

Chapitre 4

La télévision numérique

4.1. Historique et contexte

La TV numérique apporte des améliorations considérables concernant l'efficacité spectrale et la diversité de programmes. Plusieurs programmes peuvent être diffusés dans un seul canal (6 à 12 programmes dans un canal de 8 MHz). Aussi, la TVN présente une flexibilité pour la transmission des programmes de différentes qualités : SDTV (Définition Standard TV format 4:3), EDTV (Définition Améliorée TV format 16:9), HDTV (Haute Définition TV format 16:9) avec des qualités d'images et du son élevées. En outre, la qualité de transmission assure la minimisation des problèmes de propagation (échos, fading, interférence...)

La télévision numérique offre de multiples avantages :

- un plus grand nombre de chaînes : jusqu'à 18 chaînes gratuites au lieu de 6
- et donc un choix de programmes plus large
- des chaînes en haute définition (HD)
- un guide des programmes intégré pour connaître le programme en cours et le suivant
- une meilleure qualité d'image et de son : image DVD, son numérique stéréo ou home cinéma.

Plusieurs pays dans le monde sont entrés dans l'ère de la télédiffusion entièrement numérique avec la technologie avancée de compréssion des signaux vidéo et audio. La figure 4 montre les supports et chemins de transmission des signaux de télédiffusion. Depuis quelques années, les studios de télédiffusion sont équipés de technologies et fonctions numériques avancées pour traiter les signaux dans les studios ainsi que sur tous les réseaux de relais.

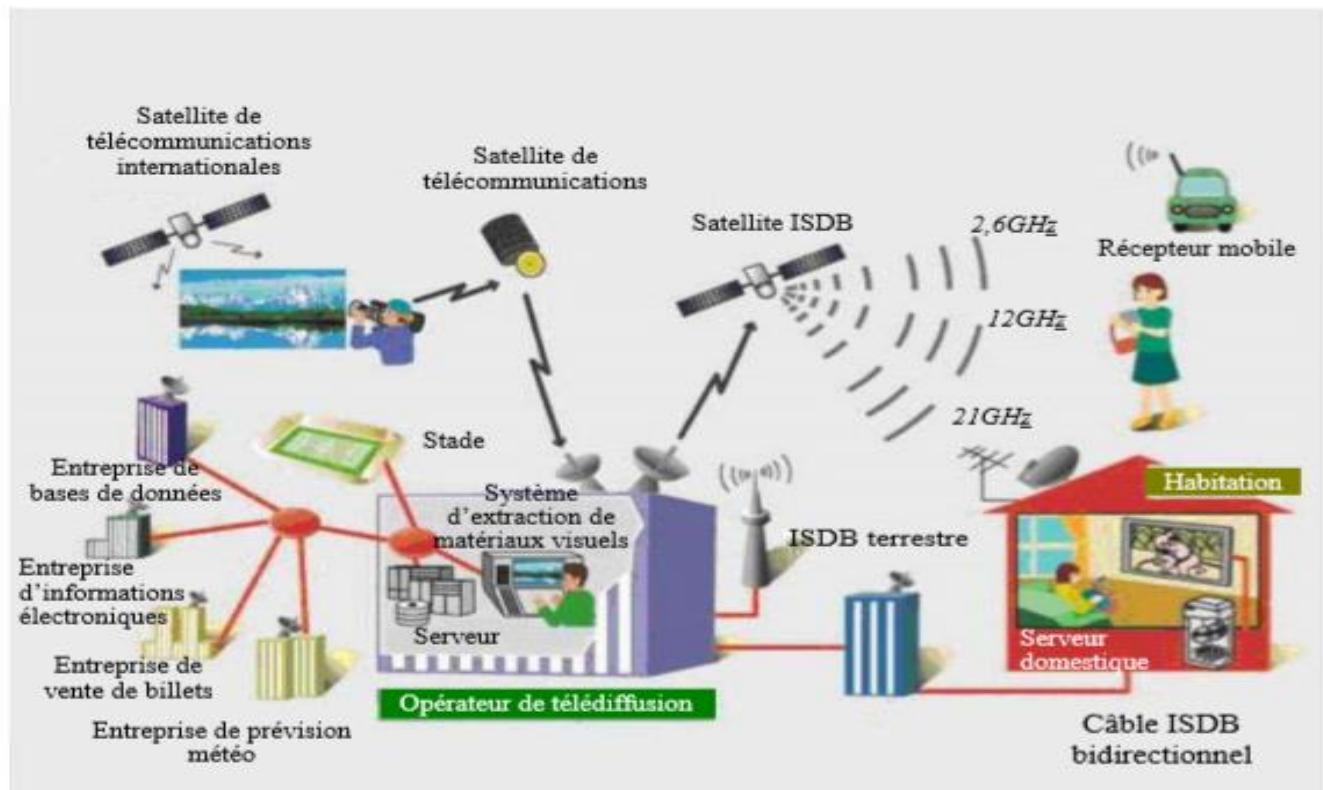


Figure 4.1 : les supports et chemins de transmission des signaux de télédiffusion.

La télédiffusion numérique se distingue des systèmes analogiques par les caractéristiques suivantes :

- **Efficacité contre les bruits** : en analogique, l'affaiblissement des signaux reçus entraîne la dégradation de la qualité d'images qui se traduit par un bruit sur l'écran. Un signal numérique ne contient que des « 1 » et des « 0 » ce qui le rend moins sensible au bruit.
- **Compression large bande de signaux vidéo ou audio** :

La technique MPEG-2, a fourni un taux de compression de 1/20 pour la télévision standard et 1/60 la TVHD et les générations suivantes de MPEG-2 ont pu arriver à des taux plus élevés.

- **Possibilités de correction d'erreurs inexisteante en signaux analogiques.**

En pratique il n'est pas possible d'éliminer les bruits accompagnants une émission télévisée analogique. Dans une émission numérique les erreurs qui sont importantes pour être corrigées sont étiquetées « erreurs ».

- **Méthode identique pour le traitement des signaux vidéo/audio et des signaux de données ou de contrôle.**

Tous les types de signaux transmis sont des séquences de « 0 » et des « 1 » donc ils sont traités de la même manière.

