

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة

Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك

Département d'Électronique



## Mémoire de Master

Mention électronique

Spécialité Réseaux et Télécommunications

présenté par

Remmide Ayoub & Bouregaa Boubaker

---

# Configuration et paramétrage d'une station terrienne DVB-S/DVB-S2 pour la distribution TV et Radio

---

Proposé par : Aissat Abdelkader & Bestam Rachid

Année Universitaire 2016-2017

## Remerciements

---

*Au terme de cette étude, nous tenons à présenter nos sincères remerciements au bon dieu de nous avoir accordé la connaissance de la science et de nous avoir aidé à réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer nos respectueux remerciements à **M. Bestam Rachid** chef de centre de Téléport de Bouchaoui Pour leur aide, ainsi que leur entière disponibilité Pendant le suivi du stage et toute l'équipe technique de la station de BOUCHAOUI pour l'aide précieuse.*

*Un remerciement particulier à **M. Abdi Azzeddine, Alilat Samir, Ouldji Hamza, Mustapha, Toufik** pour avoir mis à notre disposition leurs savoirs et leurs aides et l'effort qu'ils ont fourni tout au long du déroulement du stage.*

Nos remerciements vont aussi à monsieur **Aissat Abdelkader**, professeur à l'université de Blida pour ses précieux conseils, et sa disponibilité.

*Que ceux qui ont contribué de pré ou de loin à la réalisation de ce mémoire, trouveront de notre plus profond remerciement.*

---

**ملخص:** في اطروحتنا، قمنا بدراسة مفصلة حول حلقة بث الفيديو الرقمي عبر الأقمار الصناعية، بملاحظة تأثير الضغط على فيديو يحتوي حركة كثيرة واخر قليل الحركة بواسطة معياري مجموعة تحريك الصور MPEG2, MPEG4, وبتحديد عتبة الضغط لكل من الحالات. اضافة لهذا، اجرينا اختبارات الجودة وذلك عبر القيام بعدة قياسات بعد إجراء تعديلات على عدة عوامل كاستطاعة الإشارة ونوع الترميز، اضافة الى قياس النسبة  $E_b/N_0$ ، كل ما سبق يأتي بهدف التحصل على صورة ذات جودة عالية، وشغل مثالي لسعة القناة باستعمال اقل طاقة ممكنة.

**كلمات المفاتيح:** بث الفيديو الرقمي عبر الأقمار الصناعية، مجموعة تحريك الصور، استطاعة الإشارة، نوع الترميز.

---

**Résumé :** Dans notre mémoire, une étude détaillé a été réalisé sur la chaine de transmission DVB-S/DVB-S2, en observant l'effet de compression sur une vidéo animée et non animée avec deux différents normes de compression (MPEG2 et MPEG4), et en déterminant le seuil de compression pour chaque cas.

De plus des tests de performances ont été faits, et cela en effectuant des mesures d'émission et réception par la modification de plusieurs paramètres, comme la puissance du signal à l'émission, le type de modulation, le FEC, ainsi le mesure du rapport  $E_b/N_0$ , tout est pour but d'avoir une meilleur qualité d'image et occupation spectral avec une énergie d'émission minimale.

**Mots clés :** DVB-S, MPEG, FEC,  $E_b/N_0$ , Occupation spectral.

---

**Abstract :** Throughout our thesis, we conducted a detailed study on the DVB-S/DVB-S2 transmission channel, by observing the compression effect on animated and non-animated video with two different compression standards (MPEG2 and MPEG4), and by determining the compression threshold for each case. Furthermore performances tests were conducted by carrying out emission and reception measurement while modifying several parameters such as the signal strength at transmission, modulation type, FEC and The measurement of the  $E_b/N_0$  ratio, in order to have a better image quality and perfect spectral occupancy with minimal emission energy.

**Keywords :** DVB-S, MPEG, FEC, Spectral occupancy.

---

## Listes des acronymes et abréviations

AM	Amplitude Modulation
ASBU	Arab States Broadcasting Union
ASI	Asynchronous Serial Interface
BAT	Bouquet Association Table
CAT	Conditional Access Table
C <sub>B</sub>	Chrominance Bleu
CBR	Constant Bit Rate
CCIR	comité consultatif international de radio communication
CD-I	Compact Disc Interactive
CDMA	Code Division Multiple Access
CD-ROM	Compact Disc Read-Only Memory
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Electrique
C <sub>R</sub>	Chrominance Rouge
DB	Difference de couleur Bleu
DR	Difference de couleur Rouge
DSNG	<i>Digital Satellite News Gathering</i>
DTH	Direct To Home
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-S	Digital video broadcasting-Satellite
DVB-SI	Digital Video Broadcasting-Service Information
EBU	European Broadcasting Union

EIT	Event Information Table
EPTV	Établissement public de télévision
ES	Elementary Stream
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FM	Frequency Modulation
GEO	Geostationary Earth Orbite
GLONASS	Global Orbiting Navigational Satellite System
GOP	Group Of Pictures
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile
HDTV	High Definition Television
HPA	High Power Amplifier
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardisation
JPEG	Joint Picture Experts Group
JTC	Joint Technical Committee
LEO	Low Earth Orbite
LDPC	Low Density Parity Check
MEO	Medium Earth Orbite
MPEG	Motion Picture Experts Group
NIT	Network Information Table
OBP	On Board Processing
PAT	Program Association Table
PCR	Program Clock Reference

PES	Packet Elementary Stream
PMT	Program Mapping Table
PS	Program Stream
PSI	Program Specific Information
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Frequency
RS	Reed Solomon
RST	Running Status Table
SDI	Serial Digital Interface
SDT	Service Description Table
SDTV	Standard-Definition TeleVision
SNR	Signal-to-Noise Ratio
TDA	Télédiffusion D'Algérie
TDMA	Time Division Multiple Access
TDT	Time and Date Table
TNT	Télévision Numérique Terrestre
TOT	Time Offset Table
TS	Transport Stream
TSDT	Transport Stream Description Table
UER	Union Européen de Radiodiffusion
VBR	Variable Bit Rate
VSAT	Very Small Aperture Terminal

## Liste des figures

<b>Figure 1.1.</b> Exemple diffusion par satellite.....	4
<b>Figure 1.2.</b> Schéma d'une charge utile du satellite.....	5
<b>Figure 1.3.</b> Schéma détaillé des composants du satellite .....	6
<b>Figure 1.4.</b> Les différentes phases pour mettre un satellite à son orbite.....	7
<b>Figure 1.5.</b> Orbites LEO, MEO et GEO .....	9
<b>Figure 1.6.</b> Classifications des satellites par leurs fonctionnements.....	10
<b>Figure 1.7.</b> Couverture globale de la terre via trois satellites géostationnaires .....	12
<b>Figure 1.8.</b> La couverture du satellite Eutelsat 5WA le centre de l'Algérie.....	13
<b>Figure 1.10.</b> Schéma synoptique d'une station terrienne.....	14
<b>Figure 1.11.</b> Les antennes d'émission et de réception au téléport Bouchaoui.....	16
<b>Figure 1.12.</b> Les deux centres de TDA (téléport de Bouzeréah et Ouled Fayet).....	17
<b>Figure 1.13.</b> Les moyennes utilisées par TDA pour transférer le contenu à diffuser.....	18
<b>Figure 1.14.</b> Infrastructures de diffusion DTH et de distribution sur le satellite Eutelsat E5WA .....	19
<b>Figure 2.1.</b> DVB-S et ses concurrents dans le monde.....	21
<b>Figure 2.2.</b> CONTEXTE DVB-S.....	22
<b>Figure 2.3</b> Exemple quelconque d'une opération de l'échantillonnage.....	23
<b>Figure 2.4.</b> Les différents types d'échantillonnage.....	24
<b>Figure 2.5.</b> Exemple d'une opération de l'échantillonnage.....	25
<b>Figure 2.6.</b> Quantification de l'exemple précédent.....	26
<b>Figure 2.7.</b> Ligne horizontale d'une image Télévisé pour la luminance.....	26
<b>Figure 2.8.</b> Hiérarchie des données vidéo.....	30

<b>Figure 2.9.</b> GOP rangé dans l'ordre d'affichage .....	31
<b>Figure 2.10.</b> Exemple explicatif sur la transformée cosinus discret.....	32
<b>Figure 2.11.</b> Hiérarchisation des objets média en MPEG-4.....	34
<b>Figure 2.12.</b> Schéma conceptuel de la génération des trains programme et transport MPEG-2.....	35
<b>Figure 2.13.</b> Transport Stream TS : structure paquet .....	36
<b>Figure 2.14.</b> Structure des tables dans le Multiplex.....	38
<b>Figure 2.15.</b> Choix d'un programme dans le réseau.....	39
<b>Figure 2.16.</b> Partie radiofréquence(RF) d'une chaîne de transmission DVB-S.....	39
<b>Figure 2.17.</b> La structure de la trame, après codage RS.....	40
<b>Figure 2.18.</b> Raccourcissement du code de Reed-Salomon .....	41
<b>Figure 2.19.</b> Synoptique de l'entrelaceur et du désentrelaceur.....	42
<b>Figure 2.20.</b> Codage et l'entrelacement.....	43
<b>Figure 2.21.</b> Codeur convolutif.....	44
<b>Figure 2.22.</b> La forme générale d'un modulateur.....	47
<b>Figure 2.23</b> la forme du modulateur QPSK.....	48
<b>Figure 2.24.</b> Constellation de la modulation QPSK.....	48
<b>Figure 2.25.</b> Schéma du mélangeur de fréquences.....	49
<b>Figure 2.26.</b> Antenne d'émission et réception.....	50
<b>Figure 3.1.</b> Salle d'équipement bande base du téléport de Bouchaoui. ....	52
<b>Figure 3.2.</b> Banc d'équipements utilisés pour différents test.....	53
<b>Figure 3.3.</b> L'interface avant du codeur VIBE EM2000.....	54

<b>Figure 3.4.</b> l'interface arrière du codeur VIBE EM2000.....	54
<b>Figure 3.5.</b> Interface de Dektec DTU 245 ASI-SDI/ USB.....	55
<b>Figure 3.6.</b> Schéma synoptique de Dektec DTU 245.....	56
<b>Figure 3.7.</b> Visualisation d'un service via le logiciel Stream-expert (Dektec).....	56
<b>Figure3.8.</b> L'interfacearrière du codeur FUJITSU IP-E920 .....	57
<b>Figure 3.9.</b> schéma synoptique du test de compression.....	57
<b>Figure 3.10.</b> Interface de configuration vidéo (a) changement de compression (b) variation du bit rate .....	58
<b>Figure3.11.</b> Vidéo visualisée d'une chaine animée, (a)=10 Mbps, (b)=5Mbps, (c)=3Mbps, (d)=1Mbps.....	59
<b>Figure 3.12.</b> Vidéos visualisée d'une chaine peu animée, (a)=10Mbps, (b)=3Mbps, (c)=2Mbps, (d)=1Mbps.....	60
<b>Figure 3.13.</b> L'option variable bit rate dans le codeur THOMSON EM 2000 .....	61
<b>Figure3.14.</b> visualisation du Variable Bit Rate sur Dektec .....	62
<b>Figure 3.15.</b> Vidéos visualisée d'une chaine animée Beinsport (a)=10Mbps, (b)=4Mbps, (c)=2Mbps,(d)=1Mbps.....	63
<b>Figure 3.16.</b> Vidéos visualisée sur la chaine TV Coran, (a)=10Mbps, (b)=4Mbps, (c)=2Mbps, (d)=1Mbps.....	64
<b>Figure 3.17.</b> Schéma synoptique de la chaine du multiplexage.....	65
<b>Figure 3.18.</b> L'interface avant du multiplexeur THOMSON NETPROCESSOR 9030.....	65
<b>Figure 3.19.</b> L'interface d'accueil de multiplexeur THOMSON NETPROCESSOR 9030.....	66
<b>Figure 3.20.</b> Les services présents sur le multiplexeur THOMSON NetProcessor 9030.....	67
<b>Figure3.21.</b> l'interface du multiplexeur après le glissement des services .....	67

<b>Figure 3.22.</b> Les différents tables de compression a ajoutés.....	68
<b>Figure 3.23.</b> visualisation des services multiplexés via le dektec.....	68
<b>Figure 3.24.</b> L'interface avant du modulateur Newtec M 6100.....	70
<b>Figure 3.25.</b> L'interface d'accueil principale du modulateur Newtec M6100.....	70
<b>Figure 3.26.</b> Schéma synoptique du test de modulation.....	71
<b>Figure 3.27.</b> Les différents paramètres modifiables pour la modulation.....	71
<b>Figure 3.28.</b> Porteuse obtenue après modulation.....	72
<b>Figure 3.29.</b> Modulation QPSK (DVB-S) pour des valeurs différentes du FEC, (a)=1 /2, (b)= 3 /4, (c)=5/6.....	73
<b>Figure3.30.</b> Modulation 8PSK (DVB-S2) pour des valeurs différentes du FEC, (a)=3/5, (b)= 2/3, (c)=3/4, d=5/6.....	74
<b>Figure 3.31.</b> La chaine de transmission DVB-S/DVB-S2 sur le satellite SES4 (22°W).....	77
<b>Figure3.32.</b> Courbes BER en fonction du rapport Eb/N0 pour une transmission réelle DVB-S .....	77

## Liste des tableaux

<b>Tableau 2.1.</b> Poinçonnage du code convolutif.....	45
<b>Tableau 2.2.</b> Simplification de la modulation QPSK.....	47
<b>Tableau 2.3.</b> Evolution du standard de communication par satellite.....	51
<b>Tableau 3.1</b> Le rapport $E_b/N_0$ en fonction du type de modulation et FEC.....	75
<b>Tableau 3.2.</b> Paramètres d'émission.....	76
<b>Tableau 3.3.</b> Paramètres de l'antenne.....	77



# Bibliographie

---

- [1] John Lewis, Procédures spatiales : [www.UIT.int](http://www.UIT.int).
- [2] Hugo Méric, Codage par superposition pour les communications par satellite, thèse doctorat novembre 2012.
- [3] Guillaume POUCHAIN Rapport de stage NDS TECHNOLOGIES FRANCE, jan 2011.
- [4] guide du satellite de télécommunication, Eutelsat communication.
- [5] Octave Ringar, Utilisation des techniques avancées d'Emission /Réception multi-antennes pour une transmission optique large bande, Thèse de doctorat, 2015, Université de LIMOGES.
- [6] Communications Satellites : <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=23761>;
- [7] Ferdinand TRA, Control d'admission des connexions pour les systèmes.
- [8] [https://cnes.fr/sites/default/files/drupal/201505/image/is\\_shema-geostationnaire-information-monde.png](https://cnes.fr/sites/default/files/drupal/201505/image/is_shema-geostationnaire-information-monde.png).
- [9] [http://www.telesatellite.com/images/satellites/eutelsat5wa\\_couverture\\_ku\\_orientable.jpg](http://www.telesatellite.com/images/satellites/eutelsat5wa_couverture_ku_orientable.jpg).
- [10] <http://www.nourdineabdallah.fr/Files/Other/Satellite.pdf>.
- [11] Francis MAHIEU, VIDEO NUMERIQUE, octobre 2004
- [12] Document stagiaire, Signal audiovisuel numérique MPEG2/DVB, OLIVIER SUDRE, Novembre 1998.
- [13] <http://danjean.developpez.com/video/signal-video-numerique/>
- [14] Hervé Benoit, La télévision numérique MPEG-1, MPEG-2 et système européen DVB, 2ème édition 1998.

- [15] Paul kenji, Mathias ortner, techniques de compression video des standards MPEG, Universite de NICE-SOPHIA ANTIPOLIS, 2003/2004
- [17] Francis MAHIEU, Le M P E G – 4 Comprendre & Appliquer, mars 200318
- [18] Nizar JEGHAM, Performances des applications IP dans les systèmes de communications par satellite : cas du DVB-RCS et du DVB-S2, novembre 2008
- [19] Alain Gerland, MPEG SYSTEM ET INFORMATIONS DE SERVICE DVB
- [20] Dr. Mohamed LASHAB, Programme de la Télévision Numérique, Université du 20 Aout 55 Skikda.
- [21] Pr A LICHIOUI, DVB-T (Fonctions, caractéristiques et paramètres).
- [22] ABDELALI EL KHETTABI, CONCEPTION DU SYSTEME DE TRANSMISSION OFDM CODE POUR POUR LES APPLICATIONS À HAUT DÉBIT, FEVRIER 2008.
- [23] MPEG DVB : Transmission en DVB sur <http://perso.libertysurf.fr/IPhilGood>
- [24] Michel Vonlanthen, L'état actuel de la TV digitale, mai 2003.
- [25] Patrice KADIONIK, Base des transmissions numériques, Les modulations numérique ,2004
- [26] Andrée FOUQUE, Contribution à la conception d'un récepteur mobile faible cout et faible consommation dans la bande Ku pour le standard DVB-S, 04 juin 2012.
- [27] Basel RIHAWI, Analyse et réduction du Power Ratio des systèmes de radiocommunication multi-antennes, 20 Mars 2008.
- [28] ComTechData, Migration from DVB-S to DVB-S2 and related efficiencies, Mai 2009.

## Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Système de Communication par Satellite.....	3
1.1 Introduction.....	3
1.2 Satellite de Télécommunication.....	3
1.2.1 Anatomie d'un satellite .....	4
1.2.2 Positionnement d'un satellite a son orbite .....	6
1.3 Classification des satellites .....	7
1.3.1 Les orbites.....	7
<i>a</i> <i>Orbite LEO (Low earth orbite)</i> .....	8
<i>b</i> <i>Orbite MEO (Medium earth orbite)</i> .....	8
<i>c</i> <i>Orbite géostationnaire GEO (Geostationary earth orbite)</i> .....	8
1.3.2 Les types de satellite.....	9
<i>a</i> <i>Satellite passif ou miroir</i> .....	9
<i>b</i> <i>Satellite actifs</i> .....	9
1.4 Zone de couverture et diagramme de rayonnement d'un satellite .....	11
1.5 Les techniques d'accès aux canaux satellitaires.....	14
1.6 Présentation du Centre Téléport Bouchaoui (TDA) .....	16
1.6.1 Sites de transmission par satellite .....	17
1.6.2 Missions du Centre Téléport.....	17
1.6.3 La montée sur satellite .....	18
1.6.4 La diffusion directe par satellite .....	19
1.7 Conclusion.....	20

Chapitre 2 Chaîne de transmission DVB-S(partie bande de base et radiofréquence).....	20
2.1 Introduction.....	20
2.2 La norme DVB.....	20
2.2.1 Digital Video Broadcasting - Satellite DVB-S.....	21
2.3 Partie bande de base.....	23
2.4.1 Numérisation.....	23
a Echantillonnage.....	23
b quantification.....	25
c Codage.....	26
2.4 La compression vidéo.....	27
2.4.1 Redondance spatiale et la redondance temporelle.....	28
2.5 La norme MPEG.....	28
2.5.1 La norme MPEG 2.....	29
2.5.2 Décomposition en couches d'une séquence vidéo MPEG-2.....	29
2.5.3 Group of Pictures (Gop).....	30
2.5.4 Transformée en cosinus discrète (DCT).....	32
2.5.5 La norme MPEG 4.....	33
2.6 Trame DVB-S (Les tables de compression).....	34
2.6.1 Programme Stream.....	35
2.6.2 Transport Stream.....	35
2.6.3 Constitution du paquet transport MPEG-2.....	36
2.7 Les tables PSI et DVB-SI du service MPEG-2.....	36
2.7.1 Tables de DVB-PSI.....	37
2.7.2 Tables de DVB-SI.....	37
2.7.3 Utilisation des Tables.....	38
2.8 Partie radio fréquence.....	39

2.8.1	Le codage Reed Solomon.....	40
2.8.2	Entrelacement et desentrelacement.....	41
2.8.3	Code convolutif.....	43
2.8.4	Poinçonnage.....	44
2.8.5	Décodage de Viterbi.....	45
2.8.6	Modulation.....	45
2.8.7	Up converter (mélangeur de fréquence).....	49
2.8.8	Amplificateur de puissance HPA.....	49
2.8.9	L'antenne.....	50
2.8.10	La deuxième génération de DVB-S.....	50
2.9	Conclusion.....	51
Chapitre 3 Manipulation, paramétrage et mesures.....		52
3.1	Introduction.....	52
3.2	Montage et paramétrage d'une banc de test.....	52
3.2.1	Présentation de codeur Thomson EM 2000.....	53
3.2.2	Présentation de Dektec DTU 245.....	54
3.2.3	Présentation de codeur FUJITSU (IP-920E).....	56
3.3	Effet de la compression sur la qualité de La vidéo.....	57
3.3.1	Compression MPEG-2 (encoder Thomson EM 2000).....	58
3.3.2	La notion VBR (Variable Bit Rate).....	61
3.3.3	Compression MPEG-4 (FUJITSU IP-920E).....	62
3.4	Multiplexage.....	65
3.4.1	Présentation du Multiplexeur THOMSON NetProcessor 9030.....	65
3.4.2	Manipulation.....	66
3.5	Modulation.....	69

3.5.1 Présentation du modulateur Newtec M6100 .....	69
3.5.2 Manipulation .....	70
3.5.3 L'effet du FEC (Forward error correction) .....	72
3.5.4 Mesure de $E_B/N_0$ .....	75
3.6 Chaîne de transmission DVB-S/DVB-S2 sur le satellite SES4.....	76
Conclusion générale.....	80



# Introduction générale

---

Depuis l'apparition de la télévision dans les années 1930, les systèmes de diffusion n'ont pas cessé d'évoluer suivant les besoins de plus en plus nombreux et diversifiés dans les usages. Tout d'abord, la qualité de l'image et du son requise tend aujourd'hui d'être de plus en plus parfaite. Les vidéos reçues avec les premiers systèmes de télévision analogique terrestre étaient en noir et blanc. Elles sont elles-mêmes actuellement délaissées pour des vidéos de qualité numérique avec une définition (SDTV) et de haute définition (HDTV). De plus, le grand succès de la tv auprès du grand public a naturellement engendré une forte demande et une augmentation du nombre de programmes TV à diffuser, ce qui a abouti à la saturation de bande passante disponible. Ces nouvelles contraintes, se sont accompagnées de nouveaux systèmes de transmissions et des techniques de traitement de signal afin de satisfaire la demande et d'élargir les zones de couverture.

Les Systèmes de télécommunication à large bande par satellite constituent une solution attractive pour couvrir une grande zone géographique isolée ou la mise en place d'infrastructures terrestres s'avère trop coûteuse et limitée en termes de bande passante et couverture. L'évolution des technologies de compression et de codage canal ont permis d'augmenter davantage la qualité des signaux ainsi que le nombre de services diffusé au grand public.

Ce travail a pour but d'optimiser les différents paramètres d'une chaîne de transmission par satellite à savoir le type d'échantillonnage, la compression et le codage canal pour avoir une meilleure efficacité spectrale tout en conservant la robustesse du signal et la qualité de la vidéo ainsi que l'audio.

Dans une première phase on va expliquer le fonctionnement et la nature des signaux existant dans une chaîne de transmission par satellite, dans ces deux parties : Bande de base

et radio fréquence. Afin de comprendre les différents traitements qui vont subir les signaux (vidéo et audio) dans une plateforme DVB-S/DVB-S2 (Digital vidéo Broadcasting-Satellite), un montage et paramétrage d'un banc d'équipements a pour objet de déterminer l'effet des traitements du signal en bande de base et le taux de compression sur la qualité de l'image.

Dans cette dernière on va exploiter les deux types de compression existant dans le marché MPEG2 ET MPEG4 afin de comparer l'un par rapport à l'autre.

La deuxième phase consiste à choisir le type de modulation et le code correcteur dans le but d'avoir une meilleure efficacité spectrale tout en assurant un bon niveau de réception donc une bonne robustesse du signal.

Pour cela, des tests de plusieurs modes de modulation avec différents FEC en DVB-S et en DVB-S2 seront réalisés au sol afin d'enregistrer les configurations qui donnent les meilleurs résultats d'efficacité spectrale. Des atténuateurs reliant le modulateur DVB-S/DVB-S2 avec un récepteur professionnel (IRD : integrated receiver decoder) permettant de simuler les atténuations du canal de transmission, de calibrer les puissances et d'obtenir les mesures de niveau du signal transmis ( $E_b/N_0$ ).

# Chapitre 1 Système de Communication par Satellite

---

## 1.1 Introduction

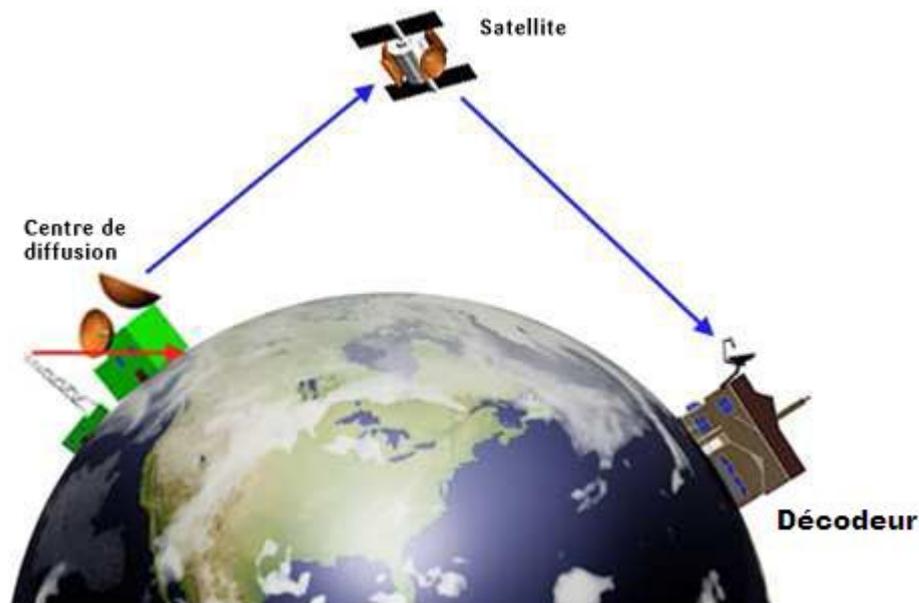
La plus grande révolution dans le monde de la télédiffusion est sans nul doute l'utilisation des satellites qui a permis une meilleure diffusion du son et de l'image à travers le monde entier. À l'ère de la mondialisation, cette révolution a réduit notre planète à un simple « petit village » où les distances géographiques sont quasi nulles, donc la télécommunication par satellite est devenue au sommet de toutes les technologies de la télécommunication actuelle.

