ISO: International Standards Organisation

IFFT: Inverse Fast Fourier Transform
IP: Internet Protocol

[J]

JPEG: Joint Photographic Experts Group

[L]

LDPC: Low Density Parity Coding
LP: Low Priority

[M]

MAQ: Modulation amplitude quadrature
MDCT: Modified Discrete Cosine Transform
MDP: Modulation par Déplacement de Phase
MER: Modulation Erreur Rate (Rapport d'Erreur de Modulation)
MIC: Modulation d'Impulsion Codée
MFN : Multiple Frequency Network: Réseau à fréquences multiples
M- JPEG: Motion-Joint Photographic Experts Group
MPEG: Motion Picture Expert Group
MPTS : Multiple Program Transport Stream : Train numérique composant un multiplex
MRT : Multiplexage à Répartition dans le Temps

[N]

NRZ: No Return to Zero
NTSC: National Television System Committee

[O]

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OLE: Oscillator Local Emitter

[P]

PAL: Phase Alternating Line
PAPR: Peak to Average Power Ratio
PCM: Puls Coding Modulation
PCR: Program Clock Reference
PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy
PES: Packetized Elementary Stream : Train élémentaire MPEG sous forme de parquets
PID: Paquet Identifier
PN: Pseudo Noise
PPM: Partie Par Million

PPS : Partie Par Seconde
PRBS: Séquence Binaire Pseudo Aléatoire
PS: Program Stream
PSK: Phase Shift Keying (modulation)

[Q]

QAM: Quadrature Amplitude Modulation
QEF: Quasi Error Free
QOS: Quasi Of Signal
QPSK: Quaternary Phase Shift Keying

[R]

RGB: Rouge, Green and Bleu
RSB: Reed Solomon Binary
RLC: Run Length Coding
RLE: Run Length Encoding
RS: Notation abrégée du codage de Reed-Solomon

[S]

SD: Standard Definition
SDH: Synchronous Digital Hierarchy
SDI: Signal Digital Interface
SECAM: Séquentiel Couleur à Mémoire
SFN: Single Frequency Network : réseau à fréquence unique
SND: Synthèse Numérique Directe
SNR: Signal Noise Rate
SONET: Synchronous Optical Network
SPTS: Single Program Transport Stream
SW: Switch

[T]

TD: Transmitter Driver
TDA: Télé Diffusion d'Algérie
TDM: Time Division Multiplexing
TEB: Taux d'Erreur Binaire
TFS: Transport Full System
TNT: Télévision Numérique Terrestre
TPS: Transport Program Stream
TS: Transport Stream
TWTA: Travelling Wave Tube Amplifier

[U]

UAR : Union Africaines Radios
UER : Union Européenne de Radiodiffusion
UHF: Ultra High Frequency
UIT: l'Union Internationale de Télécommunications
URTNA : Union des Radios Télévisions Nationales Africaines
UCA : Unité de Commande Automatique

[V]

VCM: Variable Coding Modulation
VCO: Voltage Control Oscillateur
VHF: Very High Frequency
VLC : Codage à Longueur de Variable

Références Bibliographique

Livre bleu A122 de DVB ou en 302755 v1.2.1 de l'ETSI;

[1] Directives de l'exécution DVB-T2 pour un système terrestre numérique d'émission télévisée de deuxième génération (DVB-T2)'.

Livre bleu A133 ou ETSI TR 102831 de DVB

[2] Spécifications DVB-C2 : Codage et modulation de canal de structure de vue pour un système de transmission numérique de deuxième génération pour des systèmes de câble.

« Télévision Numérique Terrestre »

[3] Bernard Denis-Laroque, Ed DONUD, 2005.

« ALGERIA BROADCAST »,

[4] magazine trimestriel de TDA.

«Métrologie DVB »

[5] Formation de fin de stage : Télédiffusion d'Algérie ; formaton TNT 2006.

« Emetteur DVB-T/H 50 W UHF; Série BTD »

[6] BTESA, Broad Telecom S.A, Parque Leganés Tecnológico – 28918 Madrid ESPAGNE

« Tichniques de compression d'image »

[7] Livre de professeur BOUKELIF Aoued (Office des publications universitaires. 2004)

« Etude sur les norme MPEG-2 et MPEG-4 dans les réseau audiovisuel de la TDA »

[8] Diplôme de post GRADUATION Spécialisée en Réseau et Télécom ''Ecole Militaire Polytechnique''. 2004

« Etude et conception d'une Plate-Forme de diffusion d'un Bouquet Numérique TV & Radio par Satellite »

[9] Mémoire de Fin d'etudes en vue de l'Obtention du Diplome ,d'Ingénieur d'Etat en Electronique, option Communication 2011.

« Télévision Nimérique Terrestre »

[10] Diplôme de technicien supérieur en électronique audio visuel ; option Maintenance ;2009

« Documentation et publication del'audiovisuel»

[11] Institut National de L'audiovisuel (Paris), 2004- 2005

Site internet

www.sndl.dz

[12] Technique d'ingénieure

www.google.com

[13] mémoire en ligne

www.filecrop.com

www.tdf.fr