- **Diffusion de données à haute performance**

Dans la diffusion de données par les chaînes analogiques conventionnelles, comme la diffusion de télétextes utilisant les intervalles de trame entre les signaux de TV, la capacité de transmission est limitée à environ 11 kbps par ligne de synthèse (1H). Dans la diffusion numérique ce débit peut atteindre plusieurs Mbits/s.

- **Cryptage facile des signaux**

Les signaux de diffusion numérique sont faciles à crypter par rapport à ceux à diffusion analogique pour que seuls les abonnés puissent recevoir les émissions cryptées.

- **Puissance d'émission réduite**

Une émission de télévision numérique terrestre peut atteindre une zone de service avec une puissance d'émission d'environ 1/10 de celle d'une émission analogique équivalente.

- **Système de modulation renforcé contre les images fantômes et l'évanouissement**

Une forme d'interférence provoquée par les immeubles, les « fantômes » constituent un problème majeur de la télédiffusion numérique terrestre. C'est la raison pour laquelle il convient d'utiliser l'OFDM.

ISDB-T :Integrated Service Digital Broadcasting-Terrestrial(services intégrés de télédiffusion numérique- terrestre)

Inconvénients :

- **Chute brusque de la qualité de service au-delà des limites d'une zone de réception**

Dans la télédiffusion analogique, l'éloignement de l'antenne de transmission signifie plus de bruits sur l'écran de TV et une dégradation progressive des images. Dans la télédiffusion numérique, une puissance reçue insuffisante (en-dessous du niveau minimal) provoque une perte totale de réception.

- **Nouvelles fréquences nécessaires pour la télédiffusion numérique**

A présent, plusieurs gammes de fréquences sont utilisées pour la télédiffusion analogique et peu de fréquences sont disponibles pour la télédiffusion numérique terrestre. D'où la nécessité d'attribuer de nouvelles fréquences à la télédiffusion numérique.

- **Les utilisateurs doivent acheter un nouveau récepteur**

Les récepteurs analogiques existants ne peuvent pas recevoir de la télédiffusion numérique d'où le besoin d'acheter un récepteur pour la télédiffusion numérique.

Le DVB-T* ou TNT est une norme de télévision numérique utilisée dans de nombreux pays. Elle est appelée «terrestre» parce que ses émetteurs sont installés au sol.

Exceptions notables : USA/Canada (norme ATSC), Japon (ISDB-T) et Chine (DMB-T)

* DVB = Digital Video Broadcasting= diffusion vidéo numérique

4.2. Différents types de télévision numérique

Pour normaliser la diffusion de la vidéo MPEG-2 numérique, l'ETSI/ISO établit les types de TVN suivants :

- par câble DVB-C
- par voie hertzienne DVB-T
- par satellite DVB-S
- Interactive DVB-I
- Multipoint (MMDS - < 10Ghz) DVB-MS

Avec préservation des fonctions des systèmes analogiques existants (Télétexte, brouillage, accès conditionnel, ...).

Historiquement, la télévision numérique a d'abord été diffusée par le satellite (norme DVB-S) et le câble (norme DVB-C) avant de l'être par voie hertzienne terrestre (norme DVB-T). Elle est aussi disponible par la ligne téléphonique (ADSL). La figure 4.2 ci-dessous montre les supports de diffusion de ces trois types de télévision numérique.



Figure 4.2 : les différents types de télévision numérique.

4.3. Transmission et diffusion de la télévision numérique

La conception d'un émetteur de télévision numérique utilise toutes les notions vues aux chapitres précédents. La figure 4.3 montre la structure d'un émetteur TNT (pour 1 canal et un multiplex de 6 chaînes). Le signal «vidéo+son+données» est échantillonné et compressé en MPEG2, mélangé à 5 autres signaux, protégé contre les erreurs de transmissions, puis module la porteuse.

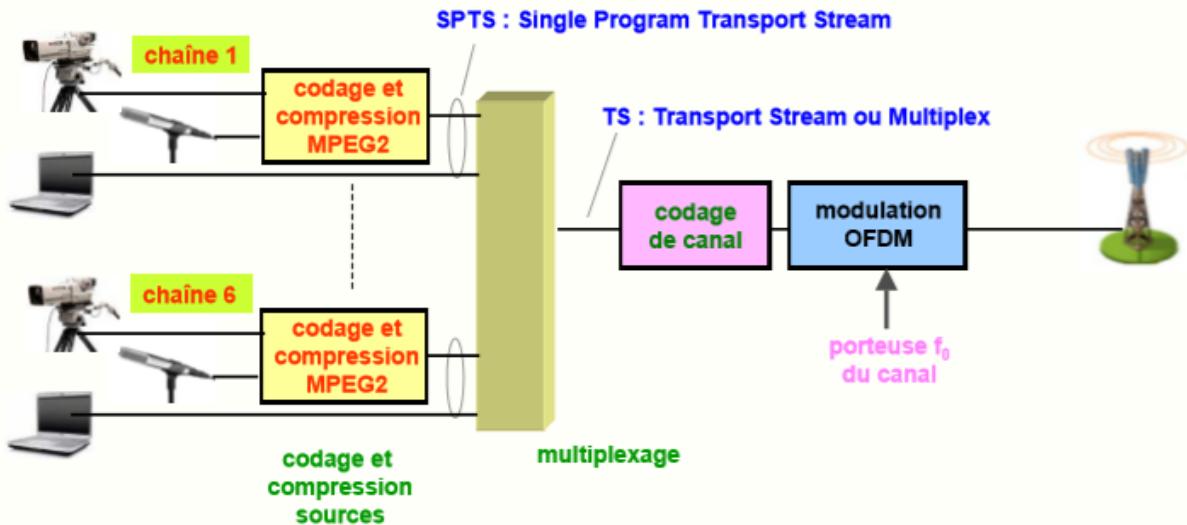


Figure 4.3 : la structure d'un émetteur TNT

Le système DVB utilise deux types de codage :