## 1.2 Satellite de Télécommunication

Les utilisations novatrices des systèmes de télécommunication par satellite ne cessent de se développer. Un exemple récent est l'utilisation de satellite pour établir des liaisons téléphoniques, données à haut débit et aussi pour la télédiffusion.

L'événement spécial débutera en 1957 par le lancement du premier satellite Sputnik et en 1965 l'entreprise Intelsat a lancée le premier satellite commercial appelé EarlyBird sur l'orbite géostationnaire. Le problème de ces premiers satellites était le cout élevé des stations terriennes ainsi le satellite lui-même. L'évolution technologique rapide dans le domaine de la recherche spatiale a réduit les couts d'un système de communication par satellite [1][2].

De nos jours et grâce aux nouvelles technologies utilisées, les satellites offrent plusieurs services et parmi ces services la possibilité de relier deux ou plusieurs points distants, ainsi pour compléter la couverture des réseaux terrestre dans des points où l'accès est difficile.



*Figure 1.1.* Exemple diffusion par satellite [3].

### 1.2.1 Anatomie d'un satellite

Les satellites de télécommunications modernes adoptent tous une architecture similaire, obéissant aux nécessités de leur mission et de leur mise en orbite. Ce sont des appareils de haute technologie, conçus pour fonctionner pendant 15 ans, voire plus, dans un milieu hostile soumis au vide spatial, à des radiations et à des contraintes thermiques extrêmes allant de  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , à l'ombre des rayons du soleil, à  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour les zones exposées.

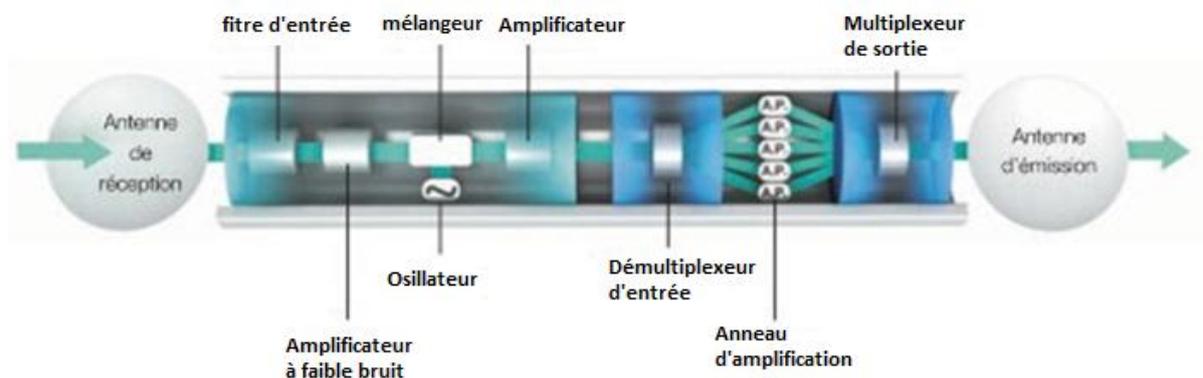
Ces satellites se composent d'un caisson dans lequel sont logés la plupart des équipements ainsi que le système de propulsion et ses réservoirs associés. Ce système permet de pallier les perturbations liées à l'attraction du soleil et de la lune et aux irrégularités du champ gravitationnel terrestre, et maintenir régulièrement le satellite à son poste. C'est principalement la réserve d'ergols qui détermine la durée de vie d'un satellite.

Des senseurs solaires identifient la position du soleil servant de référence principale pour le maintien à poste du satellite. Des routes à inertie assurent la stabilité du pointage. La

propulsion du satellite pour les manœuvres de maintien a poste est assuré par une dizaine de tuyères alimentées par des réservoirs de gaz stocké sous forme liquide (carburant et comburant) qui sont situés a l'intérieur du tube central.

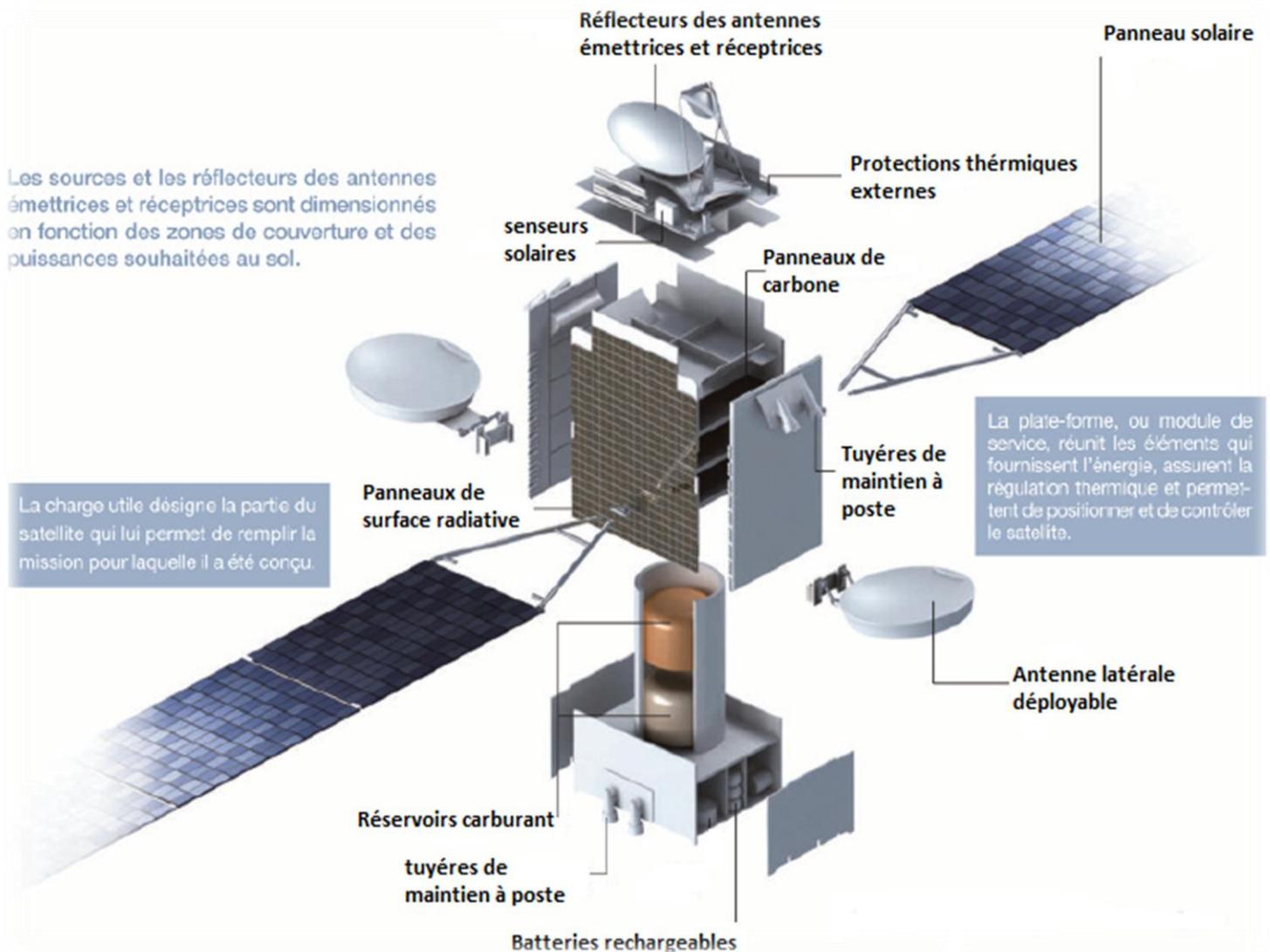
Des panneaux de surface radiative en aluminium évacuent la chaleur dégagée par l'électronique tandis que des protections thermiques externes isolent du milieu environnant. Des panneaux solaires fournissent l'énergie électrique. Des batteries rechargeables prennent la relève lorsque le satellite passe dans l'ombre de la terre à chaque équinoxe.

A l'intérieur du satellite, les équipements (répéteurs, alimentations, contrôle...) qui dissipent le plus d'énergie sont fixés sur les surfaces radiatives qui évacuent la chaleur vers l'extérieur et les autres sur des panneaux de carbone.



**Figure 1.2.** Schéma d'une charge utile du satellite.

La charge utile des satellites de télécommunications se compose essentiellement de répéteurs qui agissent comme des miroirs grossissants et renvoyant vers la terre le signal qu'ils reçoivent après en avoir changé la fréquence et/ou la polarisation et l'avoir amplifié. Les répéteurs peuvent indifféremment relayer des signaux analogiques ou numériques, de toute taille et de tout format de compression [4].

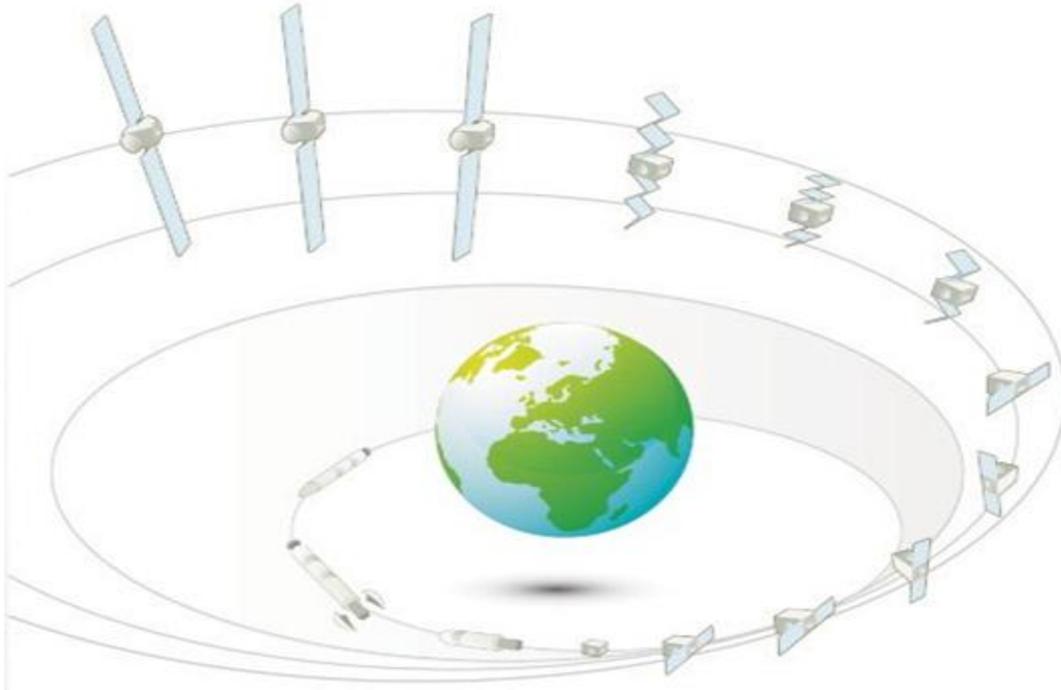


**Figure 1.3.** Schéma détaillé des composants du satellite [4].

## 1.2.2 Positionnement d'un satellite a son orbite

En moyenne, un satellite met, après son lancement trois à quatre semaines pour rejoindre la fenêtre orbitale dans laquelle il sera exploité. En fois placé en orbite de transfert par son lanceur, le satellite déploie une partie de ses panneaux solaires qui avaient été repliés pour le faire rentrer sous la coiffe de la fusé. Ce déploiement partiel est suffisant pour assurer l'alimentation électrique des équipements du satellite en route vers sa position orbitale.

La trajectoire du satellite est circulaire grâce aux poussées successives de ses moteurs lors de chaque passage à son point d'apogée. Une fois placé à son orbite, le satellite déploie l'ensemble de ses panneaux et de ses réflecteurs antennes [4].



**Figure 1.4.** Les différentes phases pour mettre un satellite à son orbite.

## 1.3 Classification des satellites

Tous les satellites obéissent aux lois physiques de la gravitation universelle. Ils se déplacent sur des trajectoires elliptiques autour de centre de la terre (les orbites) et leur vitesse est liée à leur attitude. On peut les classés en fonction de deux paramètres, suivant l'hauteur de leurs orbites et leurs fonctionnements interne [4][5].

### 1.3.1 Les orbites

#### *a* **Orbite LEO (Low earth orbite)**

L'orbite LEO est une orbite circulaire, située entre 600 à 1600 km d'altitude avec une période d'une heure et demie. Les systèmes LEO ont été en vogue au début des années 2000 et plusieurs grands systèmes (Iridium, Globalstar, SkyBridge) se basent sur de telles constellations. L'avantage de ces systèmes est le temps de propagation très court, typiquement 10 ms pour un satellite à 1 500 km d'altitude ainsi qu'un bilan de liaison

nettement plus favorable que pour un système GEO. Ces avantages font de ces systèmes d'excellents candidats pour des applications interactives mettant en jeu des terminaux mobiles avec des antennes omnidirectionnelles et des amplificateurs de faible puissance.

### ***b Orbite MEO (Medium earth orbite)***

Une orbite à altitude moyenne, communément appelée orbite circulaire intermédiaire ou MEO, est une orbite autour de la Terre située entre 10 000 et 20 000 km. L'orbite se situe au-dessus de l'orbite LEO et en dessous de l'orbite géostationnaire. Ayant une période de 6 heures, cette orbite est utilisée pour placer des satellites de navigation : Glonass (à une altitude de 19 100 km), du GPS (à une altitude de 20 200 km) et Galileo (à une altitude de 23 222 km).

### ***c Orbite géostationnaire GEO (Geostationary earth orbite)***

Cette dernière est, sans nul doute, l'orbite la plus répandue aujourd'hui. Les systèmes GEO ont été les premiers à être utilisés et restent aujourd'hui majoritaires. L'orbite GEO correspond à la trajectoire d'un satellite dans le plan équatorial de la Terre, animé d'une vitesse angulaire égale à celle de la Terre et dans le même sens, de telle sorte que le satellite apparaisse comme immobile par rapport à celle-ci. Pour cela, il faut que la période orbitale soit égale à un jour sidéral, c'est-à-dire au temps mis par la Terre pour tourner d'un tour sur elle-même. Le satellite géostationnaire se déplace en même temps que la terre. Il fait le tour de la terre en 24 heures, durée qui correspond au temps de rotation de la terre. Dans cette orbite, le satellite est placé à 35 786 km d'altitude et peut couvrir une superficie environ 42% de la superficie de la terre. L'orbite est extrêmement encombrée et l'on trouve presque un satellite tous les deux degrés. L'avantage de cette orbite est évidemment le fait que le satellite reste fixe par rapport à la Terre, permettant l'utilisation d'antennes ce qui permet de s'affranchir de techniques de poursuite. Les inconvénients sont le temps de propagation, il faut compter environ 250 ms pour un aller et retour vers le satellite et des pertes en espace libre d'environ 200 dB à prendre en compte dans l'établissement du bilan de liaison. Un autre inconvénient les zones polaires ne sont pas couvertes.

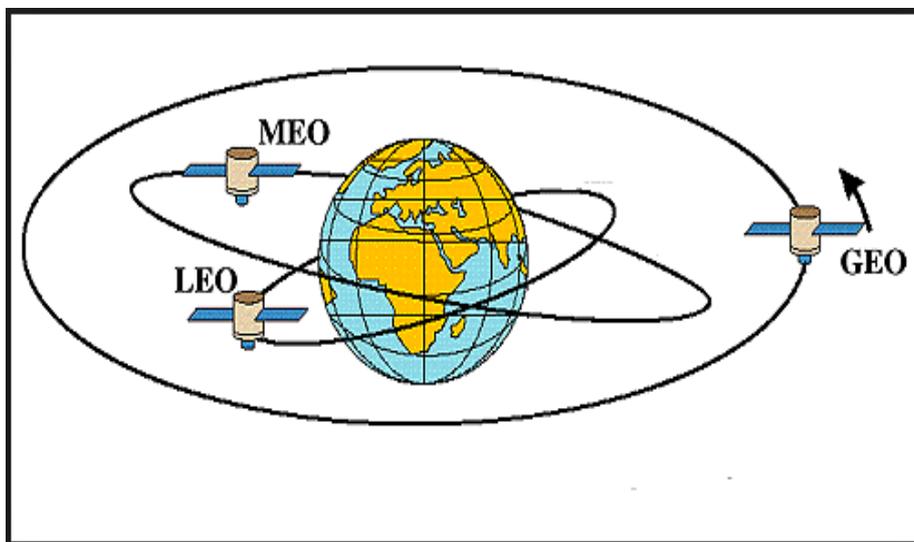


Figure 1.5. Orbites LEO, MEO et GEO [6].

### 1.3.2 Les types de satellite

On peut aussi classer les satellites suivant leurs fonctionnements internes [7].

#### *a Satellite passif ou miroir*

Les premiers satellites artificiels étaient de simples miroirs de signaux radio électriques. Ils réfléchissaient donc les signaux transmis par une station terrestre vers une autre station terrestre. Ce type de satellite est dit passif. Le premier exemple de ce type de satellite est celui de la Nasa, au début des années soixante, baptisé Echo. Les satellites passifs n'émettaient qu'avec de faible puissance vers les stations terrestres, obligeant ces dernières à être dotées de larges antennes (de 20 à 30 m de diamètre), à la fois, recevoir les faibles puissances et transmettre à forte puissance.

#### *b Satellite actifs*

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

- **Satellite transparent**

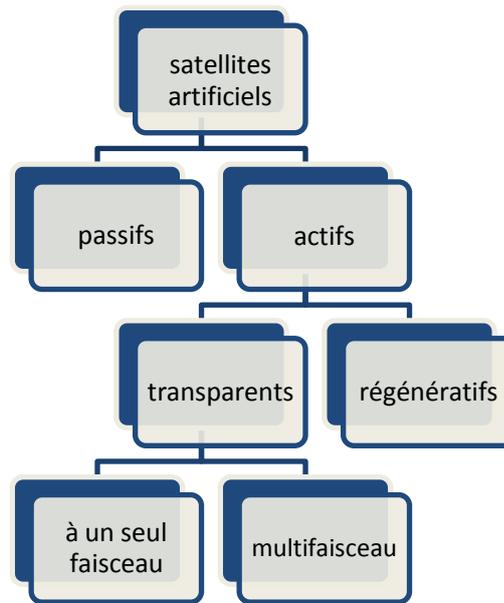
La première génération des satellites actifs est représentée par les satellites transparents. Avec les satellites transparents, les signaux sont reçus sur une fréquence, puis ils sont amplifiés avant d'être retransmis aux antennes réceptrices sur une fréquence plus basse. L'amplification des puissances captées à bord des satellites permet de réduire la taille

des antennes de réception au sol (antenne VSAT de quelques mètres). La conversion des fréquences permet, quant à elle, de réduire les interférences entre les liens montants et les liens descendants. Les premiers satellites transparents étaient dotés d'un seul et unique faisceau qui assurait la couverture, à lui seul, de la large zone géographique de service. Cependant, il ne permettait pas de fournir les meilleures garanties de bilan de liaison sur toute la couverture. Les satellites multi-faisceaux ont apporté une solution à ce problème. Les satellites multi-faisceaux consistent à couvrir la zone de service avec plusieurs faisceaux, offrant du coup un gain important dans chaque zone. De plus, les satellites multi-faisceaux permettent une réutilisation des fréquences ; ce qui a l'avantage d'augmenter la capacité du système de communication.

- **Satellite régénératif**

Les satellites régénératifs représentent la seconde génération des satellites actifs. Ces satellites ont la capacité de démoduler les signaux en bande de base puis de les remoduler avant de les retransmettre. La démodulation au sein du satellite permet d'avoir des trains binaires sur lesquels un traitement peut être effectué. Le traitement embarqué dans le satellite, connu sous le sigle OBP, pour On-Board Processing, permet donc d'effectuer les opérations suivantes : la conversion des signaux en fréquence RF (Radio Fréquence) ou en bande de base, la démodulation, la régénération du signal, le multiplexage, la commutation et le routage des paquets ou cellules.

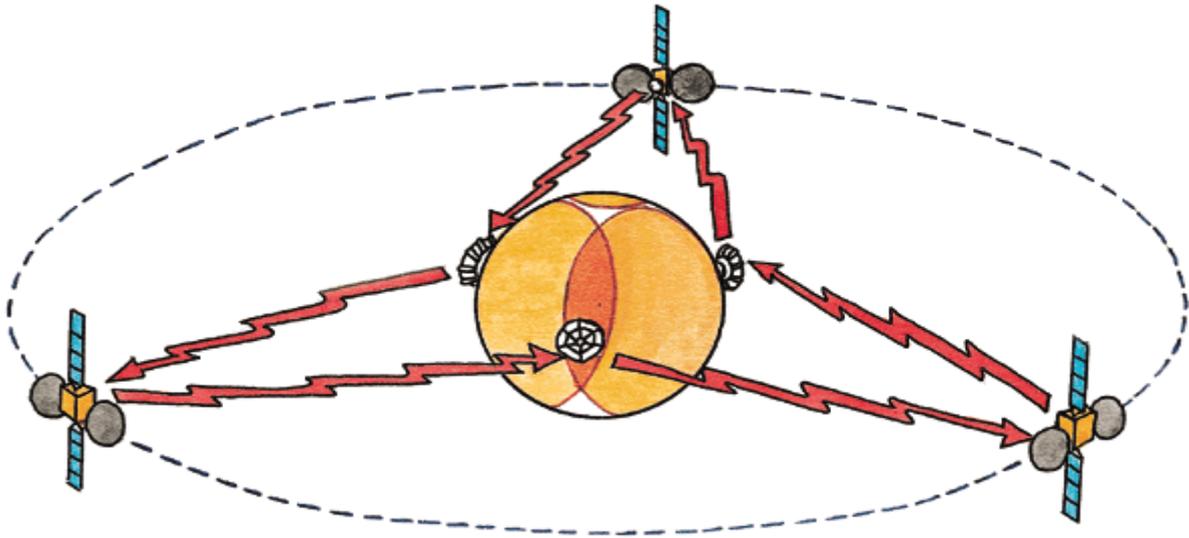
La figure suivante résume la classification des satellites par leurs fonctionnements



*Figure 1.6.* Classifications des satellites par leurs fonctionnements.

## 1.4 Zone de couverture et diagramme de rayonnement d'un satellite

La zone de couverture dépend de la hauteur d'orbite qui abrite le satellite, plus la distance terre-satellite est importante plus la zone de couverture devient plus large. Aussi un satellite peut avoir plusieurs zones de couverture qui dépendent du nombre d'antenne constituant la charge utile. Avec trois satellites géostationnaires distants de  $120^\circ$  entre eux on peut assurer une couverture globale de la terre comme montre la figure suivante [8].



**Figure 1.7.** Couverture globale de la terre via trois satellites géostationnaires [8].

Pour chaque zone de couverture il y a un diagramme de rayonnement correspond, ce diagramme dessine les contours des niveaux de réception au sol (figure 1.8). Plus la zone de couverture est grande plus la puissance reçue au sol est faible ce qui implique une utilisation d'une antenne de réception plus grande. Le diagramme de rayonnement d'un satellite dépend de la forme et le gain de l'antenne de l'unité utile ainsi que le canal de transmission. La puissance reçue au sol peut être calculée comme suis :

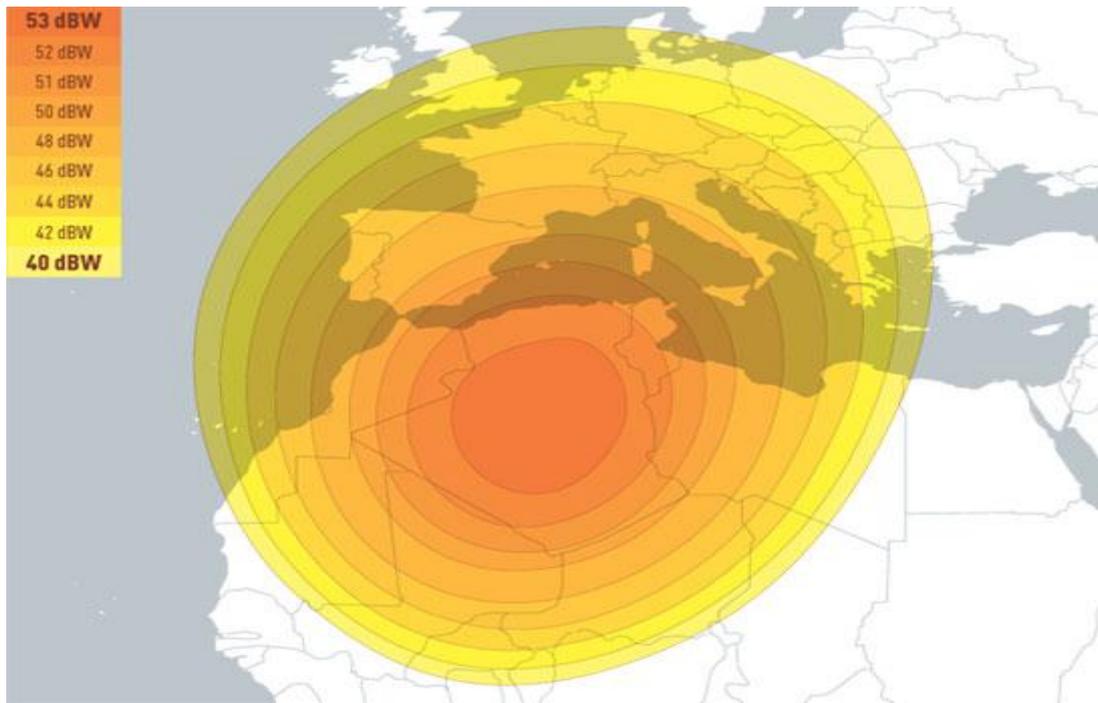
$$P_r(\text{dB}) = P_e(\text{dB}) + G_{\text{ant}} - \text{Att}(\text{dB}) \quad (1.1)$$

Avec:

$P_e$  : Puissance d'émission du satellite.

$G_{\text{ant}}$  : Gain d'antenne de l'unité utile.