1) Le codage source : Compression et Multiplexage

- MPEG-2 Video : main level@main profile (720x574@25fps, YCbCr 4:2:0 – 15 Mbp/s)
- MPEG Audio Layer II (44.1 KHz - 192-256 Kbp/s stéréo)
- Multiple program TRANSPORT STREAM Multiplex (MPTS)

2) Le codage canal : Modulation

- DVB-S (ETSI 300 421) S (ETSI 300 421) : QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)
 - porteuse de 36 Mhz - 39 Mbps
 - Contrôle d'erreurs par Code Viterbi au niveau binaire (2/3 : 33 % d'overhead)
 - Code Reed Solomon au niveau octets (204/188 avec 16 octets de FEC : 8% overhead)
 - Entrelacement des octets avant transmission
- DVB-C (ETSI 300 429) : QAM (Quadrature Amplitude Modulation).
- DVB-T (ETSI 300 744): COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
 - Robuste aux échos multi chemins provoqués par les immeubles

4.3.1. Les paquets de données

La vidéo MPEG est enveloppée dans un TS (Transport Stream) comme suit :

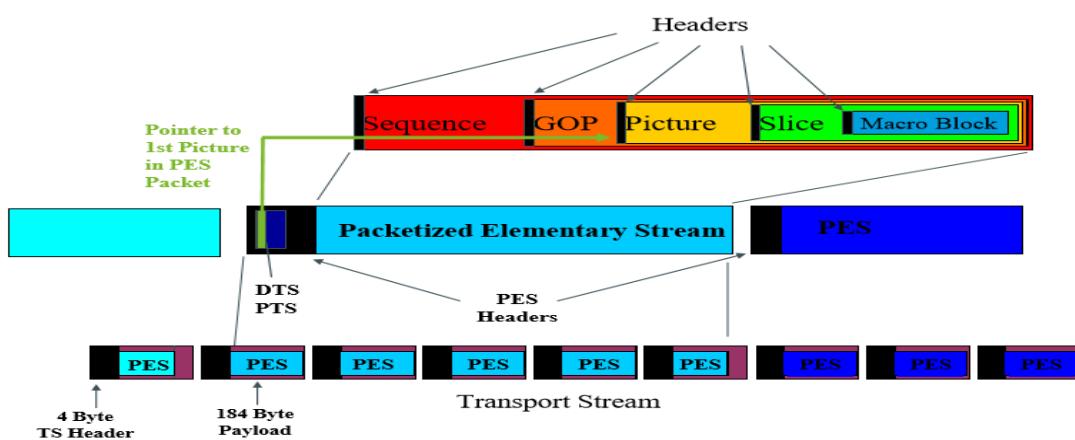
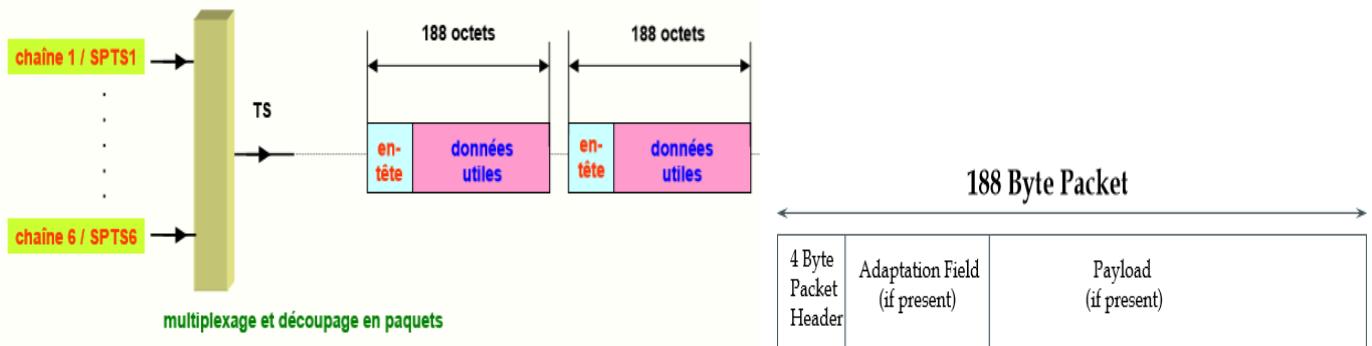


Figure 4.4 : Le format du Packet Elementary Stream(PES)

Le flux TS est organisé en paquets de 188 octets précédés d'un en-tête qui précise :

- le numéro de la source (Paquet Identifier PID)
- le type de donnée (audio, vidéo, sous-titre, données de service etc...)



C'est grâce aux en-têtes que le récepteur pourra séparer les données correspondant aux différentes chaînes du multiplex.

- La charge utile (payload) est constituée d'un flux vidéo ou audio
- De nombreux types de flux sont supportés
- L'en-tête de 4 octet contient le Packet ID (PID)
- Le PID identifie chaque flux
- Le champ d'adaptation peut contenir des informations de synchronisation(PCR)

C'est avec les PID que les récepteurs identifient les paquets à utiliser.

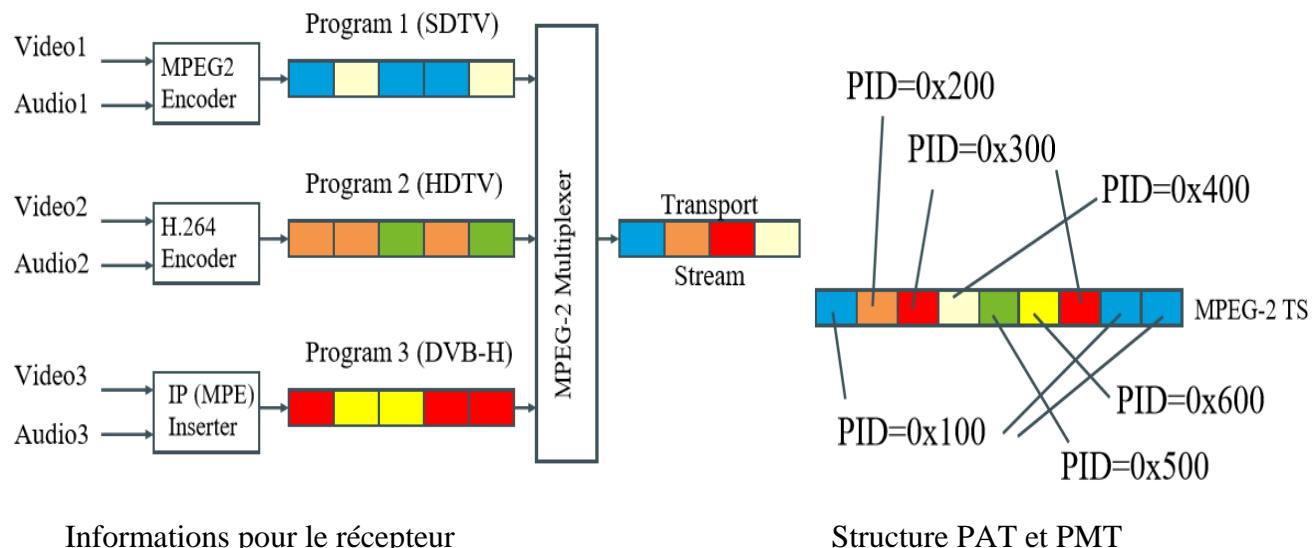


Figure 4.5 : Construction et structure du TS

La Synchronisation se fait à l'aide de :

PCR (Program Clock Reference) :

- Horloge 27MHz (multiple de 13,5 et 6,75 MHz) sur 42 bits
- Transmis toutes les 40ms
- Le paquet PMT contient le PCR_PID

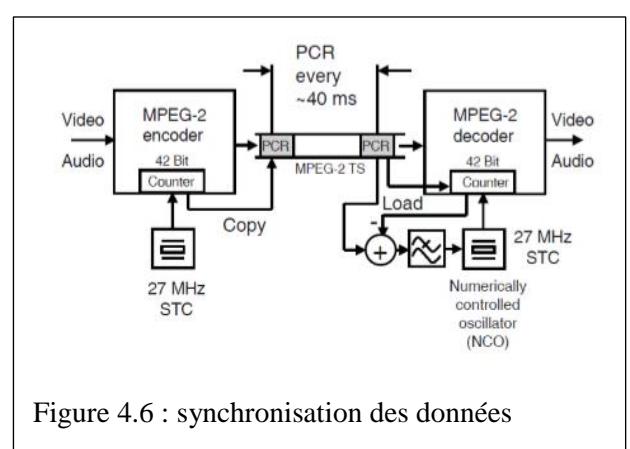
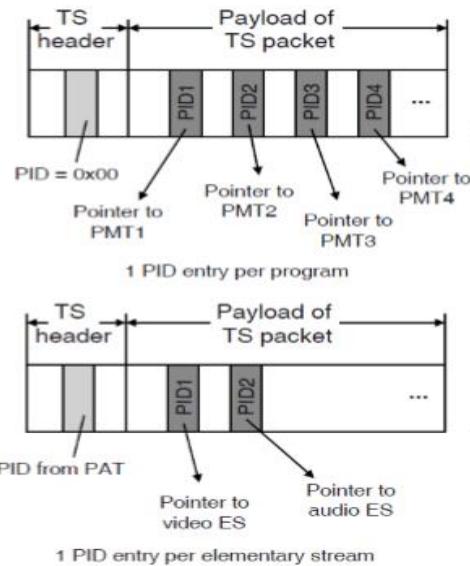
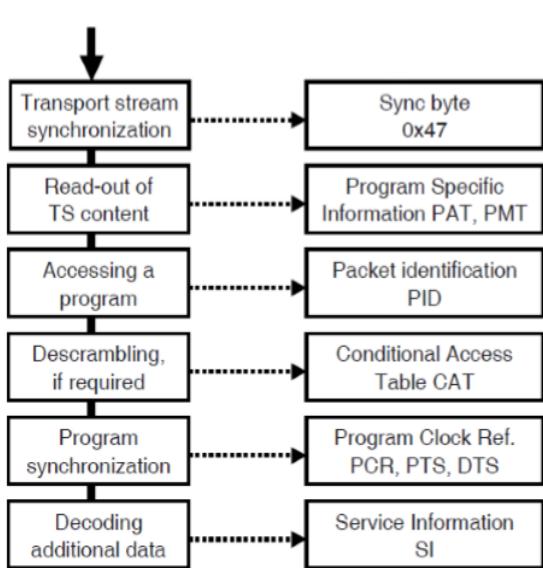


Figure 4.6 : synchronisation des données



PTS (Presentation Time Stamp) :

- 33 bits les plus significatifs du STC
- Pour synchroniser son et image
- Dans les entêtes des paquets vidéo et son

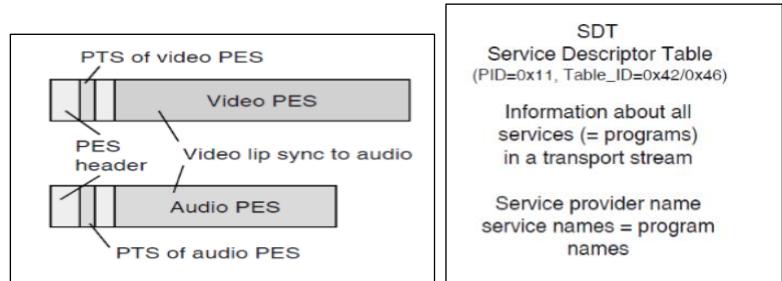


Figure 4.7 : organisation des paquets de données

La table de description du service (Table Service Description Table :SDT) donne des **Informations textuelles sur le programme (exemple «France 2»)**

4.3.2. Les signaux luminance et chrominance

Pour des raisons historiques (compatibilité avec les récepteurs N&B), on préfère travailler avec 3 signaux calculés à partir des précédents qui sont la luminance Y, la chrominance rouge Cr et la chrominance bleue Cb. Ce sont ces signaux qui seront digitalisés dans une caméra numérique.