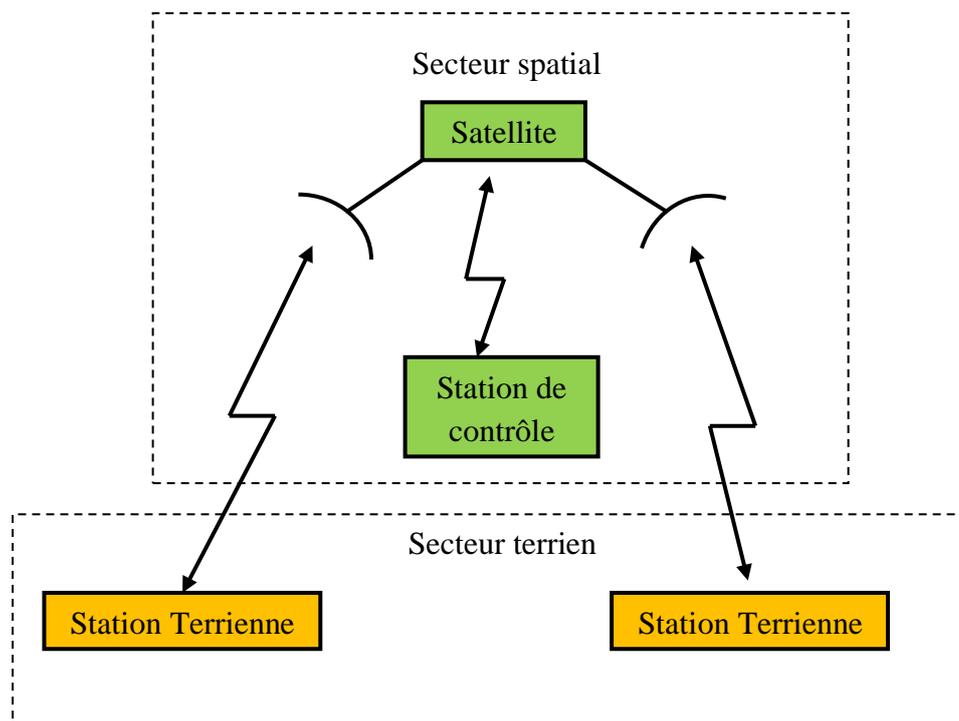
Att : Atténuation du canal plus celle du couplage.



**Figure 1.8.** La couverture du satellite Eutelsat 5WA le centre de l'Algérie [9].

- **Description d'un système de télécommunication par satellite**

L'architecture de base d'un système de télécommunication par satellites s'articule autour d'un secteur terrien, assurant la connexion aux réseaux terrestres, et d'un secteur spatial, réalisant la jonction entre les stations comme suit



**Figure 1.9.** Architecture de base d'un système de transmission par satellite.

## Secteur spatial

Le secteur spatial comporte le satellite et l'ensemble des moyens de contrôle situés au sol comme l'ensemble des stations de poursuite, de télémétrie et de télécommande, ainsi que le centre de contrôle du satellite.

## Secteur terrien

Le secteur terrien est constitué par l'ensemble des stations terriennes, le plus souvent raccordées aux terminaux des usagers par un réseau terrestre.

Architecture de la station terrienne est comme suit

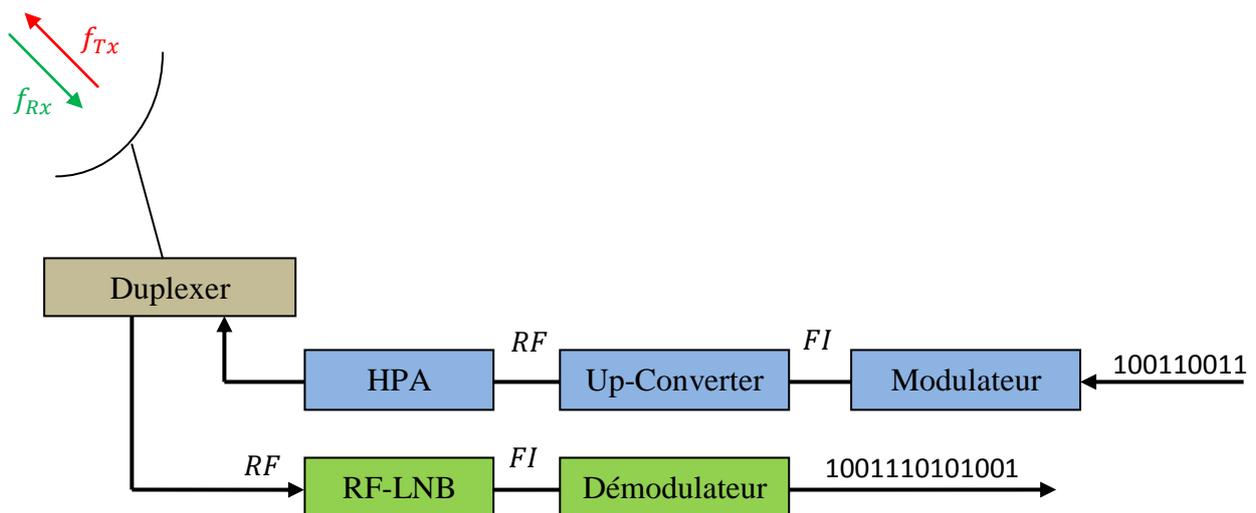


Figure 1.10. Schéma synoptique d'une station terrienne.

## 1.5 Les techniques d'accès aux canaux satellitaires

La politique d'accès aux canaux satellitaires est mise en place afin de permettre à plusieurs utilisateurs d'accéder à un même canal de transmission, afin d'assurer une exploitation maximale des transpondeurs avec les moins d'interférences possibles. C'est pourquoi, il est souhaitable de mettre en œuvre des techniques de partage des ressources

spatiales communes. Les trois grandes politiques d'accès aux canaux satellitaires sont : AMRF, AMRT, AMRC. [5]

- **L'AMRF (FDMA) : (l'accès multiple à répartition en fréquence)**

Cette méthode qui a été l'une des premières utilisées, pour N stations, on découpe la bande passante du transpondeur en N sous bande. Chaque sous bande est assignée à une station et lui permet d'émettre simultanément mais indépendamment aux autres stations [10].

- **L'AMRT (TDMA) : (l'accès multiple à répartition dans le temps)**

Cette méthode est à l'heure actuelle la plus utilisée dans le domaine de transmission par satellite. Son principe est de découper le temps en plusieurs tranches qui vont être affectées aux stations terrestres. Le problème qui se pose ce que si la station n'utilise pas sa tranche de temps pour émettre, il y a une perte de la tranche. D'où la nécessité de l'AMRT dynamique pour corriger ce problème [10].

- **L'AMRC (CDMA) : (l'Accès Multiple à Répartition par Code)**

Le principe de cette méthode est d'allouer un canal par durée et non pas par paquet, ceci en utilisant un code identifiant chacune des stations de système de communication [10].

## 1.6 Présentation du Centre Téléport Bouchaoui (TDA)



### Télédiffusion d'Algérie



**Figure 1.11.** Les antennes d'émission et de réception au téléport Bouchaoui.

La Télédiffusion d'Algérie (TDA) est une entreprise public, elle assure, à titre exclusif, la diffusion et la transmission, en Algérie et vers l'étranger par tous moyens techniques appropriés, les programmes TV et Radio. TDA est sous la tutelle du ministre chargé de la communication. Le centre Téléport situé à Bouchaoui (Alger) et le centre de bouzeréah sont les deux seuls centres de TDA pour la diffusion et la transmission des signaux TV et radio par satellite.

En l'an 2000, le téléport a diffusé par satellite les signaux des jeux olympiques de sidney (Australie) pour les 22 pays Arabes, membres de « The Arab States Broadcasting Union » (ASBU).

### 1.6.1 Sites de transmission par satellite

L'infrastructure satellitaire de TDA repose sur plusieurs stations terriennes de transmission et de réception par satellite situées soit au siège de l'entreprise à Bouzeréah soit au Centre téléport de Bouchaoui situé à Ouled Fayette.



**Antennes satellitaires situées à Bouzeréah**



**Antennes satellitaires situées au téléport de Bouchaoui (à Ouled Fayette)**

*Figure 1.12.* Les deux centres de TDA (téléport de Bouzeréah et Ouled Fayette).

### 1.6.2 Missions du Centre Téléport

La mission principale de téléport de Bouchaoui est le transport, dont le but d'assurer les missions suivantes:

- Secours de la diffusion pour la couverture des téléspectateurs en diffusion direct (Direct-to-Home (DTH)) sur le satellite E5WA (Ex AB3),
- Contrôle et suivi de diffusion satellitaire de nos programmes TV et Radios sur les différents supports (E7WA, Arabsat, HotBird, E5WA en bande C pour la couverture de l'Afrique, Galaxy 19),
- Distribution des signaux vers les émetteurs terrestres (TV analogique, TV numérique TNT, FM et AM) assurées pas les satellites SES4 et E5WA.
- Collecte des radios locales sur le satellite SES4 via un réseau VSAT.

➤ Ainsi que pour les contributions nationales et internationales :

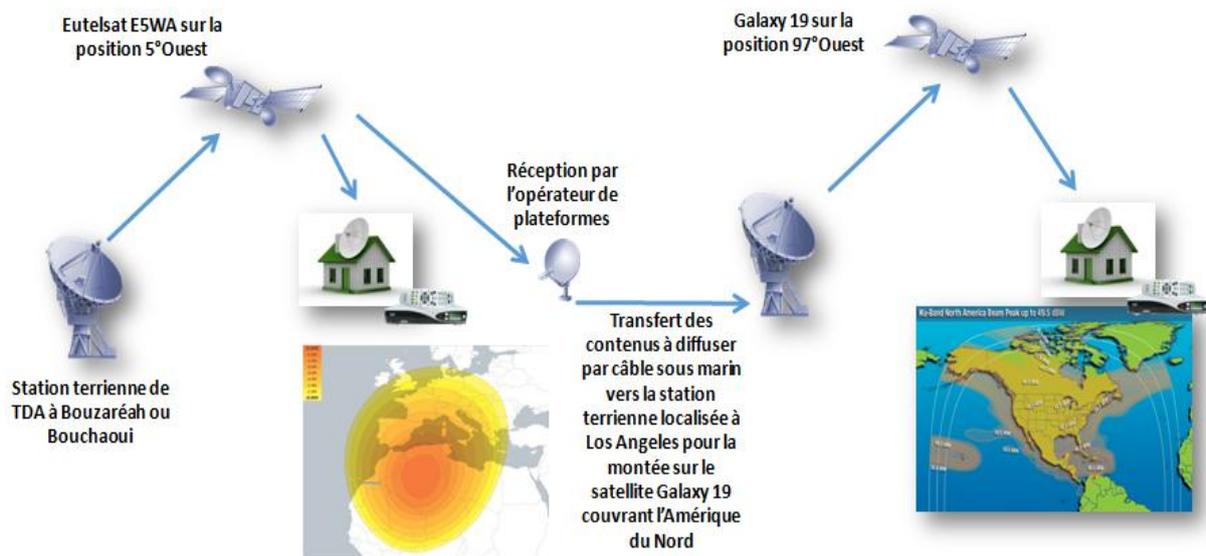
- transmissions d'évènements en Algérie ou de l'étranger vers les studios de (EPTV);
- Transmissions de programmes de (EPTV) vers les organismes internationaux « ASBU », Union Européen de Radiodiffusion « UER ») Transits des transmissions de l'Europe vers le Monde Arabe et vice-versa.

### **1.6.3 La montée sur satellite**

En vue de diffuser les programmes sur satellite, il est d'abord nécessaire de monter ces signaux sur le satellite en question. Ceci peut être fait de deux manières dans le cas de TDA:

- Soit, avec une station au sol localisée en Algérie, appelée station terrienne, qui envoie directement le contenu sur le satellite de diffusion.
- Soit, via un autre opérateur de plateforme (ex: GlobeCast, Eutelsat), qui récupère le contenu à partir d'un satellite diffusant déjà le contenu désiré ou par autre lien de télécommunication (ex: fibre optique), pour le remonter, à nouveau, à partir d'une station terrienne à l'étranger sur le satellite désiré, service appelé « Turn-Around ».

Ceci est souvent le cas, lorsque le satellite désiré n'est pas en visibilité avec l'Algérie (Ex: un satellite couvrant l'Amérique), ou lorsque le nombre de chaînes devant être diffusés sur ce satellite désiré, n'est pas assez important pour justifier l'acquisition d'une station terrienne et la location d'une capacité satellitaire (transpondeur).



**Figure 1.13.** Les moyennes utilisées par TDA pour transférer le contenu à diffuser.

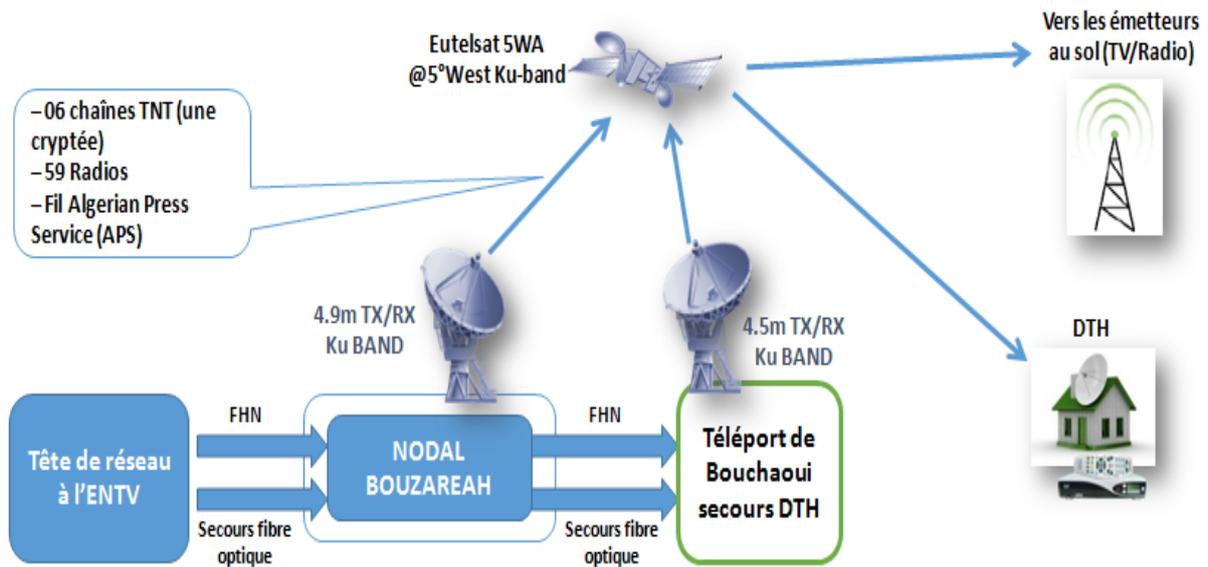
#### 1.6.4 La diffusion directe par satellite

La diffusion directe par satellite (DTH: Direct-To-Home) est caractérisée par:

Une position orbitale du satellite, soit la direction (Azimute) des antennes paraboliques pour la réception. Et des zones de couverture locale (Spot) ou régionales (Large): région du globe terrestre pouvant recevoir les signaux de ces satellites. Plus le signal est fort, plus l'antenne parabolique peut être petite avec une bonne qualité de réception.

Le fonctionnement des satellites est assuré par des opérateurs satellitaires tels que Arabsat, Nilesat, Eutelsat, Intelsat, SES. Ils veillent au bon fonctionnement de ces satellites qui se fait de manière transparente par rapport aux opérateurs de plateforme qui exploitent des services au sol en diffusant des bouquets de programmes tel que TDA.

En prenant un exemple le Satellite EUTELSAT 5WA.



**Figure 1.14.** Infrastructures de diffusion DTH et de distribution sur le satellite Eutelsat E5WA.

## 1.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le sujet des satellites de télécommunications. Nous avons montré les nombreuses qualités qui ont fait du satellite un moyen indispensable dans le contexte de la télévision numérique. Pour renforcer cette idée, nous avons pris la télédiffusion algérienne (Téléport de Bouchaoui) comme exemple qui, en dépit des nombreux supports de transmission (faisceau hertzien, fibre optique) dont elle dispose n'a pas hésité à adopter le lien satellitaire reposant sur la norme DVB. Dans le deuxième chapitre, nous allons expliquer le fonctionnement des réseaux satellitaires les plus communs reposant sur le standard DVB.

# Chapitre 2 Chaîne de transmission DVB-S (partie bande de base et partie radiofréquence

---

## 2.1 Introduction

Avec le besoins du monde aujourd'hui, et la taille immense des données, et l'apparition rapides des nouvelles chaînes télévisées, la capacité du canal ne supporte plus le flux énormes actuel, il est donc impossible de gérer et transmettre ses flux sans passer par un traitement spécial, en utilisant des systèmes de diffusion tel que le DVB-S, et en mettant en œuvre une transmission efficace à faible rapport signal à bruit, et pour cela, l'échantillonnage et le type de codage, compression et modulation est important, ce qu'on va détailler dans ce chapitre.

## 2.2 La norme DVB

L'extinction de la diffusion analogique peut être considérée comme la simple conséquence de l'introduction et du développement de la diffusion numérique, cette dernière présente de nombreux avantages par rapport à la diffusion analogique : elle donne la possibilité de diffuser une image et un son de meilleure qualité, elle permet de transmettre plus de chaînes ou de données dans les mêmes bandes de fréquences et diminue ainsi le coût de la transmission, elle permet de transmettre une importante quantité de données associées aux programmes. Deux principaux standards ont été développés, la première en Amérique: le HDTV (High Definition TV) et la deuxième en Europe, le DVB (Digital Video Broadcasting). Les principales différences de ces standards sont au niveau du modem et de l'encodeur audio, mais même en présence de cette concurrence, le DVB a pu s'imposer comme unique standard global de radiodiffusion TV numérique.

Ce standard européen a été fondé en 1993 pour répondre aux besoins de l'Europe et le monde des services de communication. Il est produit par le comité, JTC (Joint Technical Committee), l'union européenne de diffusion, EBU (European Broadcasting Union), le comité européen de normalisation, CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrique) et l'institut européen des standards des télécommunications, ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

Dans ce chapitre en insistant particulièrement sur la norme DVB\_S.

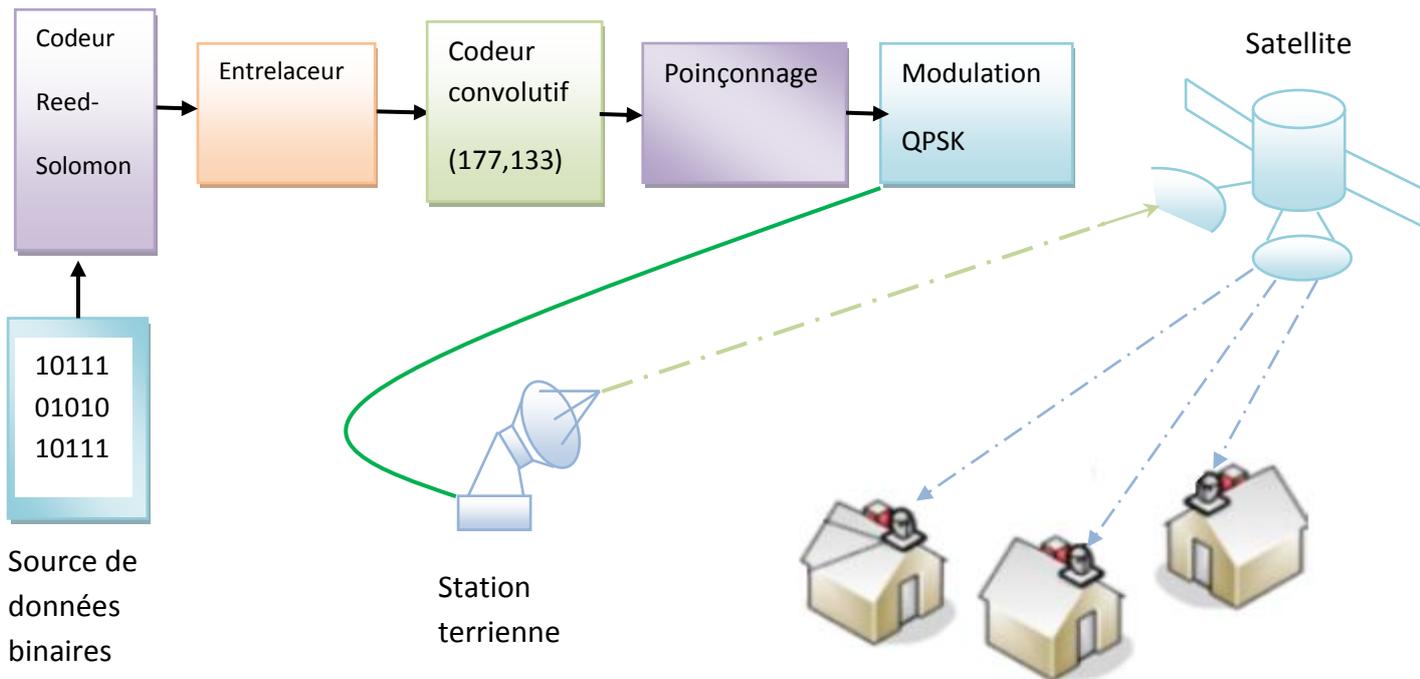
### 2.2.1 Digital Video Broadcasting - Satellite DVB-S

DVB-S est le standard de transmission de la télévision numérique via satellite géostationnaire. Ce standard regroupe des informations sur les protocoles utilisés pour multiplexer les données en se basant sur le standard MPEG-2, des méthodes d'accès et enfin des informations sur le codage canal ainsi que sur la modulation du signal. Il s'agit d'un standard ouvert dont la première publication remonte à 1993, alors que la dernière version de ce standard date de 2004. La norme DVB-S a donc su s'enrichir tout au long de cette dernière décennie devenant un standard mondial comme le montre cette carte sur (figure 2.1) [10].



Figure 2.1. DVB-S et ses concurrents dans le monde [10].

La norme DVB-S spécifie, pour la transmission par satellite la structure des trames DVB, le codage de canal et la modulation des paquets MPEG-2. Elle donne aussi les performances minimales requises par le système, en termes de résistance aux erreurs et au bruit. L'implémentation de la partie réception est laissée au choix du constructeur.



**Figure 2.2.** CONTEXTE DVB-S.

Dans ce qu'ils viennent (partie radiofréquence), on va bien détailler les différentes étapes de la chaîne de transmission DVB-S.

Lorsque le signal (programme TV ou radio) arrive chez le téléspectateur, le démodulateur fait les traitements inverses de l'émission comme démodulation, dé-poinçonnage, .....

Le choix des techniques de codage et de modulation ont été faits pour obtenir un bon rapport signal sur bruit (SNR), sans trop réduire l'efficacité spectrale. Nous allons détailler chacun de ces composants.

La chaîne de transmission DVB-S au centre de télédiffusion (TDA) comprend deux grandes parties, une partie Bande Basse (traitement de signal) et une deuxième partie Radiofréquence RF (modulation et UP conversion).

## 2.3 Partie bande de base

### 2.4.1 Numérisation

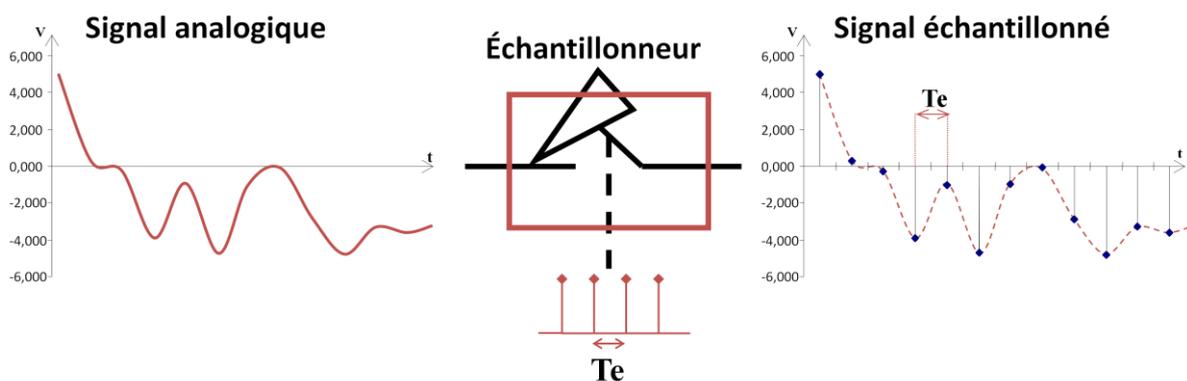
La numérisation des images consiste à faire correspondre au signal de télévision un certain nombre de points (ou pixels) eux-mêmes représentés par plusieurs bits. C'est-à-dire passer de la forme analogique vers la forme numérique.

#### a Échantillonnage

Comme première étape, il faut respecter le théorème de Shannon, c'est-à-dire échantillonner avec une fréquence d'échantillonnage au moins égale à 2 fois la fréquence du signal pour ne pas perdre l'information.

$$f_e \geq 2F_{max} \quad (2.1)$$

La bande passante d'un signal vidéo est de 6 Mhz et pour cela le CCIR (comité consultatif international de radio communication) a fixé la fréquence d'échantillonnage de 13.5 Mhz.



**Figure 2.3** Exemple quelconque d'une opération de l'échantillonnage [11].

$T_e$  : Période d'échantillonnage : Intervalle de temps séparant deux échantillons.

$F_e$  : Fréquence d'échantillonnage : Nombre d'échantillons pendant une seconde.

$$F_e = \frac{1}{T_e} \quad (2.2)$$

Le signal vidéo est composé de trois signaux :

$Y$  : un signal de luminance.

$D_R$  : un signal différence de couleur rouge.

$D_B$  : un signal différence de couleur bleu.

L'équation fondamentale de la luminance :  $Y = 0,30 R + 0,59 V + 0,11 B$  (2.3)

Différence Rouge  $D_R = R - Y$  (2.4)

Différence Bleu  $D_B = B - Y$  (2.5)

Il existe plusieurs types d'échantillonnages (format numérique), comme représente la figure suivante (Figure 2.4).