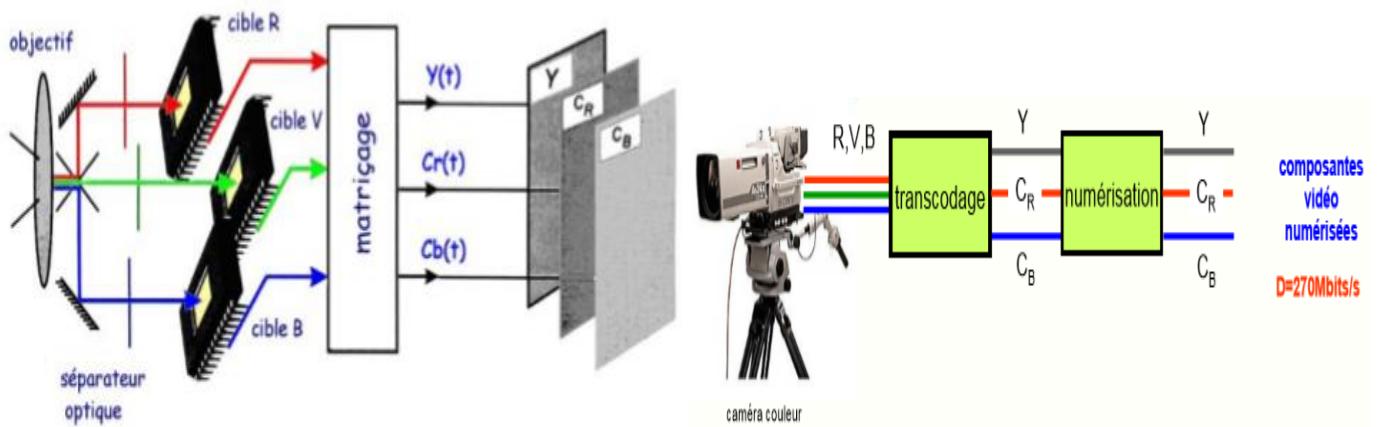


Figure 4.8 : Matriçage et numérisation des signaux

4.3.3. Le signal vidéo numérique

Le format de base pour l'image numérique est le 4:2:2, caractérisé par :

- 25 images/s de 625 lignes, dont 576 affichées
- signal de luminance Y échantillonné à 13,5 MHz (Fmax= 6,5 MHz)
- signaux de chrominance Cr et Cb échantillonnés à 6,75 MHz (Fmax= 3,25 MHz)

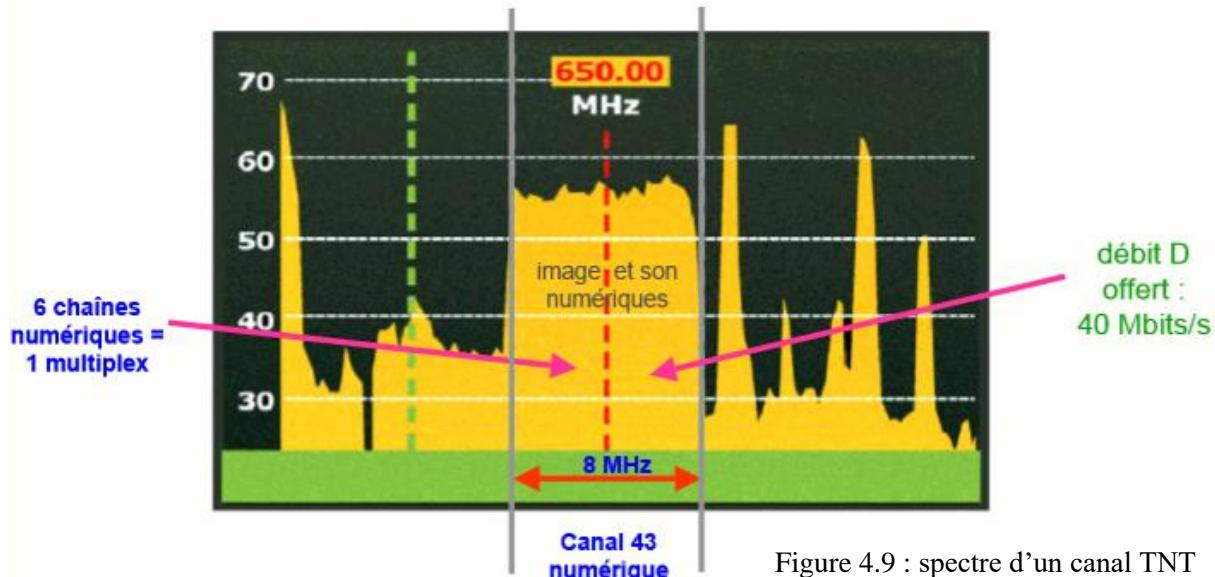
- échantillons codés sur 10 bits

La numérisation du signal vidéo produit un débit D très important :

$$D = 13,5 \cdot 10^6 \text{ bits} + 2 \cdot 6,75 \cdot 10^6 \text{ bits} = 270 \text{ Mbits/s !}$$

4.3.4. Nécessité de la compression de débit

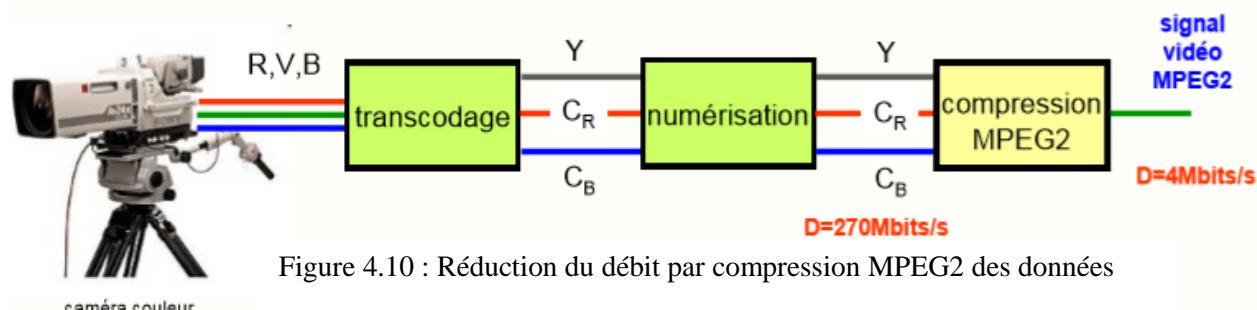
Un canal TNT a un débit numérique limité à 40 Mbits/s :



Il est impossible de transmettre un signal vidéo numérisé en 4:2:2 dans un canal de largeur = 8 MHz

La compression du débit par codage MPEG2 repose sur le principe d'éliminer la redondance entre images vidéo. La réduction de débit est possible car deux images vidéo successives sont souvent très voisines :

- si les images sont proches, le MPEG2 ne code que ce qui a changé d'une image à l'autre.
- si les images sont très différentes, le MPEG2 code l'image complète.



	Chaines gratuites	Chaines payantes	Chaines payantes
Définition	SD(720×576 pixels)	SD(720×576 pixels)	HD(1440×1080 pixels)
vidéo	MPEG2 ≈ 4Mbits/S	MPEG4 AVC 1Mbits/S	MPEG4 AVC 8Mbits/S
Audio	MP3 ≈ 100 kbits/S Dolby AC3 192 kbits/S Dolby 5.1 384 kbits/S	MPEG4 AAC	MPEG4 AAC

La réduction de débit est très importante car le MPEG2 fait passer le débit de 270 Mbits/s à 4 Mbits/s avec une perte de qualité insensible.

Le tableau ci-dessus affiche les débits numériques de quelques chaînes en TNT. Les émissions TNT existent en différentes qualités d'image et de son.

Pour une chaîne (signal vidéo avec son), on retiendra donc les ordres de grandeur suivants :

- Définition normale SD Débit =4 Mbits/s environ
- Haute définition HD Débit =8 Mbits/s environ

4.3.5. Protection des données

Les données doivent être protégées contre les erreurs de transmissions. La protection des données met en œuvre 2 techniques complexes de codage de canal :

- un codage Reed-Solomon qui ajoute à chaque paquet 16 bits de correction d'erreurs \Rightarrow le débit passe à : $24 \times 204 / 188 = 26$ Mbits/s
- un codage convolutif qui nécessite 3 bits pour en transmettre 2 (FEC23) \Rightarrow le débit passe à $26 \times 3 / 2 \approx 39$ Mbits/s

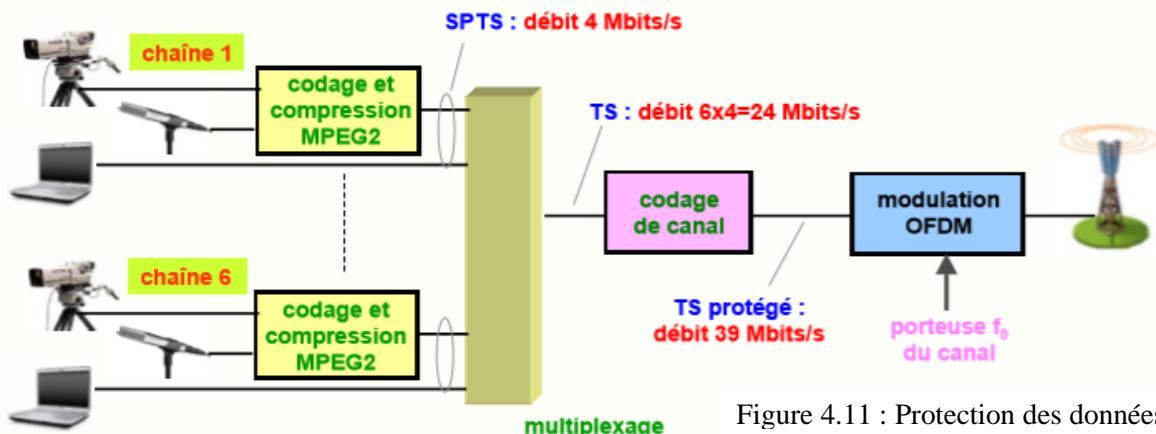


Figure 4.11 : Protection des données

4.4. Modulations utilisées

La figure ci-dessous montre les spectres TNT et analogique. On voit que la modulation utilisée dans la TNT est la COFDM(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex (norme ETSI 300 744) :