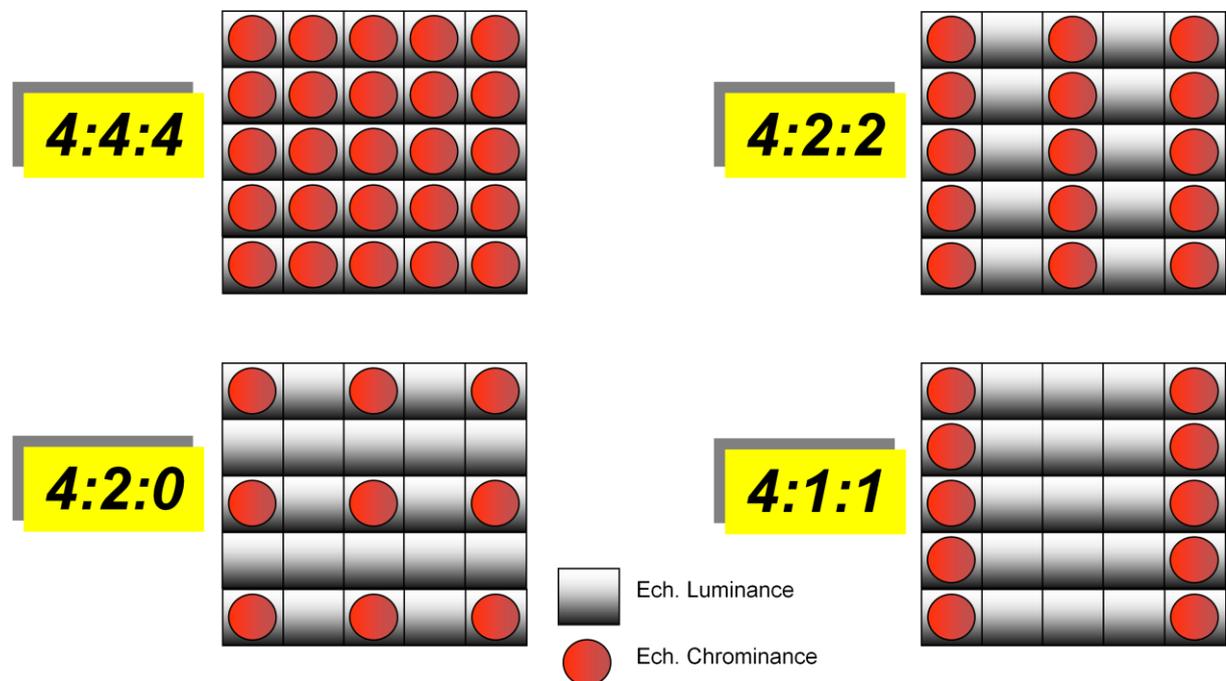


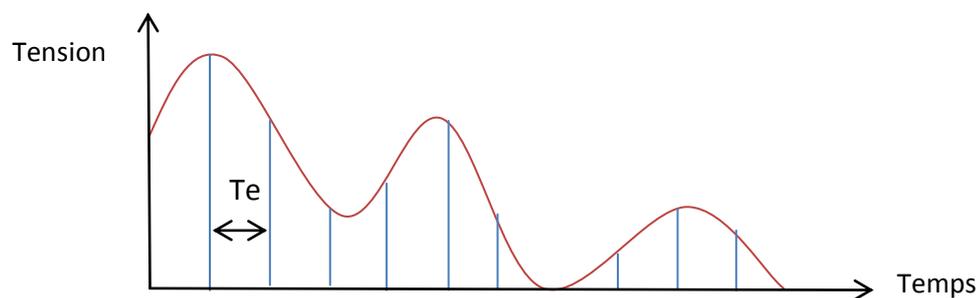
Figure 2.4. Les différents types d'échantillonnage [11].

- L'échantillonnage 4:4:4 Pour un bloc de 4 pixels, sur chaque ligne on aura : 4 échantillons de luminance ( $Y$ ), 4 échantillons de chrominance rouge ( $C_R$ ) et 4 échantillons de chrominance bleu ( $C_B$ ). C'est la méthode utilisée dans les appareils professionnels.

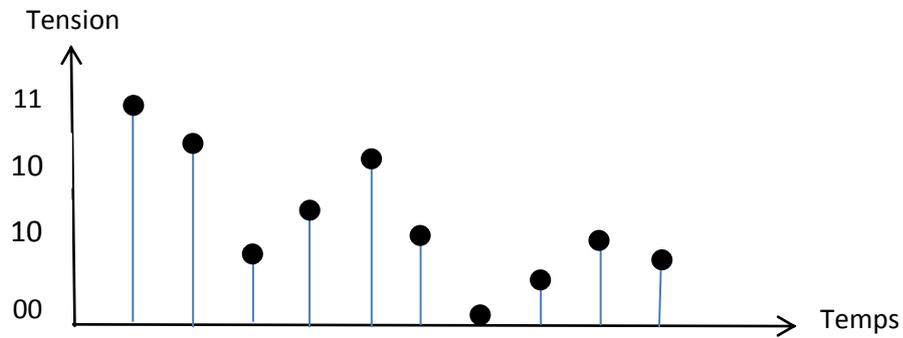
- L'échantillonnage 4:2:2 Pour un bloc de 4 pixels, sur chaque ligne on aura : 4 échantillons de luminance (Y), 2 échantillons de chrominance rouge ( $C_R$ ) et 2 échantillons de chrominance bleu ( $C_B$ ). Dans ce cas chaque couleur est codée une ligne sur deux. C'est la plus utilisée en vidéo semi-pro. Ce sous-échantillonnage de la chrominance permet d'obtenir un flux moins lourd.
- L'échantillonnage 4:2:0 Pour un bloc de 4 pixels, sur chaque ligne on aura : 4 échantillons de luminance (Y) et 2 échantillons de chrominance rouge ( $C_R$ ) ou 2 échantillons de chrominance bleu ( $C_B$ ). C'est la plus utilisée en vidéo amateur.
- L'échantillonnage 4:1:1 Pour un bloc de 4 pixels, sur chaque ligne on aura : 1 échantillon de luminance (Y), 1 échantillon de chrominance rouge ( $C_R$ ) et 1 échantillon de chrominance bleu ( $C_B$ ).

## b Quantification

Après avoir découpé le signal en un certain nombre d'échantillons selon la limite de Shannon Il s'agit maintenant d'affecter une valeur numérique binaire (une série binaire) a chaque échantillon prélevé afin de numériser le signal analogique pour pouvoir subir les traitements qu'ils viennent par la suite. Prenons un exemple de quantification sur 2 bits.



**Figure 2.5.** Exemple d'une opération de l'échantillonnage.



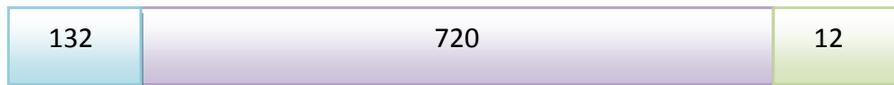
**Figure 2.6.** Quantification de l'exemple précédent.

### c Codage

Consiste à coder chaque échantillon par 8 bits, ou 10 bits .Selon le standard Imposé par le CCIR, une image télévisé SDTV est représenté par 864 lignes dans le sens horizontal ou 720 sont actives, et 625 lignes dans le sens vertical, dont 576 sont actives et un format de 4/3.

La télévision à Haute Définition (HDTV) est par ailleurs un standard de plus haute résolution avec 1920 points par ligne horizontal et 1152 lignes vertical et un format 16/9 .

Une ligne horizontale par exemple se compose d'un mot de synchronisation de 132 bits, suivit de 720 échantillons puis de 12 bits de fin de ligne pour une seule composante Y ou les deux informations de Chrominance.[12]



**Figure 2.7.** Ligne horizontale d'une image Télévisé pour la luminance.

Pour un format de 4 :2 :2 et pour un signal vidéo de 25 images par seconde et un codage de 10 bits, la fréquence d'échantillonnage et le débit binaire sont calculé par ses formules suivantes :

$$\text{Fréquence d'échantillonnage } Y = 864 * 625 * 25 = 13.5\text{Mhz.}$$

$$\text{Fréquence d'échantillonnage } C_R = 864 * 625 * 25/2 = 6.75\text{Mhz.}$$

$$\text{Fréquence d'échantillonnage } C_B = 864 * 625 * 25/2 = 6.75\text{Mhz.}$$

$$\text{Débit binaire total} = (13.5 + 6.75 * 2) * 10 = 270\text{Mbits/s.}$$

La 270Mbits/s représente le débit binaire (Bit Rate) d'un signal SDI (Sérial Digital Interface). ce débit est très grand à être transmis tel quel, car la bande passante d'un canal de transmission par satellite dans la norme DVB-S est de 36Mhz pour cela l'étape de compression est nécessaire.

## 2.4 La compression vidéo

Toutes les normes de compression vidéo partagent quelques principes de base que nous allons expliquer dans cette partie, Le principe fondamental de la compression vidéo est de réduire autant que possible les redondances d'informations dans les données, sans bien sûr que cela soit visible de manière flagrante pour l'œil humain, cela peut être résumé dans deux points important :

- ne pas transmettre les informations redondantes.
- ne pas transmettre les informations non ou peut perceptible par l'œil (l'oreille pour le cas d'un signal audio).

On peut distinguer deux principales méthodes de compression, la compression sans perte et la compression avec perte. :

- **La compression sans perte (Lossless)**

La suite de bits obtenue après la compression est strictement identique à l'originale. Il n'y a aucune perte dans l'information d'origine, l'information est seulement réécrite d'une manière plus concise. Les algorithmes utilisés ne garantissent pas que tous les ensembles de données en entrée soient réduits : en d'autres termes, il y a des données en entrée qui restent inchangées. Ce type a comme inconvénient un taux de compression faible.

- **La compression avec perte (Lossy)**

La suite de bits obtenue après la compression est différente de l'originale, mais l'information reste sensiblement la même. Elle est réservée aux données «perceptibles», en général sonores ou visuelles, qui peuvent subir une modification, parfois importante, sans que cela ne soit perceptible par un humain. La perte d'information est irréversible, il est impossible de retrouver les données d'origine après une telle compression, ce type a comme inconvénient un taux de perte de l'information plus ou moins visible.

Dans une séquence vidéo, il existe deux sortes de redondances : la redondance spatiale et la redondance temporelle.

### **2.4.1 Redondance spatiale et la redondance temporelle**

Dans une séquence vidéo, il existe deux types de redondances : la redondance spatiale et la redondance temporelle [13].

- **Redondances Spatiale**

Lorsque des informations sont similaires ou se répètent dans des zones de l'image proches l'une de l'autre (dans une image, deux points voisins sont souvent similaires), on parle de la redondance spatiale.

- **Redondances temporelle**

Lorsque des informations se ressemblent ou se répètent dans le temps, même si leur position dans l'image a changé (deux images successives sont souvent relativement similaires). La compression va donc consister à déterminer ces redondances et à les éliminer. La contrainte liée à la qualité de l'image nous oblige à être capables de reproduire l'image originale intacte ou, tout au moins, une image très proche de celle-ci. Cette définition nous amène à envisager deux types de techniques pour la compression.

Comme il décrit précédemment le DVB a adopté la norme MPEG comme norme de compression pour la télédiffusion numérique.

## **2.5 La norme MPEG**

En 1990, le besoin de stocker sous forme numérique et de reproduire des images animées et le son stéréophonique associé sur diverses plates-formes a conduit à la formation par l'ISO d'un groupe d'experts (MPEG, Moving Pictures Experts Group) venant de toutes les parties concernées par le problème (informatique, télécommunications, électronique grand public, Semi-conducteurs, radiodiffusion, Université). Le travail de ce groupe s'est concrétisé tout d'abord en 1992 par la norme ISO/IEC, beaucoup plus largement connue sous le nom MPEG-1[19]. Le but principal était de permettre le stockage

et la reproduction sur support CD-ROM (à l'époque a simple vitesse uniquement ou CD-I, avec un débit de l'ordre de 1.5Mb/s (image +son)[14].

### **2.5.1 La norme MPEG 2**

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

De plus, la norme prévoit en effet la compatibilité ascendante, ce qui signifie qu'un décodeur MPEG-2 doit pouvoir décoder des trains élémentaire de la norme MPEG-1[14].

### **2.5.2 Décomposition en couches d'une séquence vidéo MPEG-2**

MPEG-2 définit également une hiérarchie de couches (layers) à l'intérieur d'une séquence d'images, On trouve les couches suivantes, en partant du niveau le plus haut :

- **séquence**

C'est la couche la plus élevée, elle détermine le contexte dans lequel cette séquence est définie (paramètres vidéo de base tel que norme de balayage, etc.)

- **Groupe image (Group Of Pictures)**

C'est la couche permettant l'accès aléatoire a la séquence, avec une première image de type I.

- **Image (Picture)**

C'est la couche d'affichage élémentaire.

- **Tranche (silice)**

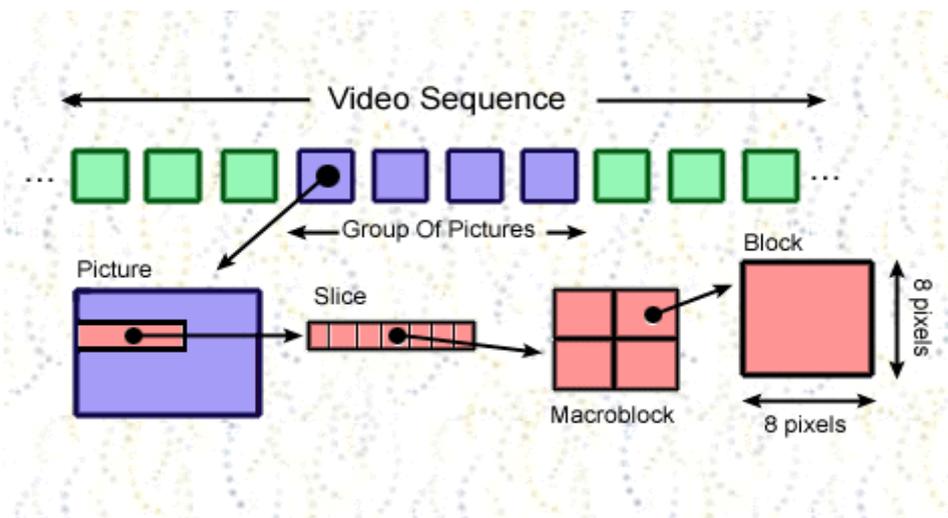
C'est la couche permettant l'adressage à l'intérieur de l'image ainsi que la synchronisation (par exemple la récupération des erreurs), elle est définie comme une suite de macro blocs contigus, L'ensemble des silces doit couvrir toute l'image, sans chevauchement entre elles. Une slice peut théoriquement aller d'une seule macro block à l'image entière, mais en pratique il s'agira le plus souvent d'une rangée horizontale complétée de macro blocs.

- **Macro bloc**

De taille 16x16 pixels, le macro bloc est formé de 4 blocs de luminance et 2 blocs de chrominance 1xCr et 1xCb, chacun de 8x8 pixels. C'est couche ou s'effectue la prédiction avec compensation de mouvement.

- **Bloc(Block)**

Sa taille est de 8x8 pixels, c'est comme en JPEG, la couche ou s'effectue la DCT.



**Figure 2.8.** Hiérarchie des données vidéo.

### 2.5.3 Group of Pictures (Gop)

La compression MPEG (MPEG-1/MPEG-2) s'effectué sur des groups d'images appelés définit trois types d'image (GOP) [14].

- **Les images I (Intra)**

Elles sont codées sans aucune référence à d'autres images, comme en JPEG, C'est-à-dire qu'elles contiennent tous les éléments nécessaires à leur reconstruction par le décodeur, et sont de ce fait le point d'entrée obligatoire lors de l'accès à une séquence. Le taux de compression des images I est relativement faible (comparable à celui de JPEG avec pertes).

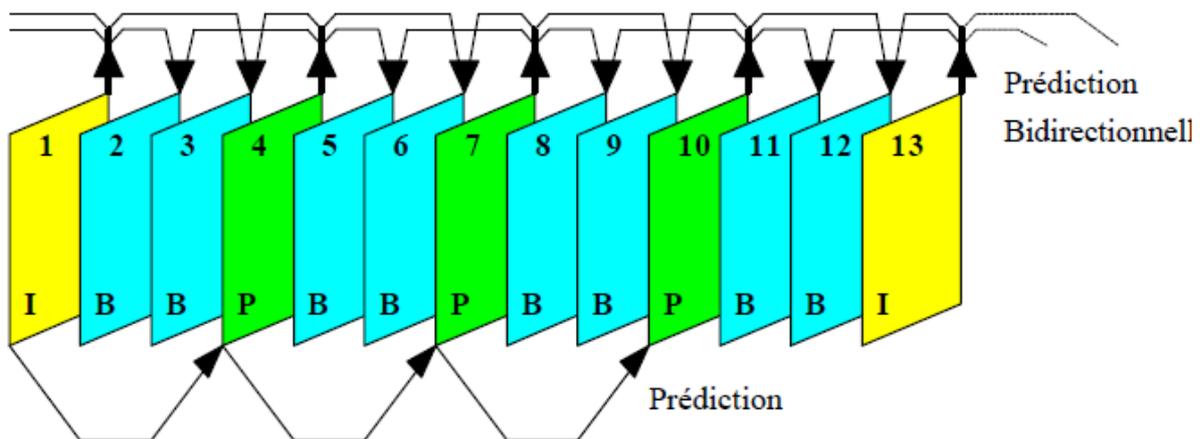
- **Les images P (Prédites)**

Elles sont codées par rapport à l'image de type I ou P précédente, grâce aux techniques de prédiction avec compensation de mouvement.

La compensation de mouvement n'étant pas parfaite, on ne pourra multiplier indéfiniment le nombre d'images P entre deux images I, car, étant utilisées pour coder d'autres images P ou B, elles propagent en l'amplifiant toute erreur de codage. Leur taux de compression est nettement plus important que celui des images I.

- **Les images B (Bidirectionnelles)**

Elles sont codées par interpolation entre les deux images de type I ou P précédente et suivante qui les encadrent, comme elles ne sont pas utilisées pour définir d'autres images, les images B ne propagent donc pas les erreurs de codage, c'est ce type d'images qui offre le taux de compression le plus fort.



**Figure 2.9.** GOP rangé dans l'ordre d'affichage [12].

## 2.5.4 Transformée en cosinus discrète (DCT)

Une opération permet de transformer un bloc d'une composante, en un ensemble de fréquences décrivant le même ensemble (c'est un changement de représentation isomorphe). Une fois de plus le but final est de profiter des faiblesses de l'œil humain qui remarque beaucoup moins une perte de données réparties que localisée.

La première étape consiste à découper l'image en petits blocs de 8x8 pixels ou chaque bloc est représenté par une table de 64 nombres entiers compris entre 0 et 255.

Les nombres représentent la valeur de luminance de chaque pixel.

L'étape de seuillage et de quantification permet de mettre à 0 les coefficients inférieurs à une valeur déterminée (non significatif).

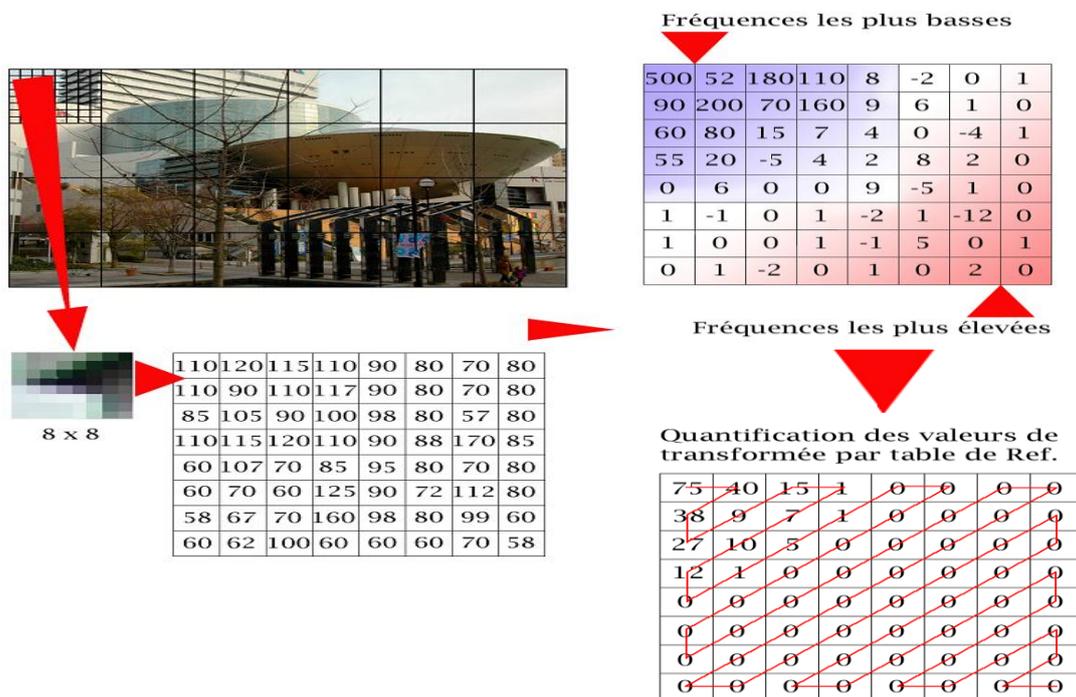


Figure 2.10. Exemple explicatif sur la transformée cosinus discret.

La transformée DCT s'exprime mathématiquement par :

$$F(u, v) = \frac{2}{\sqrt{nm}} C(u)C(v) \sum_{y=0}^{m-1} \sum_{x=0}^{n-1} I(x, y) * \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2n}\right) * \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2m}\right) \quad (2.6)$$

Et la transformée DCT inverse s'exprime par :

$$I(x, y) = \frac{2}{\sqrt{nm}} C(u)C(v) \sum_{v=0}^{m-1} \sum_{u=0}^{n-1} F(u, v) * \cos\left(\frac{(2x+1)y\pi}{2n}\right) * \cos\left(\frac{(2y+1)x\pi}{2m}\right) \quad (2.7)$$

Avec

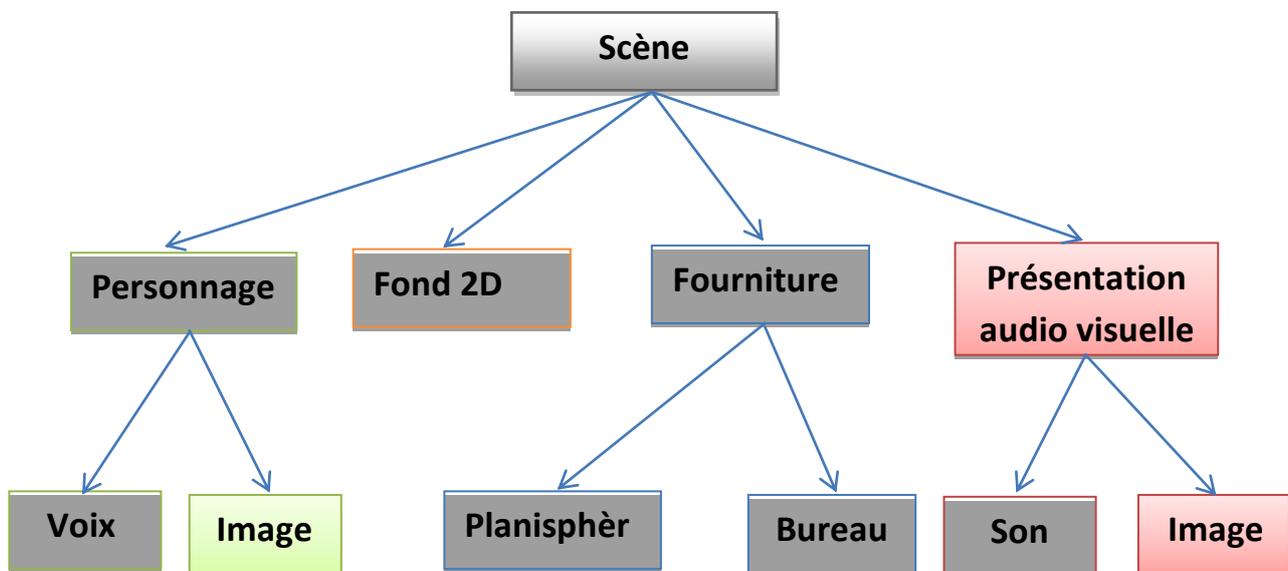
- n et m, la largeur et la hauteur de l'image en pixel.
- C(u) et C(v) les facteurs d'orthogonalité de la transformée:

$$C(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{Pour } u=0; \\ 1 & \text{Pour } u \neq 0; \end{cases}$$

### 2.5.5 La norme MPEG 4

Dès 1995, le standard MPEG4 commença à émerger du point de vue théorique. Le premier document officiel le concernant fût écrit au début de 1998, c'est l'iso ISO 14496. Le but du MPEG4 est d'englober les codecs MPEG existant et de leur rajouter une nouvelle dimension permettant un standard beaucoup plus malléable et étendu [15].

Il dépasse complètement la compression vidéo classique, le standard MPEG-4 se base sur le concept d'objets média (media objects) pour représenter des contenus audio-visuels. Ces objets peuvent être combinés et synchronisés. Ils interagissent avec l'utilisateur selon des limites fixées par leurs auteurs. Une hiérarchie lie les objets. Le niveau de base est constitué "d'objets médias primitifs" regroupant les images fixes, les vidéos, les sons, le texte, les graphiques, les visages parlants synthétiques et les sons synthétiques. MPEG-4 permet la composition de scènes complexes en standardisant la façon de placer, transformer, grouper, modifier et interagir avec les objets. La partie visuelle de la norme MPEG-4 décrit les méthodes pour la compression des images et des vidéos, des textures. Le codage flexible (scalable) des flux vidéo est intégré dans la norme MPEG-4. Il est possible de ne décoder qu'une partie du flux vidéo. Cette caractéristique permet d'adapter le flux vidéo aux limitations de débit du canal de transmission ou aux capacités du décodeur, le schéma en-dessous résume la hiérarchisation de la norme MPEG-4 [16].



**Figure 2.11.** Hiérarchisation des objets média en MPEG-4 [17].

## 2.6 Trame DVB-S (Les tables de compression)

Le choix par le groupe DVB du standard MPEG-2 pour le codage et le multiplexage des données a été stratégique. Il fut motivé par la possibilité dont dispose MPEG-2 de générer des images avec une qualité qui varie de studio à la haute définition mais aussi par le fait que la norme ait été retenue par l'ISO (International Organization for Standards) et soit devenue un standard pour la TV numérique des débits de 3 à 10 Mbit/s. MPEG-2 se compose d'un ensemble de standards génériques ne pouvant pas être utilisés tels quels pour construire des services comme ceux proposés par DVB.

Le standard MPEG-2 regroupe des méthodes de multiplexage. Elles reposent essentiellement sur le découpage des flux élémentaires ES (*Elementary Stream*) en trames élémentaires dites PES (Packet Elementary Stream). Les PES sont formés des flux audio, vidéo et de données de synchronisation.