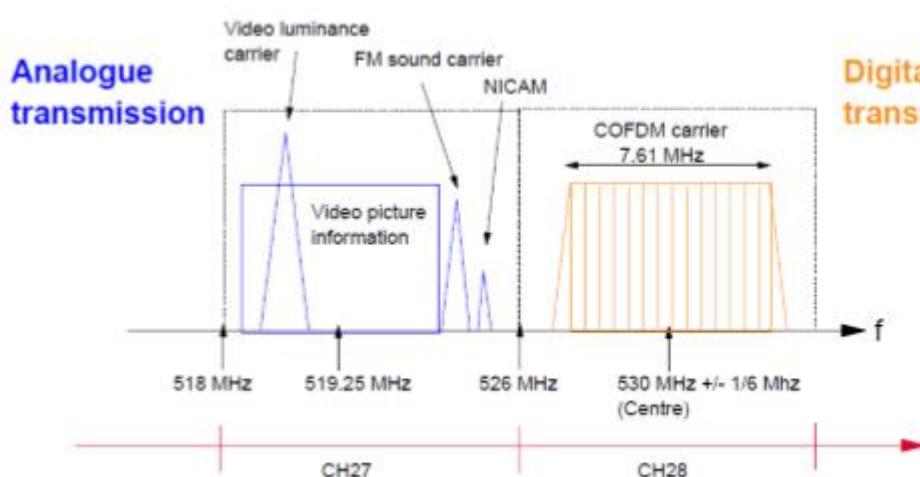
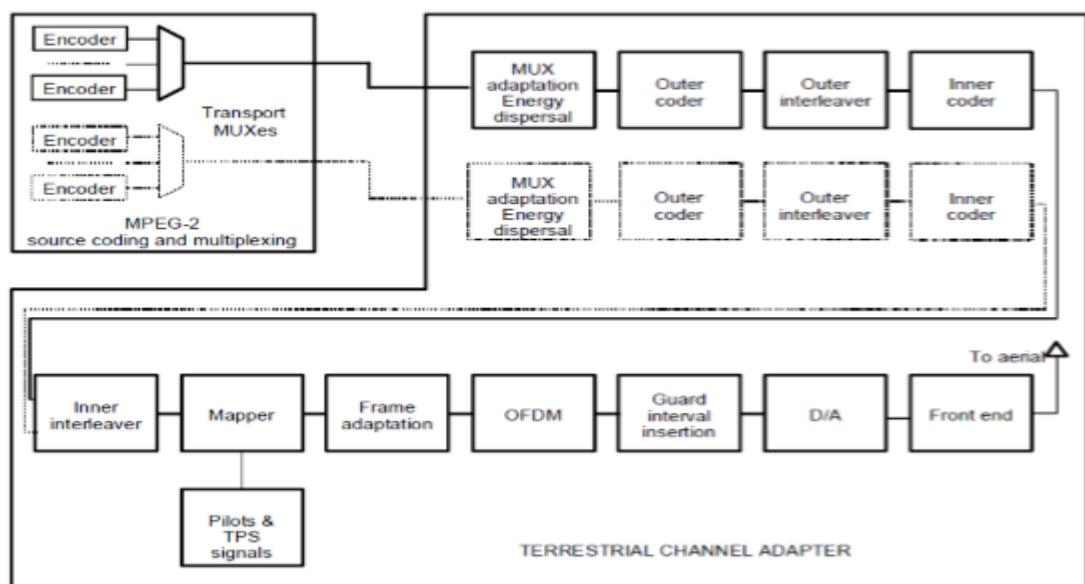
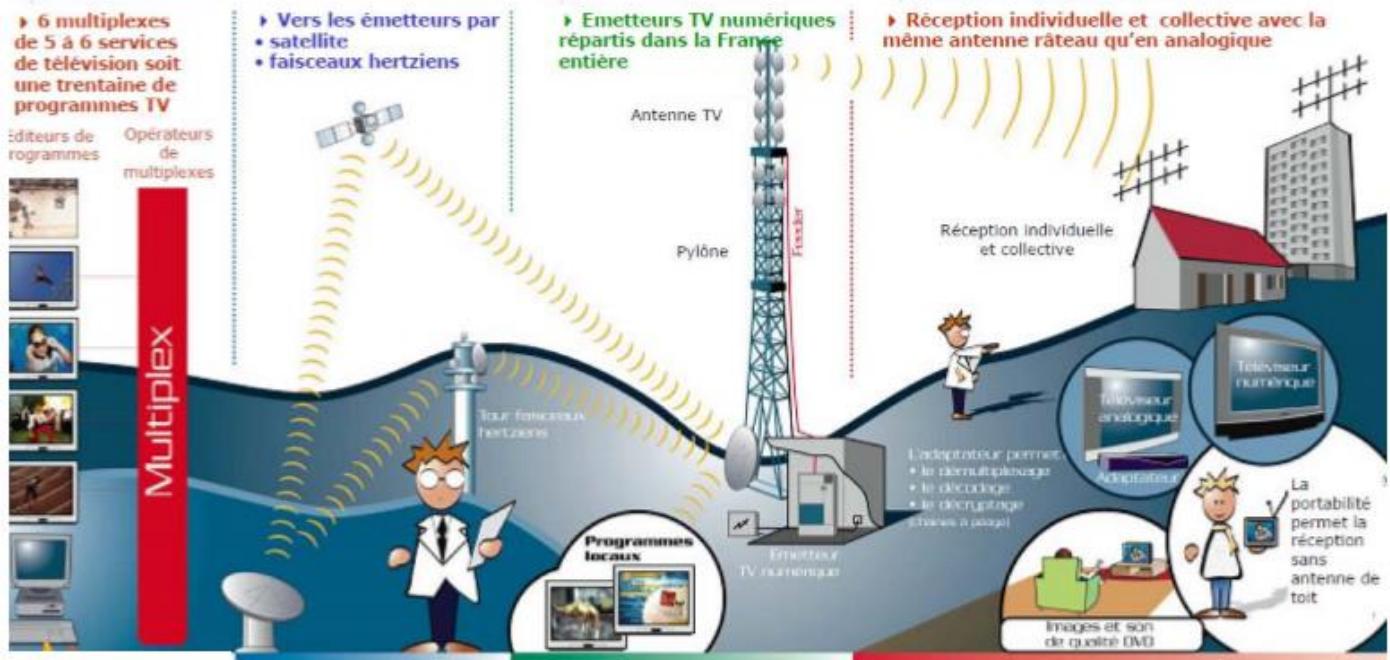