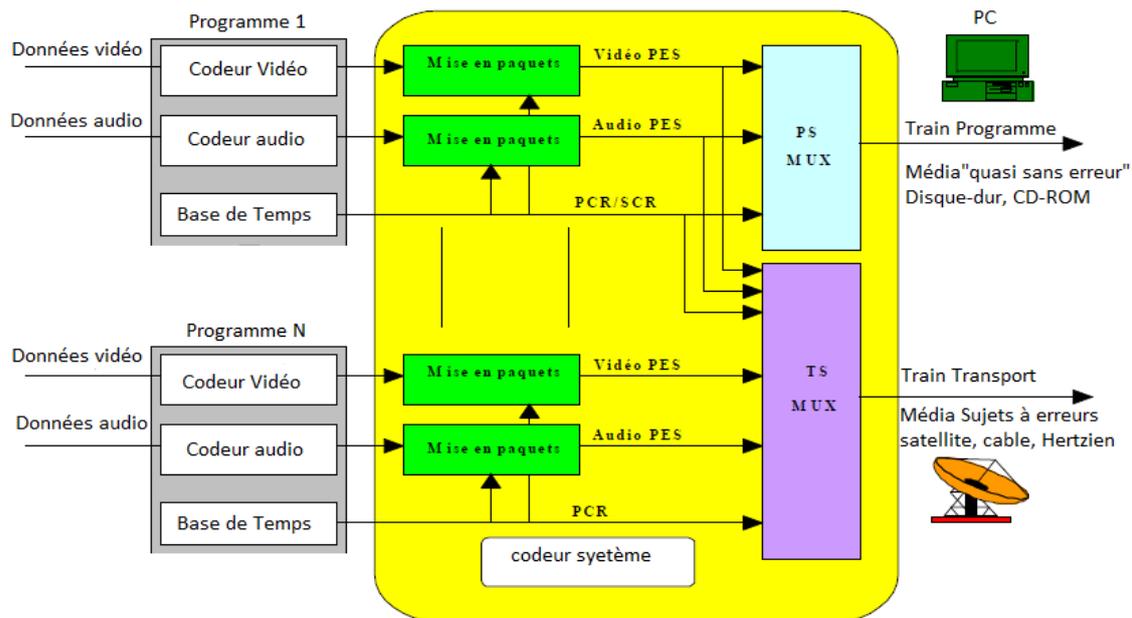
Deux méthodes de multiplexage sont proposées dans MPEG-2. L'utilisation dépend de l'application et du support de transmission.

### 2.6.1 Program Stream

Le train programme est formé à partir d'un unique programme regroupant plusieurs PES (audio, vidéo et données de synchronisation). Reposant sur des paquets de grande taille (2048 octets par exemple), PS est privilégié pour les supports et les canaux à faible taux d'erreurs. Il est utilisé pour le stockage des média sur disque dur, CD ou DVD. Ce type de train n'est donc pas utilisé pour un réseau de télédiffusion comme celui de TDA.

### 2.6.2 Transport Stream

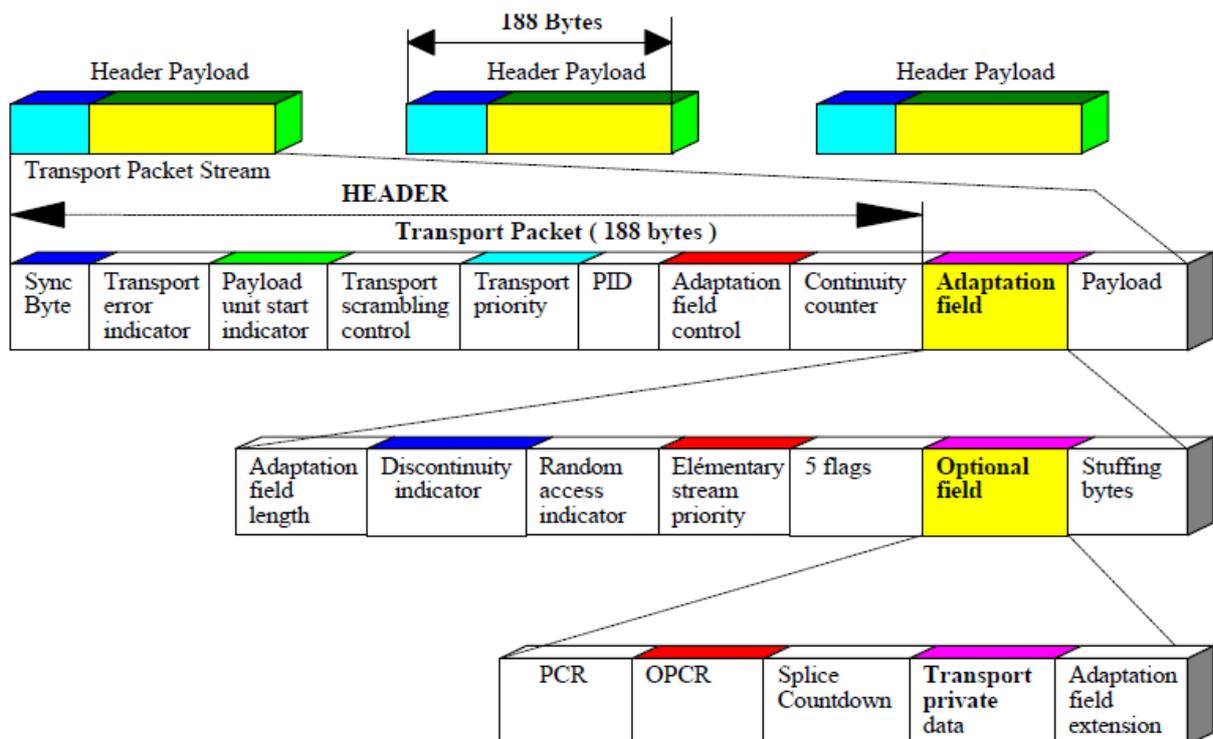
Le train transport de MPEG-2 qui peut en revanche combiner plusieurs programmes, nous intéresse davantage dans notre contexte. TS est privilégié pour les supports de transmission à forte probabilité d'erreurs comme le canal satellite. Les codes correcteurs d'erreurs mis en place sont d'autant plus efficaces que les blocs qu'ils traitent sont petits. La trame élémentaire d'un *Transport Stream* est fixée à 188 octets.



**Figure 2.12.** Schéma conceptuel de la génération des trains programme et transport MPEG-2 [12].

### 2.6.3 Constitution du paquet transport MPEG-2

Un paquet transport de 188 octets se compose d'un en-tête de paquet (packet header) de 4 octets et d'une charge utile (payload) de 184 octets maximum, éventuellement précédée d'un champ d'adaptation (adaptation field). La charge utile est constituée des paquets des trains élémentaires (Packetized Elementary Streams PES) composant les programmes TV transmis par le canal, ainsi qu'un certain nombre de données auxiliaires permettant au décodeur de se retrouver dans le train transport MPEG-2.



**Figure 2.13.** Transport Stream TS : structure paquet [12].

Le champ d'adaptation sera également utilisé pour la transmission d'horloge du programme PCR (Program clock Reference).

### 2.7 Les tables PSI et DVB-SI du service MPEG-2

Comme nous l'avons vu, le Transport Stream MPEG-2 peut transporter plusieurs programme, composés d'un ou plusieurs trains élémentaires en paquets (PES), Afin que le

décodeur puisse se trouver dans cette jungle, MPEG-2 a défini trois tables dont l'ensemble constitué l'information spécifique des programmes (Program Specific Information).

### 2.7.1 Tables de DVB-PSI

- **Program Association Table (PAT)**

La présence de cette table est obligatoire, son rôle est d'indiquer pour chaque programme envoyé par le Mux-Stream, le lien entre le numéro de programme et le PID des paquets transportant une table indiquant la carte du programme PMT (Program Map Table).

- **Program Map Table (PMT)**

Elle indique (en clair) les informations relatives à un unique programme consistant en les PID de l'ensemble des ES qui le forment en plus de la localisation de la référence temporelle qui lui est spécifique [18].

- **Conditionnal Acces Table (CAT)**

Cette table doit être présente lors certains services sont embrouillés, identifie les systèmes d'accès conditionnels utilisés, renseignent leurs paramètres et leur associe la composante véhiculant les messages EMM. En cas de présence de composantes embrouillées, la présence de cette table est obligatoire dans le multiplex [14].

A ces table, la norme DVB ajoute des informations complémentaires (DVB-SI Service Information) permettant au récepteur de ce configurer automatiquement et à l'utilisateur de naviguer dans les nombreux services.

### 2.7.2 Tables de DVB-SI

- **Network Information Table (NIT)**

Network Information Table elle contient le plan de fréquences du réseau en cours. Pour chaque TS elle indique la fréquence utilisée ainsi que son contenu (Numéro de programme) et l'adresse PID de la SDT associée [12].

- **Service Description Table (SDT)**

Service Description Table donne pour chaque numéro de programme du TS en cours le descriptif en clair des services disponibles. Ces informations seront affichées (Nom du programme options...) sur l'écran du téléviseur [14].

- **Event Information Table (EIT)**

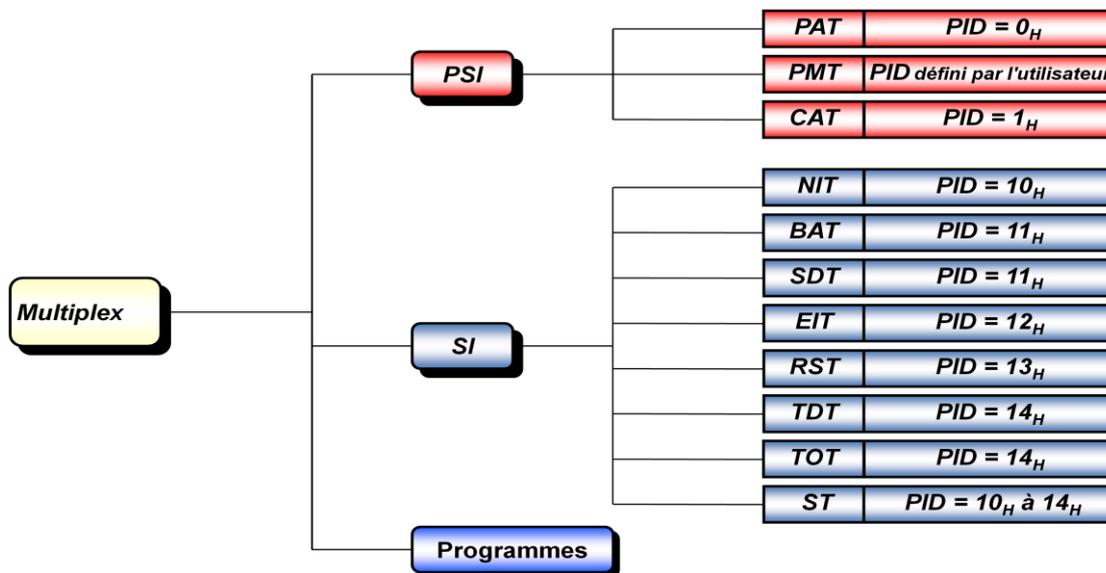
Event Information Table décrit les évènements présents et suivants concernant le programme courant ainsi que des autres programmes du multiplex en cours.

- **Time and Date Table (TDT)**

Cette table est utilisée pour la remise à l'heure de l'horloge interne du récepteur [19].

Il existe quatre d'autre tables secondaires (BAT, RST, TOT, SDT).

La structure des tables PSI et DVB-SI du service MPEG-2 sont présentés sur la figure suivante



**Figure2.14.** Structure des tables dans le Multiplex [19].

### 2.7.3 Utilisation des Tables

Lorsque l'utilisateur demande un des programmes du réseau le terminal (démodulateur) va rechercher le TS concerné dans la NIT. Puis il envoie vers le démodulateur la fréquence du canal contenant le TS. Le démodulateur récupère alors le TS. La nouvelle PAT (PID=0) va donner l'adresse de la PMT du programme souhaité. La PMT indiquera ensuite l'adresse PID des différents services (vidéo audio et datas) constituant le programme. Le terminal procédera ensuite à l'extraction de ces paquets qui une fois débarrassés de leur

empaquetage seront envoyés vers le décompresseur MPEG en vue de l’affichage sur le téléviseur. Les informations sur le programme contenues dans la SDT seront également affichées [12].

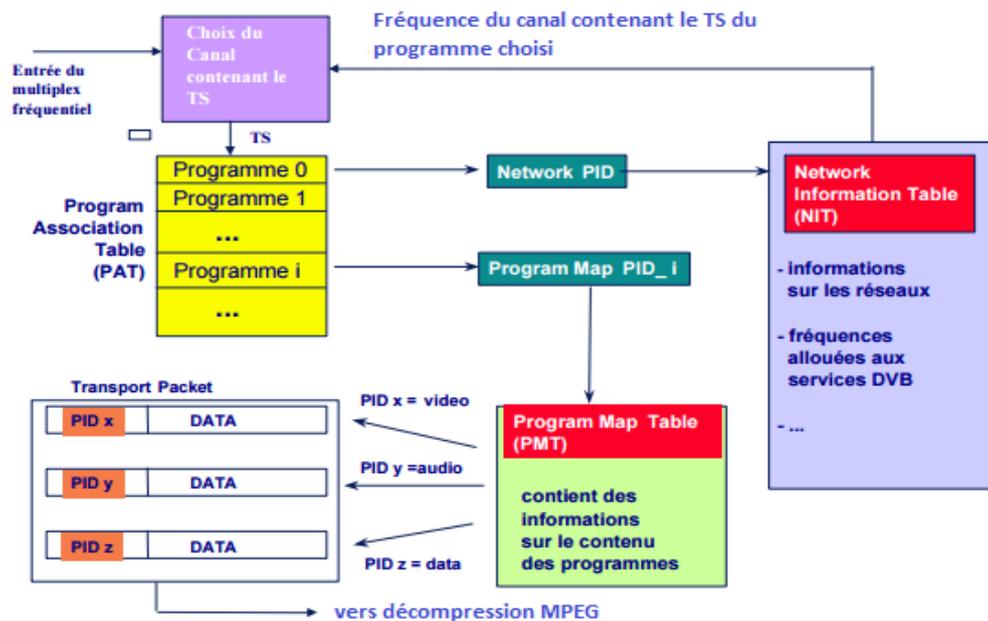


Figure 2.15. Choix d’un programme dans le réseau.

## 2.8 Partie radio fréquence

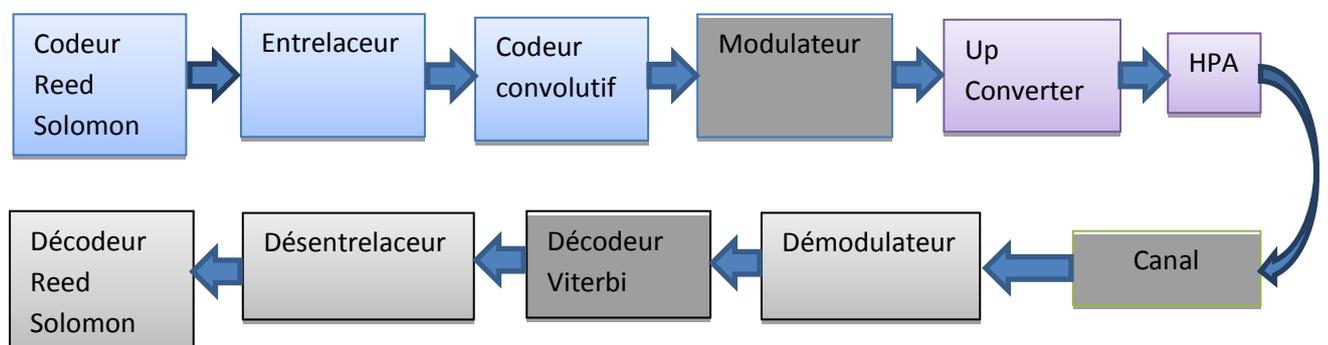
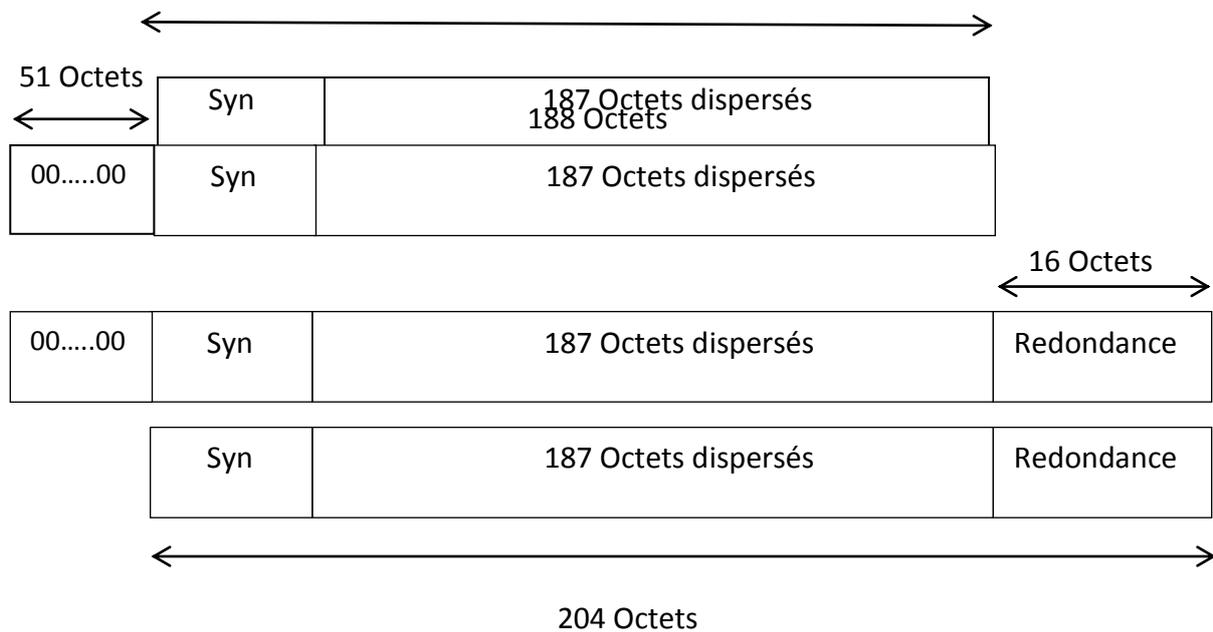


Figure 2.16. Partie radiofréquence(RF) d’une chaîne de transmission DVB-S.





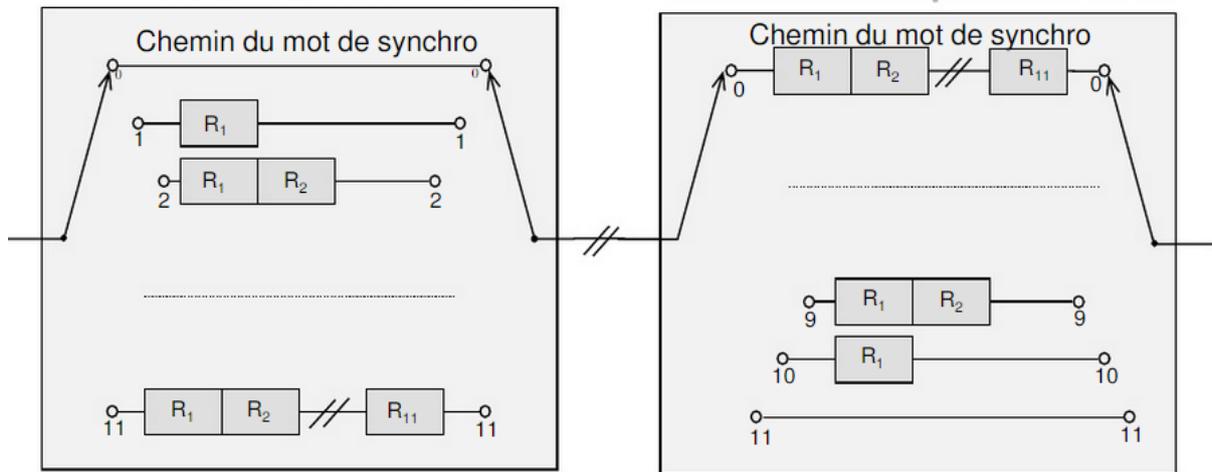
**Figure 2.18.** Raccourcissement du code de Reed-Salomon.

## 2.8.2 Entrelacement et desentrelacement

Les techniques d'entrelacement et de desentrelacement permettent de répartir de façon aléatoire les erreurs afin de faciliter la correction des erreurs au décodage. Pour éviter la perte des symboles affectés par l'environnement à trajets multiples, on effectue après le codage, un entrelacement des symboles. L'entrelacement consiste à placer dans un ordre différent et selon une règle prédéfinie les bits d'entrée. Le desentrelaceur s'assurera que les bits reçus seront introduits colonne par colonne et lus ligne par ligne afin de récupérer les symboles de la séquence transmise dans le bon ordre.

### Entrelaceur de profondeur $l=12$

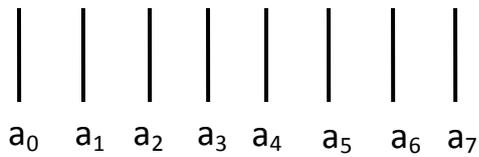
### désentrelaceur de profondeur $l=12$



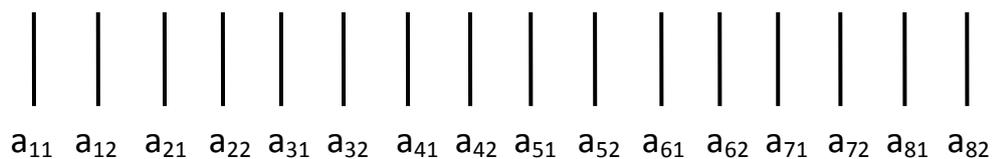
**Figure 2.19.** Synoptique de l'entrelaceur et du désentrelaceur [21].

En fait, l'entrelacement permet de changer l'ordre des symboles à l'émission, alors que le désentrelacement permet de les remettre en ordre à la réception. Il existe plusieurs types d'entrelacement dont l'entrelacement bloc et l'entrelacement convolutionnel.

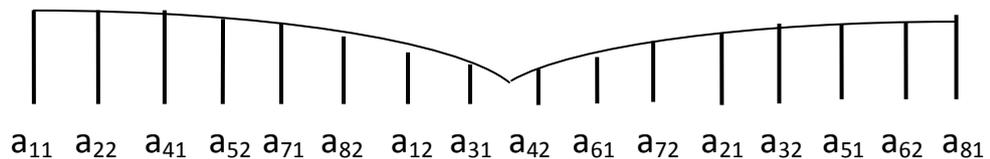
### Données numériques avant codage



### Codage convolutionnel de rendement 1/2 : un bit d'entrée, deux bits de sortie



### Entrelacement simple



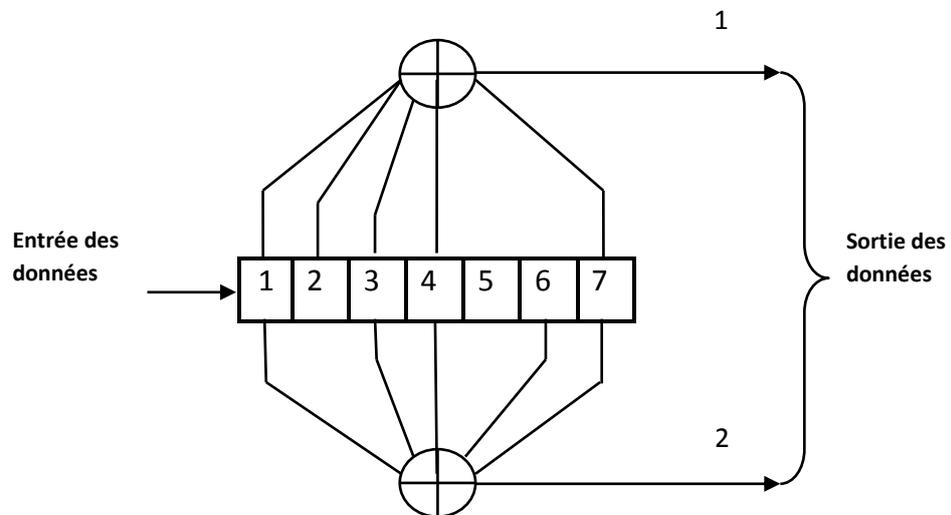
**Figure 2.20.** Codage et l'entrelacement.

L'entrelacement convolutionnel consiste à placer les bits d'entrée de façon aléatoire dans la liste entrelacée. Afin de récupérer les bits dans le bon ordre, la table de correspondance doit être connue au niveau du desentrelaceur car, contrairement à l'entrelacement bloc, la règle régissant le positionnement des bits dans la liste entrelacée n'est pas connue d'avance pour l'entrelacement convolutionnel[22].

### 2.8.3 Code convolutif

Lorsque on transmet un signal dans un milieu très bruités comme dans le cas des liaisons satellites ou terrestres, il convient de renforcer encore les mesures de protection des données à transmettre. Car Les codes convolutifs forment une classe extrêmement souple et efficace de codes correcteurs d'erreur.

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 2.21.** codeur convolutif.

La figure en-dessus représente le codeur utilisé par le DVB. On voit que chaque bit incident va générer deux bits sortants et qu'il sera lié aux 6 bit 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.

L'opération de décodage est réalisée en réception par le décodeur de Viterbi[23].

### 2.8.4 Poinçonnage

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

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

**Tableau 2.1.** Poinçonnage du code convolutif.

Le poinçonnage crée donc des erreurs puisqu'il ne transmet pas tous les bits. En réception, le décodeur de Viterbi remplace ces bits manquants par des zéros. Mais la robustesse du codage convolutif pallie à ce défaut et permet de retrouver la valeur la plus probable du bit erroné ou manquant [24].

### 2.8.5 Décodage de Viterbi

Cet algorithme est une méthode optimale de décodage pour les codes convolutifs, ses performances dépendant de la qualité du canal de transmission utilisé, Il est utilisé dans les applications des systèmes sans fil: les modems, GSM, satellite DVB, TV portable comme le DVB-H, il consiste à rechercher dans l'arbre le chemin qui correspond à la séquence la plus probable, c'est-à-dire celle qui est à la distance minimale de la séquence reçue ou encore la séquence la plus probable [23].

### 2.8.6 Modulation :

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

$S(t) = A \cos(\omega_0 \cdot t + \phi_0)$  (2.8) , centrée sur la bande de fréquence du canal[25]. Les paramètres modifiables sont :

L'amplitude :  $A$ .

La fréquence :  $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ .

La phase:  $\phi_0$ .

Dans les procédés de modulation binaire, l'information est transmise à l'aide d'un paramètre qui ne prend que deux valeurs possibles. Dans les procédés de modulation *M – aire*, l'information est transmise à l'aide d'un paramètre qui prends M valeurs. Ceci permet d'associer à un état de modulation un mot de n digits binaires. Le nombre d'états est donc  $M = 2^n$ . Ces n digits proviennent du découpage en paquets de n digits du train binaire issu du codeur.

Le message à transmettre est issu d'une source binaire. Le signal modulant, obtenu après codage, est un signal en bande de base, éventuellement complexe, qui s'écrit sous la forme :

$$C(t) = \sum_k c_k \cdot g(t - kT) = c_k(t) = a_k(t) + jb_k(t) \quad (2.9)$$

$$\text{avec } c_k = a_k + jb_k \quad (2.10)$$

La fonction  $g(t)$  est une forme d'onde qui est prise en considération dans l'intervalle  $[0, T[$  puisque t doit vérifier la relation :  $kT \leq t < (k + 1)T$ .

Le signal modulé s'écrit simplement :

$$m(t) = \sum_k a_k(t) \cdot \cos(\omega_0 + \phi_0) - \sum_k b_k(t) \cdot \sin(\omega_0 + \phi_0) \quad (2.11)$$

$$\text{Ou encore } m(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_0 + \phi_0) - b(t) \cdot \sin(\omega_0 + \phi_0)$$

Avec :

$$a(t) = \sum_k a_k(t) \quad (2.12)$$

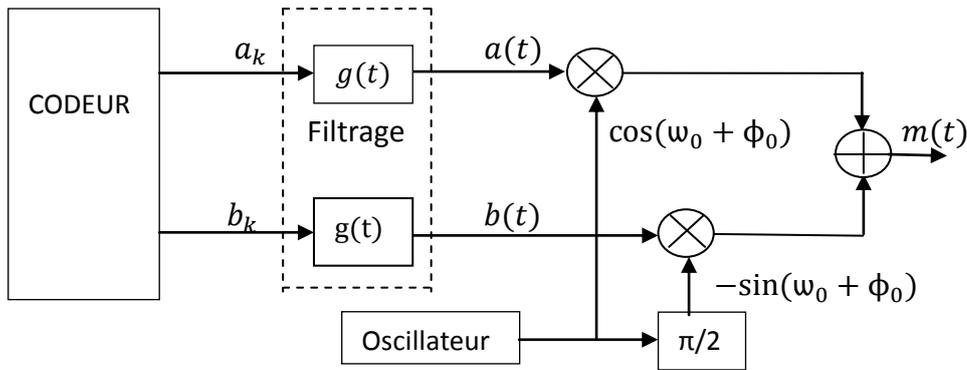
$$b(t) = \sum_k b_k(t) \quad (2.13)$$

Le signal  $a(t) = \sum_k a_k(t)$  module en amplitude la porteuse en phase  $\cos(\omega_0 t + \phi_0)$

et le signal  $b(t) = \sum_k b_k(t)$  module en amplitude la porteuse en quadrature  $\sin(\omega_0 + \phi_0)$ .

Dans la plupart des cas les signaux élémentaire  $a_k(t)$  et  $b_k(t)$  sont identique a un coefficient près et ils utilisent la même forme d'impulsion  $g(t)$  appelé aussi "formant".

$$a(t) = \sum_k a_k \cdot g(t - kT) \text{ et } b(t) = b_k \cdot g(t - kT) \quad (2.14)$$



**Figure 2.22.** La forme générale d'un modulateur.

- **La modulation QPSK :**

La transmission satellite demande des codes de corrections puissants et une modulation la moins sensible possible aux distorsions de phase et d'amplitude. En effet la transmission est énormément bruitée, et les tubes des transpondeurs travaillant en saturation, il est hors de question de travailler avec une information modulée en amplitude.

C'est une modulation de phase à deux niveaux sur chacune des porteuses en quadrature.

Dans ce cas :  $n = 2, M = 4$  et  $\phi_k = \frac{\pi}{4} + k \frac{\pi}{2}$ .

Les bits du train binaire entrant sont groupés par deux pour former des symboles correspondant aux  $c_k$  qui prennent alors leurs valeurs dans un alphabet de 4 éléments suivant :  $\{e^{j\phi_k}\}$  ou  $\phi_k = \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4}$ . On peut aussi considérer que  $a_k$  et  $b_k$  prennent simultanément leurs valeurs dans l'alphabet  $\{\cos(\phi_k)\}$  et  $\{\sin(\phi_k)\}$ .

Le tableau suivant précise les différentes valeurs en fonction du symbole à transmettre.

Bit Pair	Bit impair	Symbole	$\Phi_k$	$a_k$	$b_k$	$a_k\sqrt{2}$	$b_k\sqrt{2}$
0	0	00	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	1	1
1	0	01	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	1
1	1	11	$\frac{5\pi}{4}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1	-1
0	1	10	$\frac{7\pi}{4}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	1	-1

**Tableau 2.2.** Simplification de la modulation QPSK.

Ce tableau met en évidence la relation simple qui existe entre les bits pairs et les  $a_k$ , et entre

les bits impairs et les  $b_k$ . A une homothétie près et en désignant par  $\{ i_k \}$  la suite des valeurs

du train binaire au rythme de  $T_b = \frac{T}{2}$  on obtient  $a_k = 1 - 2 \cdot i_{2k}$  et  $b_k = 1 - 2 \cdot i_{2k+1}$  (2.15)

$$m(t) = A \cdot \sum (2 \cdot i_{2k}) \cdot g(t - KT) \cdot \cos((\omega_0 t + \phi_0) - A \cdot \sum (1 - 2 \cdot i_{2k+1}) \cdot g(t - KT) \sin(\omega_0 + \phi_0)$$

$$m(t) = a(t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) - b(t) \cdot \sin(\omega_0 + \phi_0). \quad (2.16)$$

Les deux figures si dessous représentent respectivement le schéma de la modulation QPSK et sa constellation :

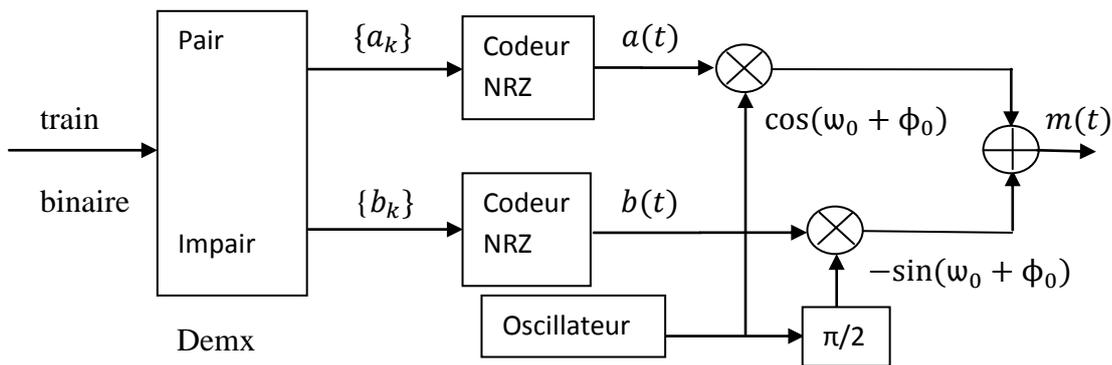


Figure 2.23 la forme du modulateur QPSK.

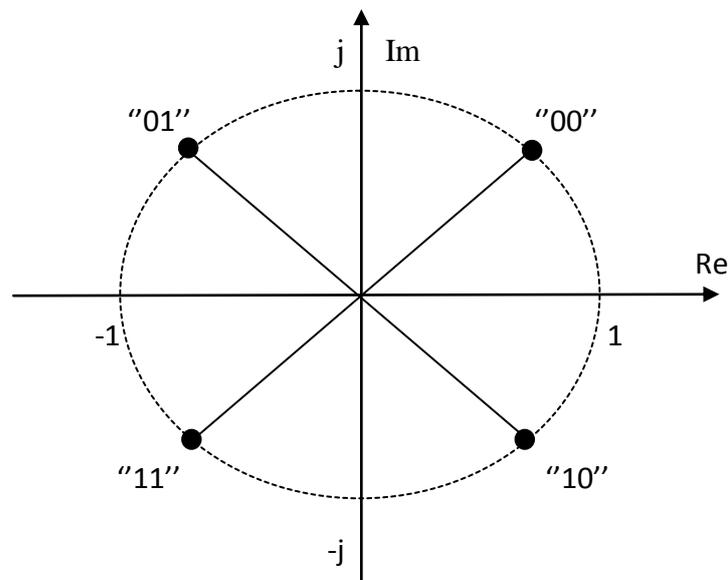


Figure 2.24. Constellation de la modulation QPSK.

### 2.8.7 Up converter (mélangeur de fréquence) :

Le mélangeur de fréquence a pour fonction la transposition en fréquence du signal RF, soit vers une fréquence plus haute (up-converter), soit à une fréquence plus basse (down-converter). [26]

Pour le cas d'émission, le signal sortant du modulateur  $f_I$  est transposé vers une fréquence plus haute  $f_{RF}$  grâce à la fréquence d'un oscillateur local  $f_{OI}$  selon l'équation simple suivante :

$$f_I + f_{OI} = f_{RF} \quad (2.17)$$

La fréquence du signal sortant du modulateur est de 70Mhz va subir une transposition jusqu'à une fréquence d'environ de 14 Ghz.

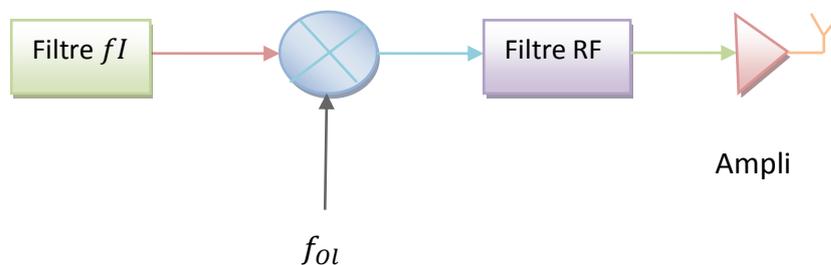


Figure 2.25. Schéma du mélangeur de fréquences.

### 2.8.8 Amplificateur de puissance HPA :

Pour assurer correctement l'acheminement des informations, les émetteurs ont besoin d'amplificateurs de puissance pour fournir une certaine puissance aux signaux (radio-fréquence) et éviter qu'ils ne s'affaiblissent fortement lors de leur propagation dans l'espace libre[27].

Pour cela un tel dispositif est obligatoire dans les télécommunications par satellite et donc obligatoire aussi pour la DVB-s.

### 2.8.9 L'antenne

Est un élément fondamental dans un système de transmission permettant de rayonner et de capter des ondes électromagnétiques, l'antenne est un transducteur électromagnétique plus au moins complexe placé dans un endroit dégagé, elle se définit par les paramètres suivants :

- fréquence d'utilisation
- impédance d'antenne polarisation,
- diagramme de rayonnement
- rendement et puissance Max en émission
- formes et dimension.

Par exemple l'antenne utilisée pour l'émission du bouquet MCPC vers le satellite NSS7 est une antenne de marque ANDREW de diamètre 7.6 m et est utilisée pour une transmission DC et une réception RX en bande KU (10,7Ghz à 14Ghz).

Cette antenne est équipée de tous les moyens permettant son orientation (calibrage et pointage). Voici ci-dessous l'antenne (émission et réception) :



**Figure 2.26.** Antenne d'émission et réception.

### 2.8.10 La deuxième génération de DVB-S

Le standard DVB-S2, comme spécifié par l'ETSI EN 302 307 représente une évolution majeure de la diffusion numérique par satellite pour la télévision.

Avec les nouveautés apportées, nous avons gagné en efficacité spectrale d'une valeur de l'ordre de 30% à 40% 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 des techniques de codage et de modulation. Le tableau 2.3 représente les principales différences entre le DVB-S2 et le DVB-S [28].

<b>Année</b>	<b>1994</b>	<b>2003</b>
<b>Standard</b>	DVB-S	DVB-S2
<b>Codage</b>	Viterbi, Reed Solomon	LDPC
<b>Modulation</b>	QPSK	QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK
<b>Format des données</b>	MPEG-2	MPEG-2, MPEG-4, données

**Tableau 2.3.** Evolution du standard de communication par satellite.

La vaste gamme d'efficacité spectrale et de configurations en termes de rapport porteuse à bruit ( $C/N$ ) ont rendu la norme DVB-S2 d'une telle souplesse qu'elle est compatible avec toutes les fonctionnalités des répéteurs satellite.

De plus, elle n'est pas limitée au codage vidéo et audio MPEG-2, mais conçue pour gérer un éventail de formats audio et vidéo évolués que le projet DVB définit actuellement. La DVB-S2 prend en charge n'importe quel format entrant, y compris les flux de transport MPEG simples ou multiples, les flux binaires continus ainsi que les paquets IP.

## 2.9 Conclusion

Nous arrivons à présent à la fin de ce deuxième chapitre dans lequel nous avons parlé du projet DVB. Nous avons dans un premier temps abordé la norme DVB-S d'une manière plus ou moins détaillée, en insistant sur l'architecture de la chaîne de transmission au niveau de la couche physique et sur la méthode d'encapsulation de données MPEG-2 TS. Ensuite, nous avons exposé la deuxième génération du DVB-S, Cette étude nous a fait comprendre le fonctionnement des chaînes d'émission - réception DVB-S et DVB-S2. Chose qui nous permettra de passer à la deuxième étape, en l'occurrence, la concrétisation de ces notions théoriques. C'est là toute l'utilité du troisième chapitre, dans lequel nous exposons la

réalisation de ces chaînes, ainsi que des tests de performances au sein d'un même standard, ou entre les deux standards précédemment cités.

## Chapitre 3 manipulation, paramétrage et mesure

---

### 3.1 Introduction

Lors de notre stage au sein du téléport BOUCHAOUI (TDA), on a regroupé de nombreuses connaissances et maitrises techniques sur le fonctionnement de la télévision numérique en standard DVB et en particulier le DVB-S (digital video broadcasting satellite) et la configuration, la mise en service des stations terriennes. Dans le cadre de ce stage, on a pu manipuler, réaliser et configurer des bancs de test, dans le but d'augmenter l'efficacité spectral pour assurer une distribution d'un nombre maximal de services toute en gardant une bonne qualité de la vidéo audio.

Dans une première phase de ce chapitre, nous présenterons les différents parties de la station terrienne de distribution SES4 (partie bande basse et partie RF). Avant de commencer à faire des tests, on doit faire quelque présentation sur les équipements utilisés.

### 3.2 Montage et paramétrage d'une bande base de test



**Figure 3.1.** Salle d'équipement bande base du téléport de Bouchaoui.



**Figure 3.2.** Banc d'équipements utilisés pour différents test.

### 3.2.1 Présentation de codeur Thomson EM 2000

Parmi les codeurs utilisés dans le centre de (TDA), on trouve le codeur Thomson de type VIBE EM2000, il est conçu pour les télécommunications par satellites et terrestres, il fait la compression de la vidéo en MPEG2, et la compression audio en MPEG1. La configuration de cet équipement est faisable en deux manières :

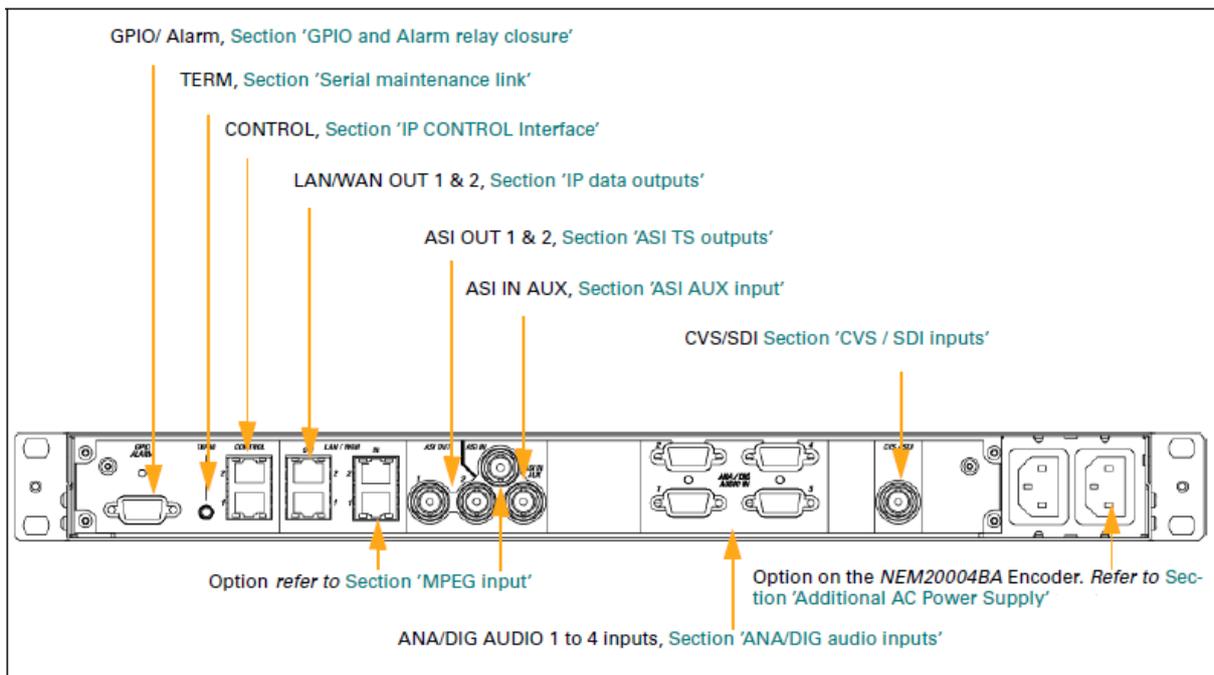
- En utilisant le clavier de commande et l'écran LCD présent sur l'interface.
- Par l'interface graphique en utilisant un PC et à l'aide d'un serveur embarqué dans le codeur, il suffit juste de configurer le PC avec une adresse IP dans le même segment que l'équipement et les faire connecter.

Les formes des signaux audio et vidéo qui peuvent être traités par ce codeur sont :

- Un signal analogique.
- Un signal numérique SDI (non compressé), avec un débit binaire de 270 Mbits/s.
- Un signal numérique compressé (ASI).



**Figure 3.3.** L'interface avant du codeur VIBE EM2000.



**Figure 3.4.** L'interface arrière du codeur VIBE EM2000.

### 3.2.2 Présentation de Dektec DTU 245

Dans cette partie pratique l'équipement qu'on a utilisé pour visualiser le flux de signale est le Dektec DTU 245, c'est un outil indispensable pour les ingénieurs du domaine de télédiffusion numérique, qui a un module USB-2 multi usages une entrée et une sortie ASI/SDI indépendantes et qui permet :

- d'analyser et d'enregistrer les flux ASI et les signaux SDI en temps réel.
- De récupérer, superviser et générer les flux ASI et SDI.
- l'enregistrement et l'analyse de flux MPEG-2.
- De convertir les interfaces ASI et SDI en USB qui peuvent êtres visualisées sur un PC.

- D'afficher les différentes tables de compression et le débit binaire à l'aide de Stream-Expert.

Cet équipement a également plusieurs avantages telque :

- Module auto alimenté : pas de besoin d'alimentation externe.
- Matériel portable pour démonstration.
- Module USB-2 multi usages une entrée et une sortie ASI/SDI indépendantes.
- Le DTU-245-SDP est fourni avec logiciel DtGrabber+ (logiciel d'enregistrement des flux) ainsi que DtTV (logiciel de visualisation temps réel des chaînes issues d'une TS) ainsi que Stream-Xpress (Logiciel convivial de lecture des fichiers transports sur PC).



**Figure 3.5.** Interface de Dektec DTU 245 ASI-SDI/ USB.

➤ **Schéma synoptique de Dektec DTU 245**

La figure suivante (figure 3.6) présente le schéma synoptique de Dektec DTU 245, elle illustre les principaux blocks de ce dernier.

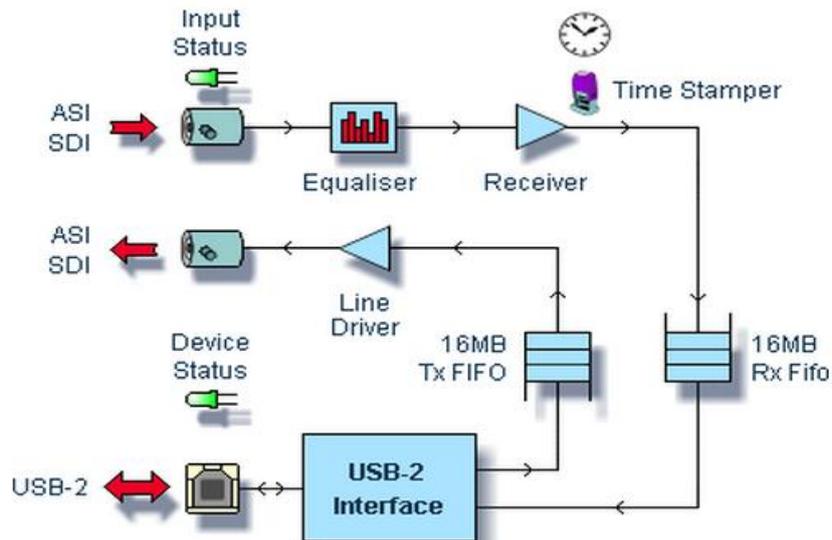


Figure 3.6. Schéma synoptique de Dektec DTU 245.

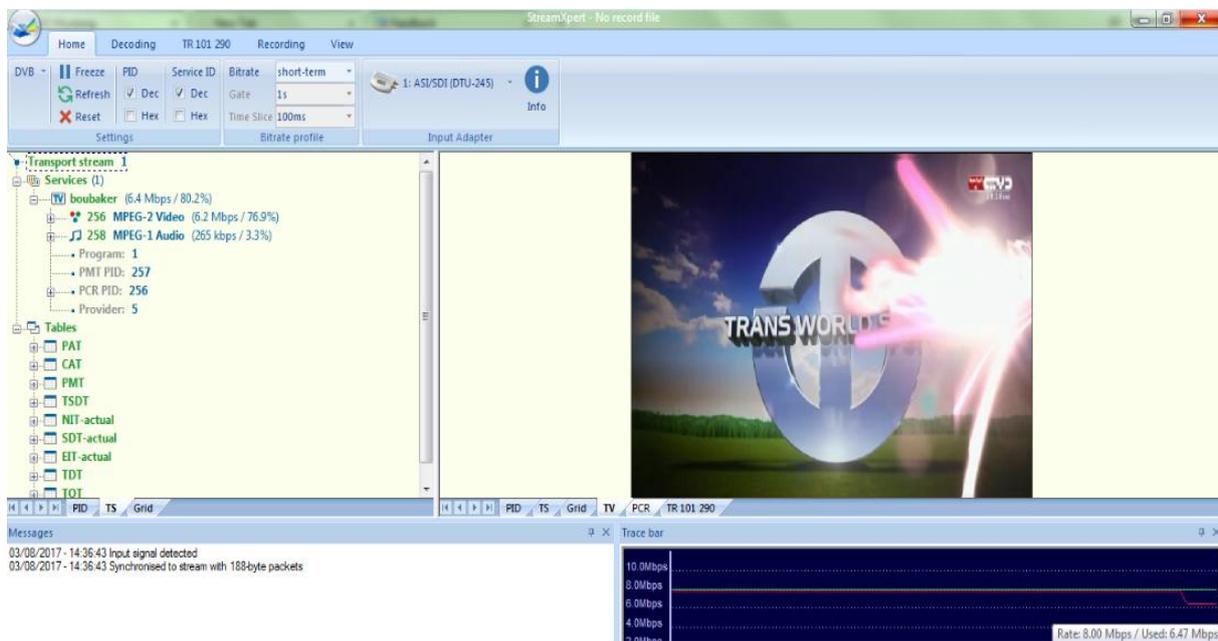


Figure 3.7. Visualisation d'un service via le logiciel Stream-expert (Dektec).

### 3.2.3 Présentation de codeur FUJITSU (IP-920E)

Le codeur IP-920E est un équipement de codage vidéo hautement efficace qui utilise MPEG-4 "H.264" pour effectuer une transmission IP en temps réel de la SDTV avec haute performance et de TVHD à faible débit sur les réseaux DVB et IP à large bande, il peut aussi prendre en charge l'audio analogique pour les utilisateurs professionnels. En utilisant les

derniers outils de compression et des algorithmes de traitement d'image pour fournir la meilleure qualité vidéo. Avec une correction d'erreur robuste à l'aide de technologies propriétaires Fujitsu, la vidéo peut être envoyée sur des connexions Internet publiques. Les solutions compactes sont idéales pour l'utilisation de la livraison de contenu HD / SD dans les applications de diffusion, d'entreprises et gouvernementales.



Figure 3.8. L'interface arrière du codeur FUJITSU IP-920E.

### 3.3 Effet de la compression sur la qualité de La vidéo

Au niveau du studio de montage de l'Entreprise Nationale de la Télévision (ENTV), le signal vidéo à un débit de 270 Mbits/s, donc la vidéo ne peut pas être diffusé, elle nécessite un traitement du signal pour minimiser le débit. La première étape consiste à encoder le signal vidéo afin de réduire le débit nécessaire pour la diffuser. L'encodeur va compresser la vidéo, l'audio pour ensuite les découper sous forme de flux élémentaires (Elementary Streams) au format MPEG, pour réguler le taux de compression et la qualité d'image de la vidéo.

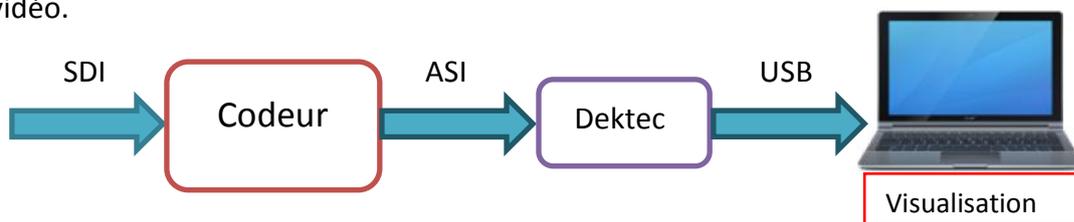


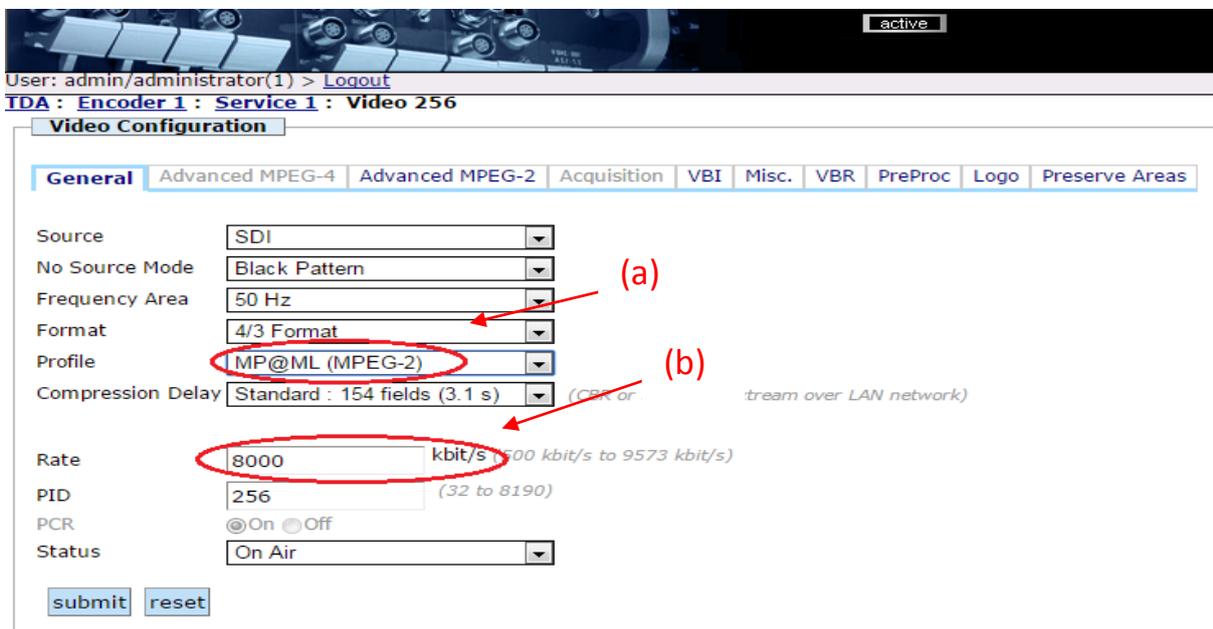
Figure 3.9. schéma synoptique du test de compression.

Le but principal de ce test est de faire réduire le débit (compression) pour une occupation optimal de la bande passante et aussi pour une bonne qualité de la vidéo.

### 3.3.1 Compression MPEG-2 (encoder Thomson EM 2000)

Dans ce test, on a pris une chaîne sportive (BeinSport) qui contient beaucoup d'informations (animations) où on a appliqué une compression MPEG 2 avec un taux qui varie de 10 à 1 Mbps et un pas de 1 Mbps. Notre but essentiel est d'obtenir une qualité de vidéo acceptable avec minimum débit binaire (bit rate).

La compression MPEG 2 a été faite à l'aide d'un codeur THOMSON EM 2000 (présenté au par avant), l'activation de l'option MPEG2 ainsi que la variation du taux de compression dans l'encodeur sont illustrés dans la figure 3.9.



**Figure 3.10.** Interface de configuration vidéo (a) changement de compression (b) variation du bit rate.



**Figure3.11.** Vidéo visualisée d'une chaîne animée, (a)=10 Mbps, (b)=5Mbps, (c)=3Mbps, (d)=1Mbps.

### Observation

Pour un débit de 10 Mbits/s jusqu'à 5 Mbits/s, on a obtenue une très bonne qualité de vidéo, mais en-dessous de ce débit la qualité commence à se dégrader mais ça reste exploitable. En descendant au dessous de 3.5Mbits/s on remarque une forte pixellisations (forte dégradation) de la qualité vidéo.

Dans le deuxième test on a appliqué la compression sur une chaine non-animée (pauvre en animation), on a pris la chaine « TV CORAN » comme exemple.



**Figure 3.12.** Vidéos visualisée d'une chaine peu animée, (a)=10Mbps, (b)=3Mbps, (c)=2Mbps, (d)=1Mbps.

### Observation

Pour une variation de débit 10 Mbits/s jusqu'à 2 Mbits/s, on ne remarque pas une pixellisation, la vidéo garde une bonne qualité. Et pour un débit inférieur à 2 Mbits/s la qualité devient inexploitable.

## Conclusion

Le taux de compression est faible pour une chaîne animée (contient beaucoup de mouvement) donc contient beaucoup d'informations c'est pour cela on la donne un débit binaire élevé.

Par contre dans le cas d'une chaîne non-animée ne nécessite pas un débit binaire élevé, donc un taux de compression important.

### 3.3.2 La notion VBR (Variable Bit Rate)

Variable bit rate consiste à varier le taux de compression selon le contenu de la vidéo. Lorsque la vidéo contient beaucoup de détails le taux de compression sera faible (bit rate élevé), par contre une vidéo à moins de détails (peu d'information) le taux de compression sera élevé (bit rate faible). Le but de VBR est de profiter au maximum de la bande passante, car il est inutile d'occuper trop d'espace sans besoin.

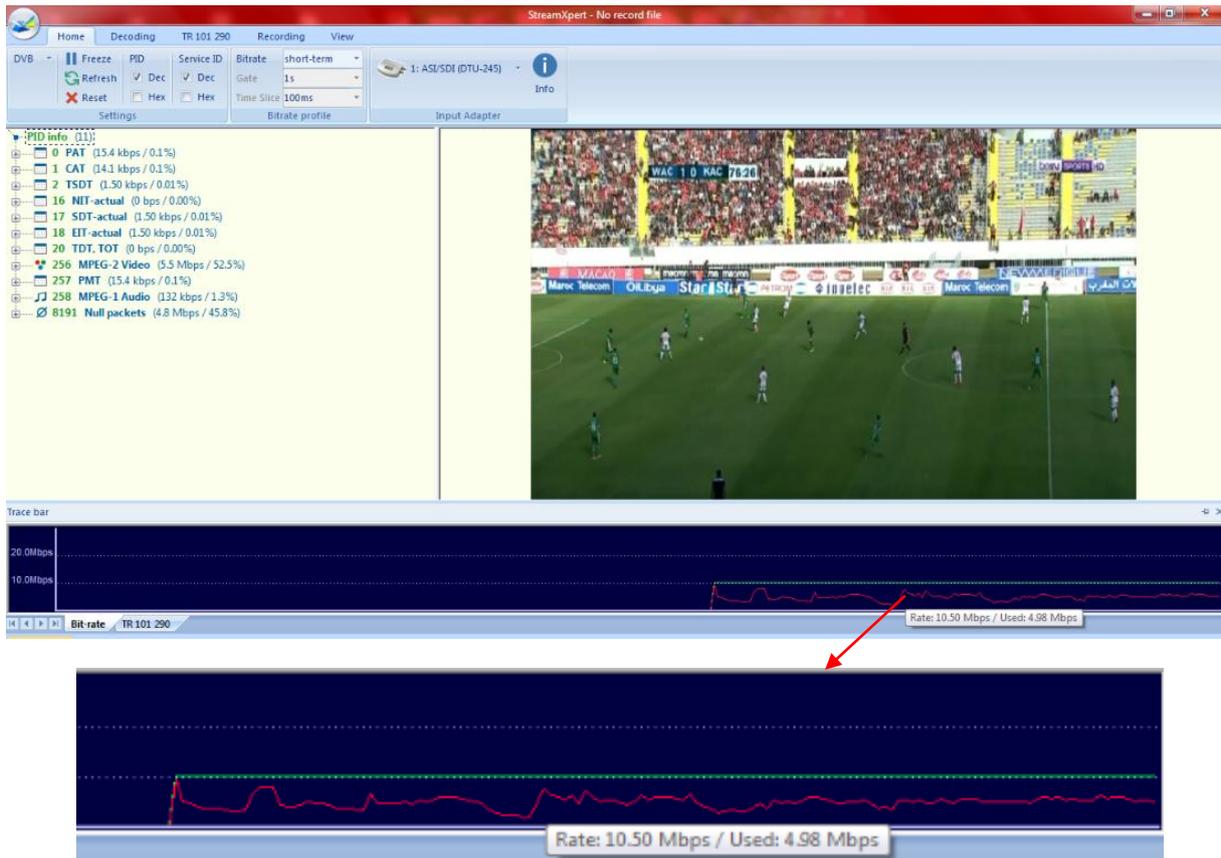
Le codeur THOMSON EM 2000 a adopté cette technologie, il suffit juste de donner le minimum et le maximum de débit binaire.

The screenshot shows the Thomson EM2000 web interface for configuring video parameters. The 'VBR' tab is selected, and the 'Capped VBR' mode is chosen from a dropdown menu, which is circled in red. The configuration table is as follows:

Encoder	Flexstream Pool	Mode	Min Bitrate (500 kbit/s to 15000 kbit/s)	Max Bitrate (500 kbit/s to 15000 kbit/s)	Quality (0% to 100%)	Constant Bitrate	Lower Bitrate on Still (No still pictures)	FlexService VBI	FlexService DVB Sub
Encoder 1	Off	Capped VBR	800	3000	100	-	No still pictures	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Below the table, there are 'submit' and 'reset' buttons, and a 'Descriptors' section with a message: 'There is no descriptor for this element' and a link to 'Add PMT descriptor'.

Figure 3.13. L'option variable bit rate dans le codeur THOMSON EM 2000.



**Figure 3.14.** visualisation du Variable Bit Rate sur Dektec.

### 3.3.3 Compression MPEG-4 (FUJITSU IP-920E)

Dans ce test , en gardant le même taux de compression utilisé précédemment , donc une variation de 10Mbits/s jusqu'à 1 Mbits/s, on a utilisé le codeur (FUJITSU IP-920) qui utilise le MPEG-4 comme norme de compression.

L'ensemble des résultats obtenus pour les différentes variations de débit de 10 Mbits/s jusqu'à 1Mbits/s pour une chaine contient beaucoup d'animation (BeinSport) sont présentés sur la figure suivante.



**Figure 3.15.** Vidéos visualisée d'une chaine animée Beinsport (a)=10Mbps, (b)=4Mbps, (c)=2Mbps, (d)=1Mbps.

### Observation

Une très bonne qualité pour les débits binaires élevés (de 10 Mbits/s jusqu'à 2 Mbits/s), en dessous de cette valeur (2Mbits/s), la qualité commence à se dégrader jusqu'à elle devient inexploitable à 1 Mbits.

Comme une deuxième étape, on va appliquer les tests de compression sur une chaine qui ne contient pas beaucoup d'animation (TV Coran).

La figure suivante présente les résultats obtenus après compression.



**Figure 3.16.** Vidéos visualisée sur la chaîne TV Coran, (a)=10Mbps, (b)=4Mbps, (c)=2Mbps, (d)=1Mbps.

### Observation

On a obtenu une très bonne qualité pour toutes différentes valeurs de débit, même avec les valeurs basses (1Mbits).

### Conclusions

La compression en MPEG-4 semble optimale par rapport au MPEG-2 en vue du rapport de qualité de service par rapport à la bande passante, elle offre une très bonne qualité d'image tout en descendant vers débits très bas.

Une chaîne animée qui contient beaucoup de détails nécessite un bit rate élevé par rapport au chaîne non-animé, car elle est très sensible à la compression qu'une chaîne à peu d'information.

### 3.4 Multiplexage

La deuxième étape dans notre chaîne de transmission DVB est le multiplexage de plusieurs services (TV, Radio ou données) en un seul bouquet pour cela on utilise le multiplexeur THOMSON NETPROCESSOR 9030.

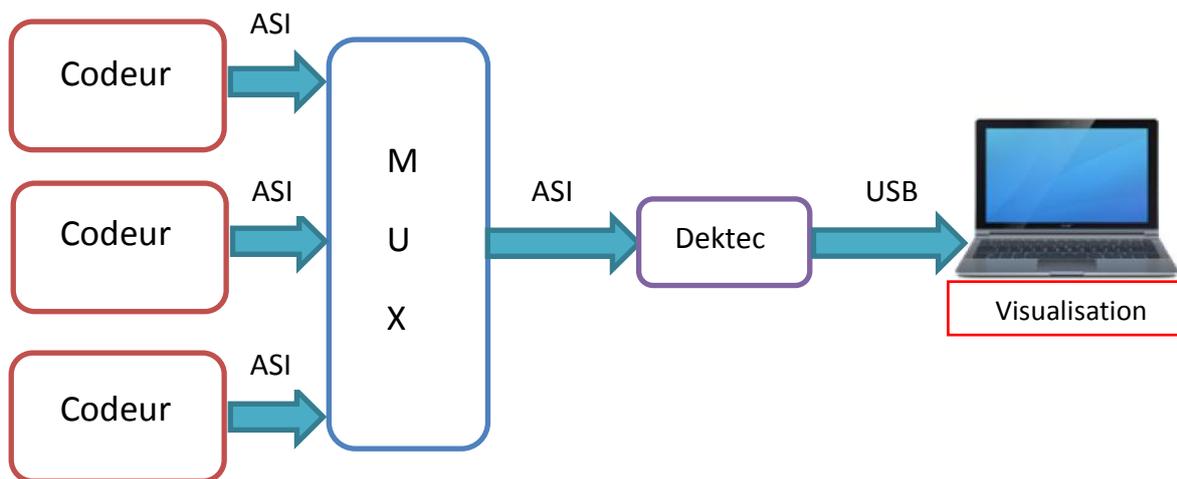


Figure 3.17. Schéma synoptique de la chaîne du multiplexage.

#### 3.4.1 Présentation du Multiplexeur THOMSON NetProcessor 9030

THOMSON NetProcessor est un multiplexeur de flux de transport ASI, il possède 4 entrées et 4 sorties (la sortie est un flux de transport DVB-ASI), il contient aussi un port Ethernet pour la gestion et la surveillance à distance. Le MUX NETPROCESSOR a la possibilité d'insérer des informations d'identifications (PID, PAT, CAT, SDT, PMT .....).



Figure 3.18. L'interface avant du multiplexeur THOMSON NETPROCESSOR 9030.

### 3.4.2 Manipulation

Dans ce test nous avons réaliser un multiplexage de 3 services de différents débit binaire (bit rate) , le débit binaire totale à été fixé sur 30 Mbits/s au niveau de multiplexeur.

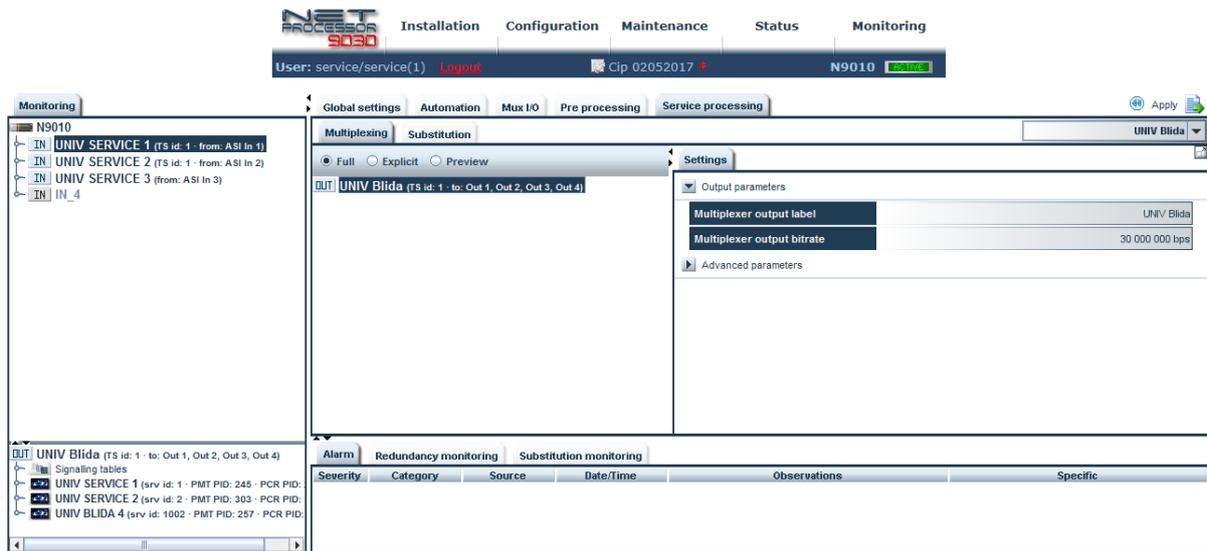
La figure en-dessous représente l'interface d'accueil de l'équipement utilisé.

En cliquant sur l'icone "processing" on obtiendra la page principale qui permet de glisser les services afin d'obtenir le multiplexage ainsi l'activation des ports, on peut aussi changer le bit rate de la sortie du multiplexeur.



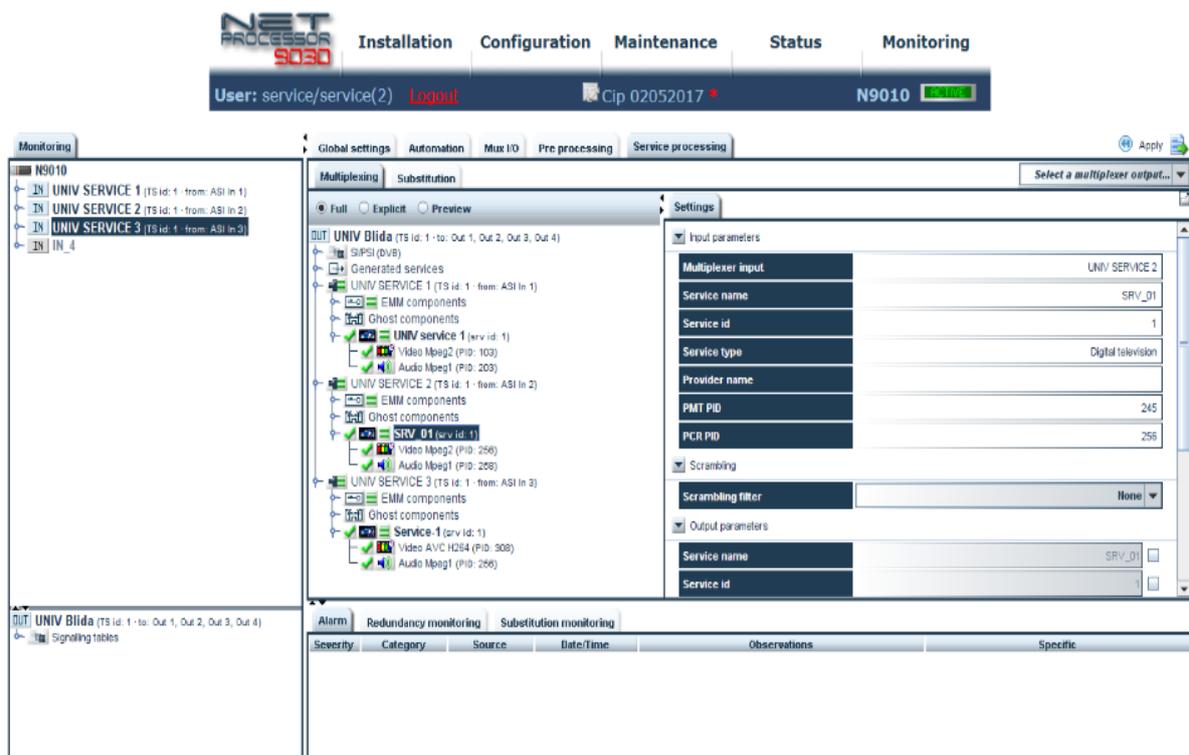
**Figure 3.19.** L'interface d'accueil de multiplexeur THOMSON NETPROCESSOR 9030.

La figure suivante représente l'état de la page principale avant glisser les 3 services à multiplexer, dans cette figure il y a trois ports activés parmi quatre.



**Figure 3.20.** Les services présents sur le multiplexeur THOMSON NetProcessor 9030.

Après avoir glissé les services depuis l'Input on obtiendra des informations supplémentaires sur ces services comme le type de compression (MPEG-2 pour la vidéo et MPEG-1 pour l'audio) ainsi leur PID. On peut changer le nom de chaque service sans passer par le codeur et aussi changer leur Id, PMT, PCR.



**Figure3.21.** l'interface du multiplexeur après le glissement des services.

Maintenant on peut avoir l'accès aux différentes tables DVB comme illustré dans la figure suivante. Cette option permet d'ajouter des tables de le PSI/SI.

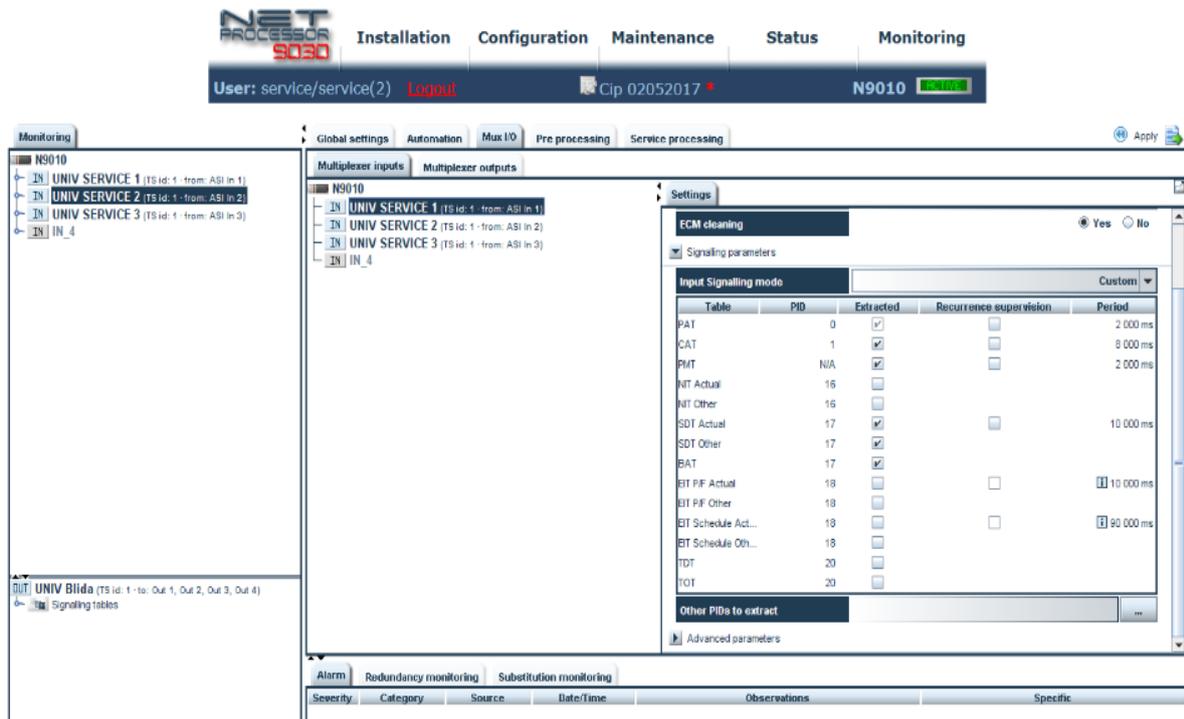


Figure 3.22. Les différents tables de compression a ajoutés.

Pour vérifier l'efficacité du multiplexage ainsi la qualité des services, on va les visualiser sur le dektec.



Figure 3.23. visualisation des services multiplexés via le dektec.

### **Remarque**

Le débit utile des services est inférieur au débit binaire total, la bande passante n'est pas occupée correctement.

### **Conclusion**

Dans le cas Professionnel et à cause du cout élevé de la bande passante alloué, les ingénieurs de TDA essaient toujours de minimiser la différence entre le débit totale et le débit utile pour libérer un espace sur la bande passante pour ajouter d'autres services radio ou tv sans besoin de payer plus d'argent.

## **3.5 Modulation**

La troisième étape de notre chaine est La modulation qui consiste à adapter l'information à transmettre au canal de transmission (l'air), elle permet de séparer des informations provenant de différentes sources et ayant le même spectre qui utilisent le même support de transmission de façon à permettre à différents émetteurs de retrouver l'information qui les concerne.

### **3.5.1 Présentation du modulateur Newtec M6100**

Le Newtec M6100 Broadcast Satellite Modulator est un modulateur compatible avec la nouvelle génération DVB Spécialement conçu pour la diffusion directe à domicile (direct to home), la distribution et la contribution de TV et Radio. Ce modulateur adopte les deux standard DVB-S/S2.

Il peut être utilisé conjointement avec des décodeurs, des IRD professionnels ou des démodulateurs de satellites professionnels tels que le MDM6100. Il contient 6 ports ASI qui peuvent jouer le rôle entrée ou sortie en dépendant de notre choix, il contient aussi 2 Ethernet ports de contrôle et 2 autres ports pour la transmission de données en IP. A la sortie on récupère un signal électromagnétique en L-band (950 \_2150).

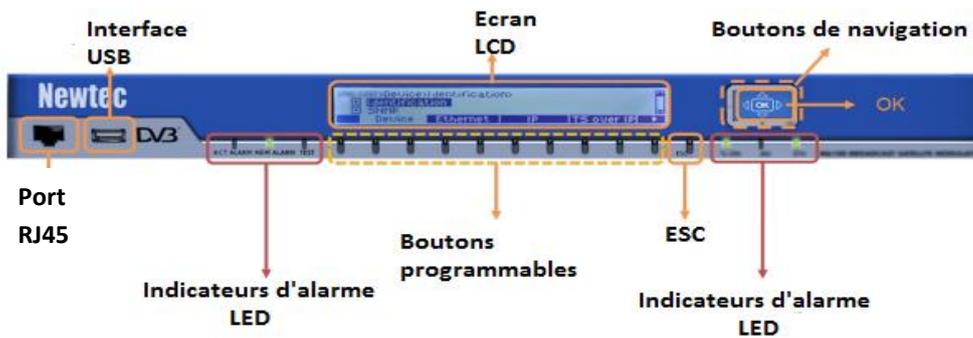


Figure 3.24. L'interface avant du modulateur Newtec M 6100.

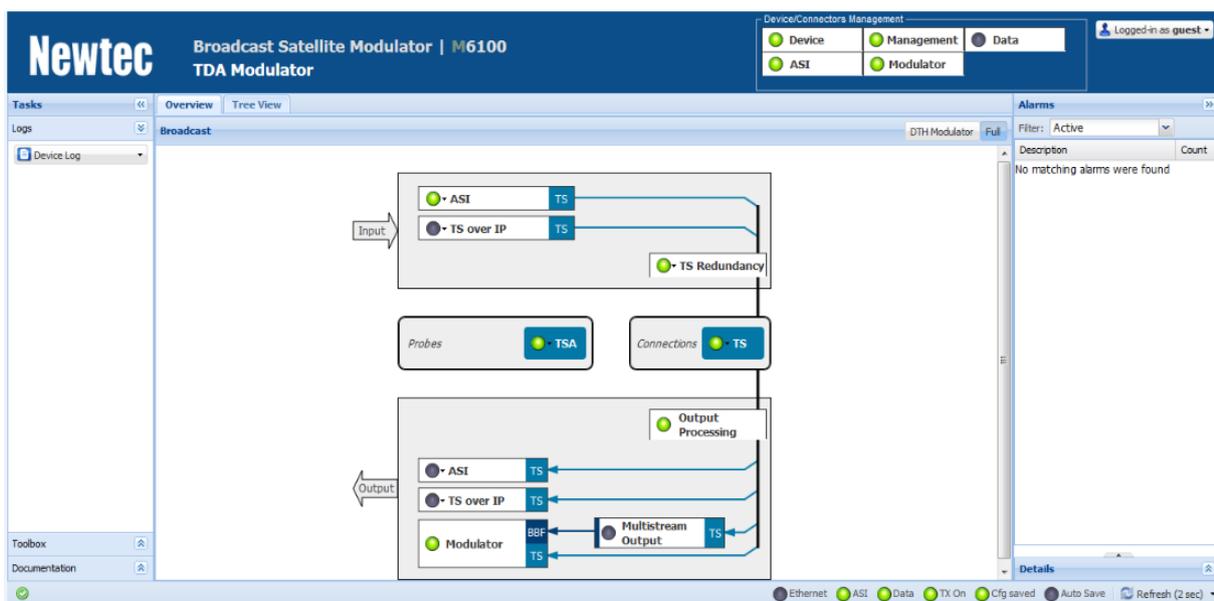


Figure 3.25. L'interface d'accueil principale du modulateur Newtec M6100.

### 3.5.2 Manipulation

Les signaux qui ont été multiplexés doivent être modulés, pour cela on a utilisé le modulateur Newtec M6100 présenté précédemment.

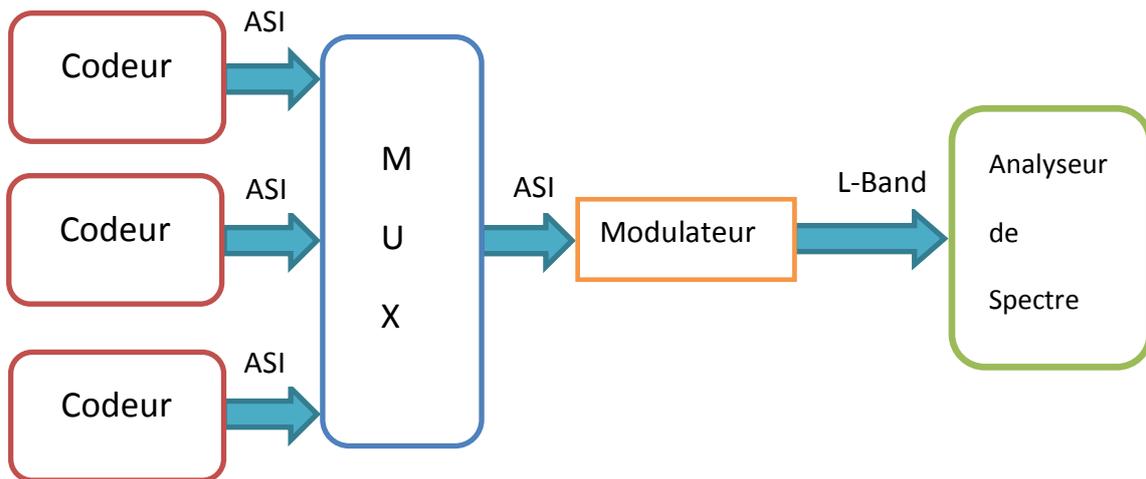


Figure 3.26. Schéma synoptique du test de modulation

Il existe plusieurs paramètres à configurer, Tout d'abord on doit fixer le débit total afin de pouvoir synchroniser le modulateur avec ce multiplexeur. Dans ce test le débit binaire a été fixé à 30 Mbps.

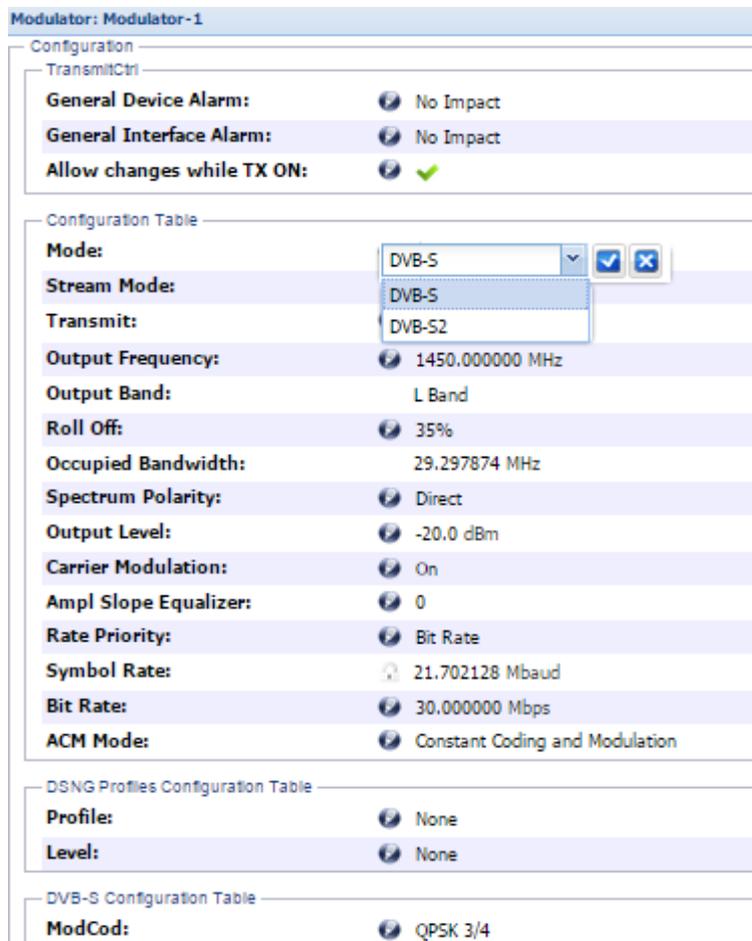


Figure 3.27. Les différents paramètres modifiables pour la modulation.

Après avoir configuré le modulateur on peut visualiser la porteuse obtenue a partir du l'analyseur du spectre.

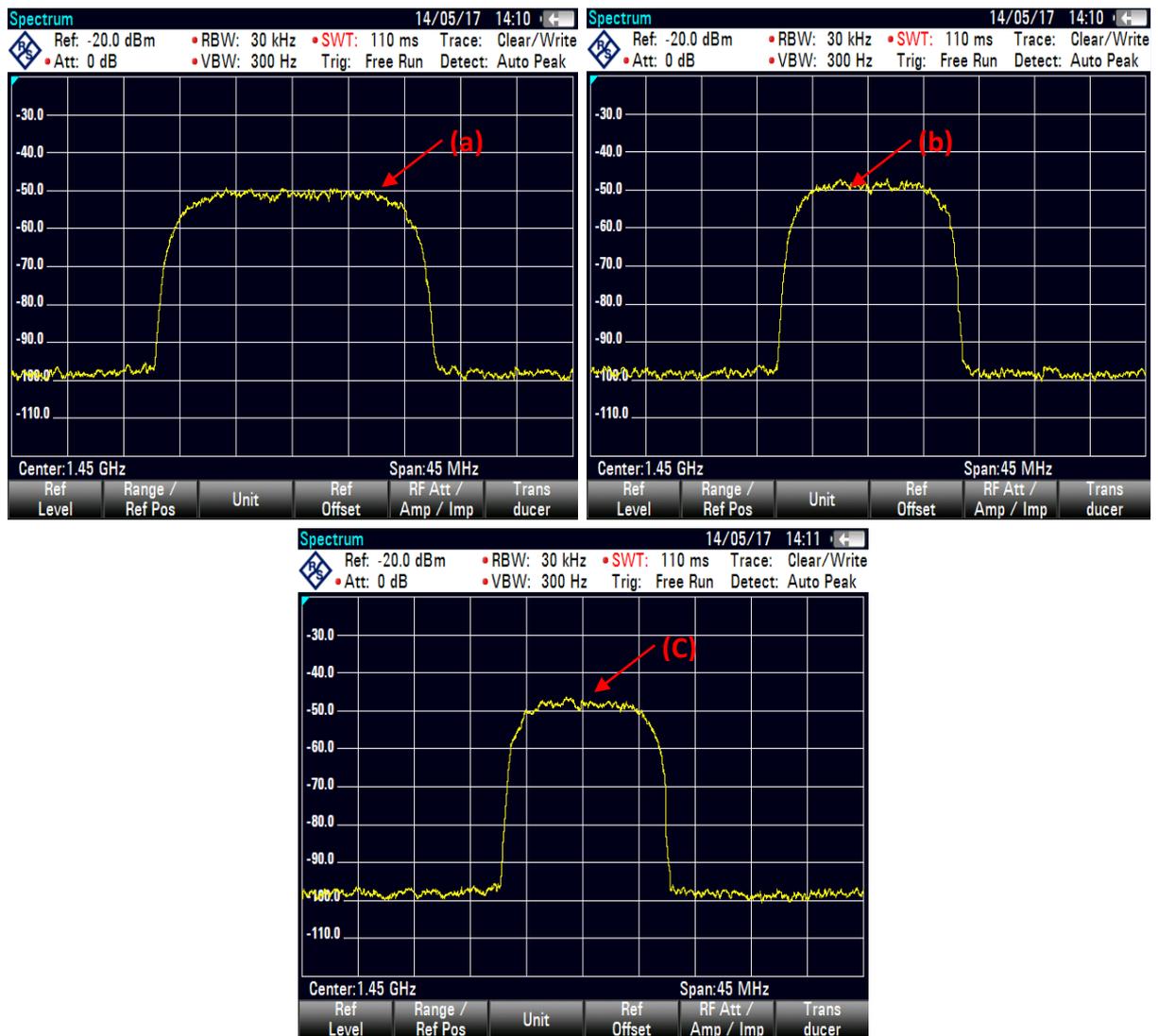


Figure 3.28. Porteuse obtenue après modulation.

### 3.5.3 L'effet du FEC (Forward error correction)

Pour pouvoir déterminer l'effet de la correction d'erreur FEC sur la bande passante, afin d'avoir une meilleure l'occupation spectrale. Nous avons fait des tests sur deux types de modulation les plus utilisées dans le domaine de la télédiffusion satellitaire pour les deux standards DVB-S/S2 (QPSK ,8PSK), avec des valeurs différentes de FEC. On a gardé le même débit binaire utilisé précédemment (30 Mbps) pour tous les tests.

Dans un premier test on a utilisés la modulation QPSK pour le standard DVB-S avec un Roll off de 35%.



**Figure 3.29.** Modulation QPSK (DVB-S) pour des valeurs différentes du FEC,

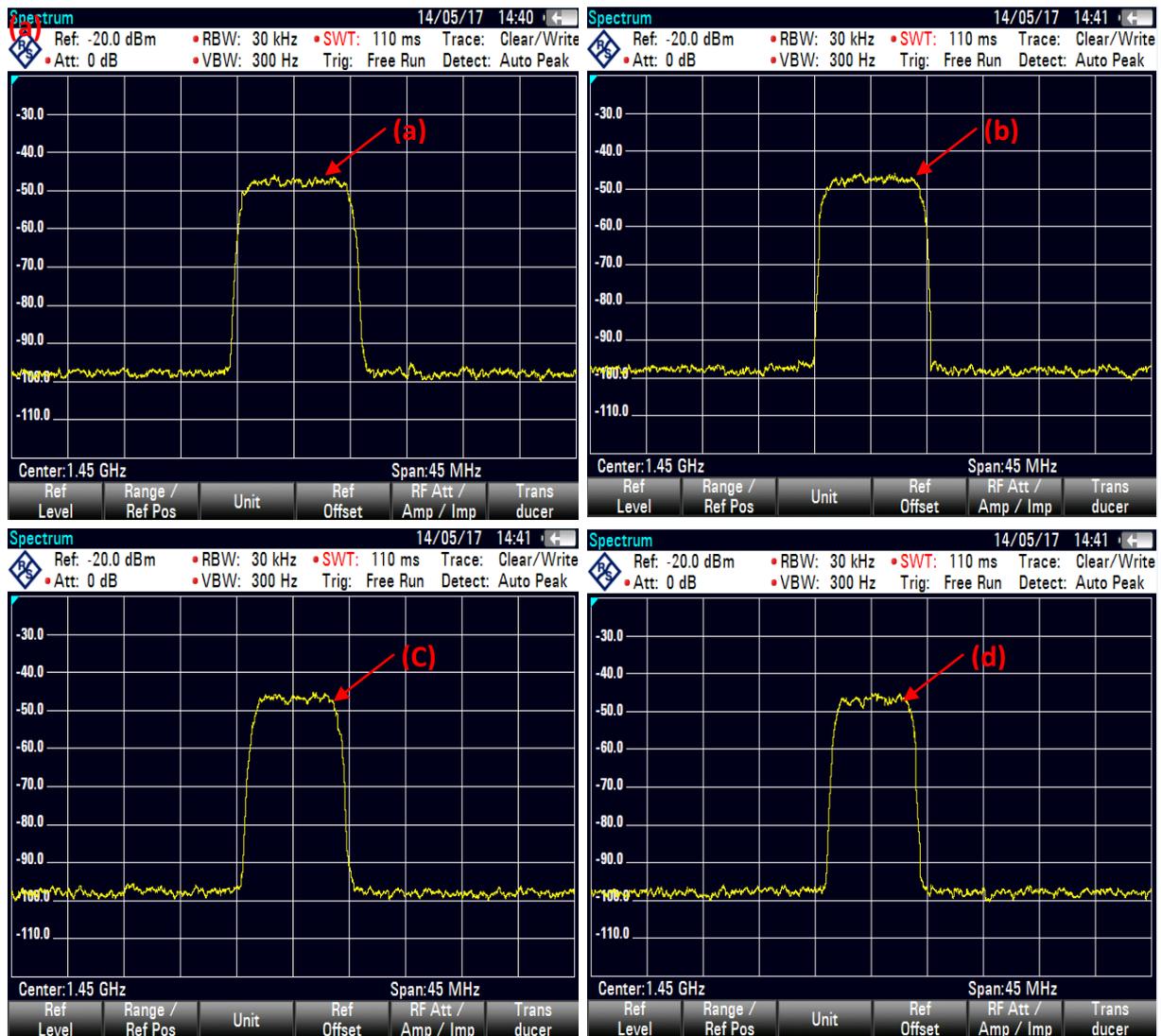
(a)=1 /2, (b)= 3 /4, (c)=5/6.

### Observation

Pour un FEC élevé (1/2), la bande passante deviendra maximale environ 44 MHz.

Pour des valeurs inférieures du FEC (3/4,5/6) la bande passante diminue successivement 29.297 MHz, 26.368 MHz.

Dans le deuxième test, nous avons changé le type de modulation vers 8PSK pour le standard DVB-S2 avec un Roll off de 20%.



**Figure 3.30.** Modulation 8PSK (DVB-S2) pour des valeurs différentes du FEC, (a)=3/5, (b)= 2/3, (c)=3/4, d=5/6.

### Observation

La bande passante diminue relativement avec la diminution du FEC.

Pour un FEC de 3/5 la bande passante est égale à 20.224 Mhz.

Pour un FEC de 2/3 la bande passante est égale à 18.175 Mhz.

Pour un FEC de 3/4 la bande passante est égale à 16.157 Mhz.

Pour un FEC de 5/6 la bande passante est égale à 14.524 Mhz.

## Conclusion

Un FEC très haut assure une bonne Qualité du service au niveau de la réception (une forte correction d'erreur), mais son inconvénient est l'occupation considérable de la bande passante, pour cela l'opérateur fait le choix du FEC en fonction de critère économique et technique. Technique, il faut un FEC adapté à la puissance du transpondeur vu du sol, et à la taille des paraboles de réception. Au niveau de TDA les ingénieurs utilisent un FEC de 3/4 pour le standard DVB-S et 3/4, 5/6 pour le standard DVB-S2. Economique, car au prix de location d'un transpondeur, il vaut mieux passer le plus grand débit utile.

### 3.5.4 Mesure de $E_B/N_0$

Pour les systèmes de télécommunication satellitaire, l'objectif visé est défini en fonction du rapport  $E_b/N_0$  nécessaire pour un taux d'erreur déterminé;  $E_b$  indique l'énergie moyenne reçue par bit utile d'information et  $N_0$  la densité spectrale de puissance du bruit. à l'aide d'un décodeur IRD nous avons mesurer le rapport  $E_B/N_0$  pour deux types de modulation et des valeurs différents du correcteur d'erreur FEC. Les résultats obtenus sont représentés sur les deux tableaux en-dessous.

Modulation	$E_B/N_0$ (dB)	Modulation	$E_B/N_0$ (dB)
QPSK		8PSK	
1/2	18	3/5	14.1
3/4	14.7	2/3	13.2
5/6	13.4	3/4	11.8
		5/6	10.5

**Tableau 3.1** Le rapport  $E_b/N_0$  en fonction du type de modulation et FEC.

D'après les résultats obtenus, plus le nombre de bit transmis par symbole est élevé (8PSK)

Plus l'énergie nécessaire pour la transmission augmente, car le rapport  $E_b/N_0$  obtenus

Dans la réception pour la modulation 8PSK est minimale par rapport à celui de la modulation QPSK

Le facteur de correction a aussi un effet important sur l'énergie, un FEC élevé (1/2) offre un signal robuste, ce qui ne nécessite pas une forte énergie de transmission (meilleur rapport signal sur bruit), par contre un bas FEC résulte sensible au bruit ce qui demande plus d'énergie pour recevoir un bon signal.

### 3.6 Chaîne de transmission DVB-S/DVB-S2 sur le satellite SES4 :

Il est important, pour bien comprendre les phénomènes perturbateurs qui sont créés par le canal satellitaire, de réaliser des mesures en conditions réelles. On a utilisé une station mobile (DSNG) Pour établir une liaison satellitaire entre le téléport de BOUCHAOUÏ et le satellite SES4 (22°W) et faire la réception au niveau du pupitre de la station.

La station mobile comprend les équipements de la partie bande de base et partie radio fréquence, à l'exception des atténuateurs. L'air est le canal de transmission dans ce cas.

- **Procédure**

Dans un premier temps, nous déployons l'antenne de la station mobile (bande Ku) et la positionnons vers la direction 22°W. Nous utilisons un analyseur de spectre pour visualiser la porteuse de la montée sur satellite. Ensuite, nous faisons entrer les paramètres d'émission au niveau du modulateur.

<b>Puissance d'émission</b>	17 dBw
<b>Fréquence en bande L</b>	1355 MHz
<b>Fréquence d'émission (bande Ku)</b>	14 155 MHz
<b>Type de modulation</b>	DVB-S(QPSK), DVB-S2 (QPSK ; 8PSK)
<b>Bit Rate</b>	8Mbps

**Tableau 3.2.** Paramètres d'émission.

Après, Il est aussi nécessaire de paramétrer l'antenne pour s'orienter vers la direction du satellite SES4. Le tableau 3.3 montre ces paramètres.

<b>Azimut</b>	+38.6
<b>Polarisation</b>	-57.7

Tableau 3.3. Paramètres de l'antenne.

La chaîne d'émission/réception est représentée dans la figure 3.30

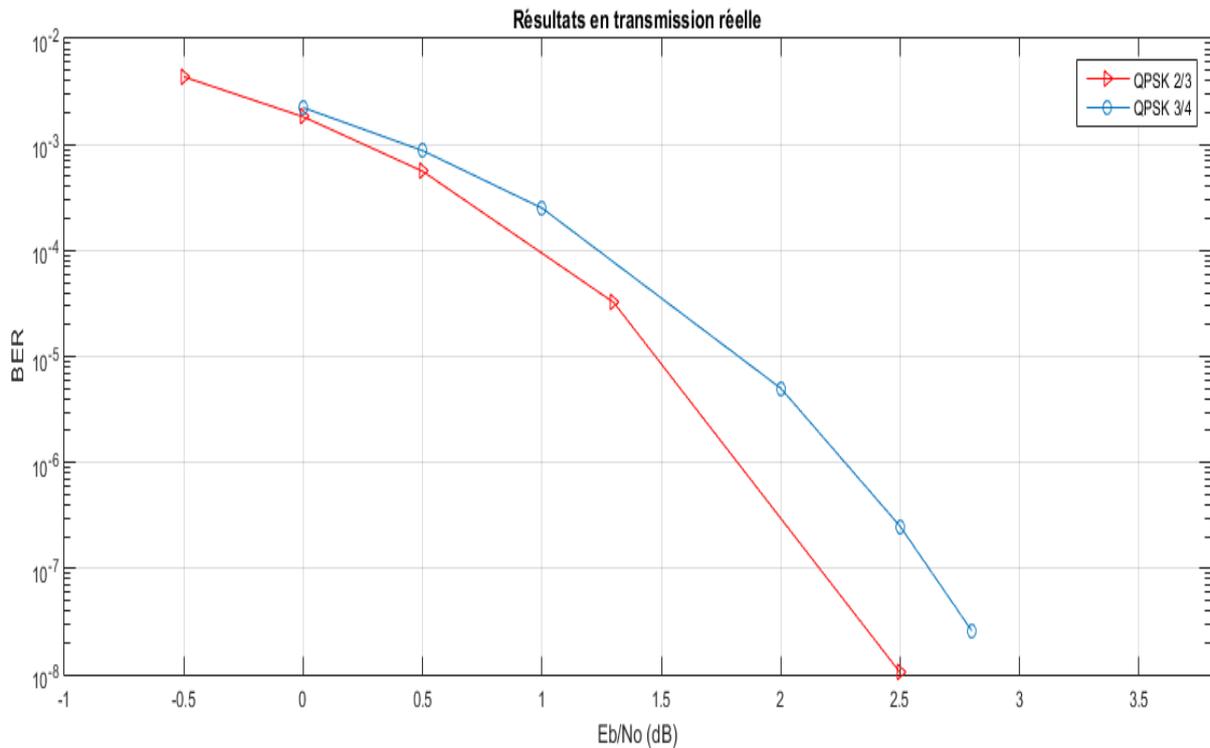


Figure 3.31. La chaîne de transmission DVB-S/DVB-S2 sur le satellite SES4 (22°W).

Après avoir exécuté ces paramètres, il suffit de faire varier les différents niveaux de puissance d'émission, types de modulation, et FEC, puis relever les valeurs du BER et Eb/N0 à la réception. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de courbes.

- **Chaîne DVB-S :**

La largeur de la bande passante que nous allons occuper nous permettra d'utiliser deux types de modulation, QPSK 2/3 et QPSK 3/4. Les résultats obtenus pour cette chaîne sont illustrés dans la figure 3.32.



**Figure 3.32. Courbes BER en fonction du rapport  $E_b/N_0$  pour une transmission réelle DVB-S.**

- **Interprétation des résultats :**

Selon les résultats obtenus, on peut remarquer que :

Pour les deux modulations QPSK 3/4 et QPSK 2/3, plus le taux d'erreur augmente, plus le rapport  $E_b/N_0$  augmente aussi.

Ainsi Les valeurs du BER pour la modulation QPSK 3/4 dans l'intervalle  $E_b/N_0$  sont supérieures à celles du QPSK 2/3.

Le verrouillage du récepteur pour la modulation QPSK 2/3 se fait pour  $E_b/N_0 = -0.5$  dB pour un BER égale à  $4 \times 10^{-3}$ . Tandis que pour la modulation QPSK 3/4, le récepteur verrouille à un  $E_b/N_0 = 0$  dB pour un  $BER = 1.8 \times 10^{-3}$ .

Les deux types de modulations (QPSK 2/3 et QPSK 3/4) permettent d'atteindre un bon niveau de réception.

- **Calcul du débit utile**

La largeur d'un canal satellite à -3 dB est de 36 MHz. De part, le filtrage de Nyquist, le débit du signal binaire transporté sera donné par la formule suivante :

$$\text{Débit binaire} = \frac{\text{Largeur du canal satellitaire}}{1 + \text{roll off}} \quad (2.17)$$

## Conclusion générale

---

La capacité de transmission satellitaire peut être augmentée en utilisant des systèmes de transmission avancés tels que le DVB-S2 au lieu de la DVB-S. L'émergence et le déploiement de la technologie DVB-S2 auront un impact significatif sur l'industrie de la radiodiffusion et des télécommunications par satellite. La nouvelle norme réunit les spécifications de la norme DVB-S et améliore de manière significative son efficacité de codage et de modulation. Elle répond au besoin tant attendu d'une plus grande efficacité spectrale et, alliée aux nouvelles technologies de compression vidéo. Elle permet aux entreprises de radiodiffusion directe à domicile d'offrir d'autres services de télévision SD et HD ainsi que des services de télévision interactive avec les ressources spectrales disponibles.

Nous avons profité de notre stage au sein du Téléport Bouchaoui, structure affiliée à la Télédiffusion d'Algérie, pour saisir des opportunités d'apprentissage et en tirer des bénéfices, sur plusieurs plans.

Sur l'aspect pratique, nous avons réussi à mettre en application nos acquis théorique accumulés au cours de notre cursus universitaire. L'accès aux outils de mesure et des équipements de transmission tels que HPA, Up-Converter, analyseur de spectre ou modulateur FI et bande L nous a été facilité, ce qui nous a permis de travailler dans des conditions optimales.