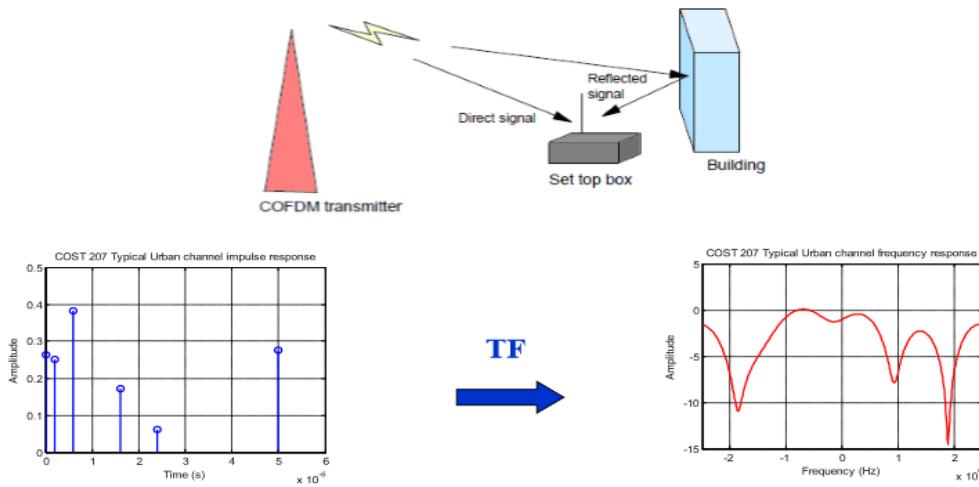
Figure 4.11 : Protection des données

Production TNT > Transmission TNT > Diffusion TNT > Réception TNT



4.4.1. La modulation OFDM

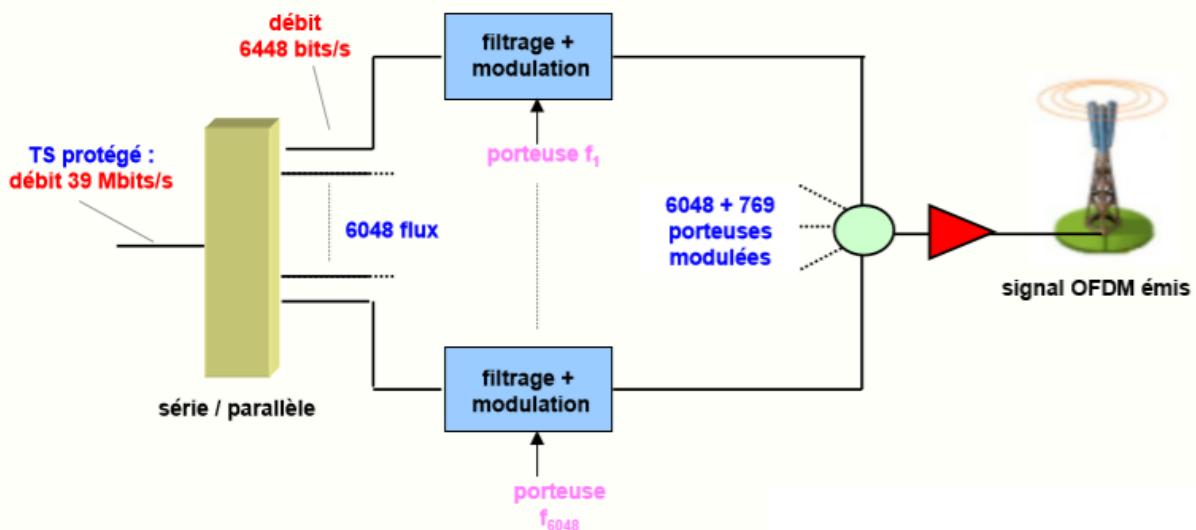
Pourquoi OFDM ? Propagation multi trajets :



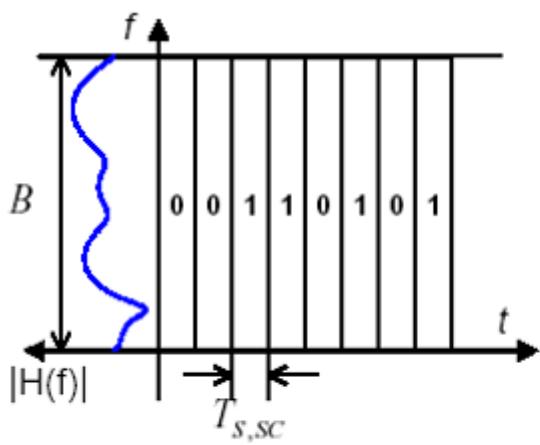
Alors une distorsion du spectre du signal transmis

Pour la TNT, la modulation **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplex) choisie est à 6817 porteuses espacées de 1116 Hz:

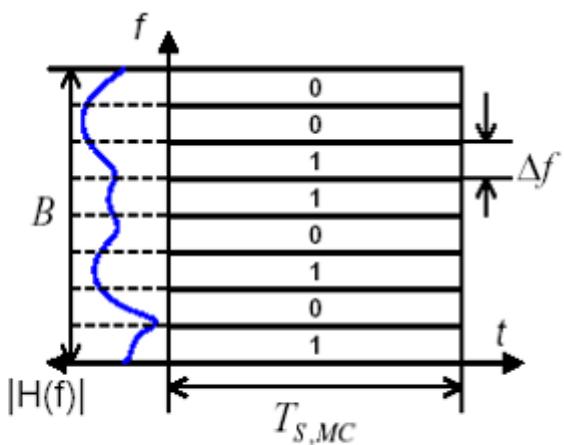
- le flux de données à 39 Mbits/s est transformé en 6048 flux de débit $39M/6048 = 6,448$ Kbits/s
- ces flux sont filtrés par des passe-bas puis modulent 6048 porteuses légèrement décalées
- 769 porteuses sont modulées par des signaux de synchronisation/service



Fonctionnement du OFDM :



Une seule porteuse



Plusieurs porteuses

Durée d'un symbole

$$T_{S,MC} = N \cdot T_{S,SC}$$

Bandé passante

$$B = N \cdot \Delta f$$

Espace entre sous porteuse

$$\Delta f = \frac{1}{T_{S,MC}}$$

Cas mono porteuse : 2 bits/symbole pour QPSK

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} S_i \cdot \text{rect}\left(\frac{t - iT_{S,SC}}{T_{S,SC}}\right)$$

Cas multi-porteuses : 2^*N bits par symbole OFDM pour QPSK

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \left[\frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} S_{i,k} e^{j2\pi k \Delta f t} \right] \cdot \text{rect}\left(\frac{t - iT_{S,MC}}{T_{S,MC}}\right)$$

$$T_{S,MC} = N \cdot T_{S,SC} \quad \Delta f = \frac{1}{T_{S,MC}} \quad B_{MC} = N \cdot \Delta f$$

Comment combattre les effets du fading ?

- Egalisation : compensation de l'IES
- Le rôle d'un égaliseur est de compenser les variations d'amplitude et de phase dues au fading
- Lorsque les caractéristiques du canal varient rapidement on a recours à un égaliseur adaptatif qui envoie des séquences de test à intervalles réguliers.
- Dans le cas d'un canal sélectif en temps, l'égaliseur réalise la fonction de transfert inverse du canal
- Dans le cas d'un canal sélectif en fréquence, il amplifie les composantes fréquentielles de faible amplitude et atténue les composantes de forte amplitude

Signal à temps discret du ième bloc OFDM :

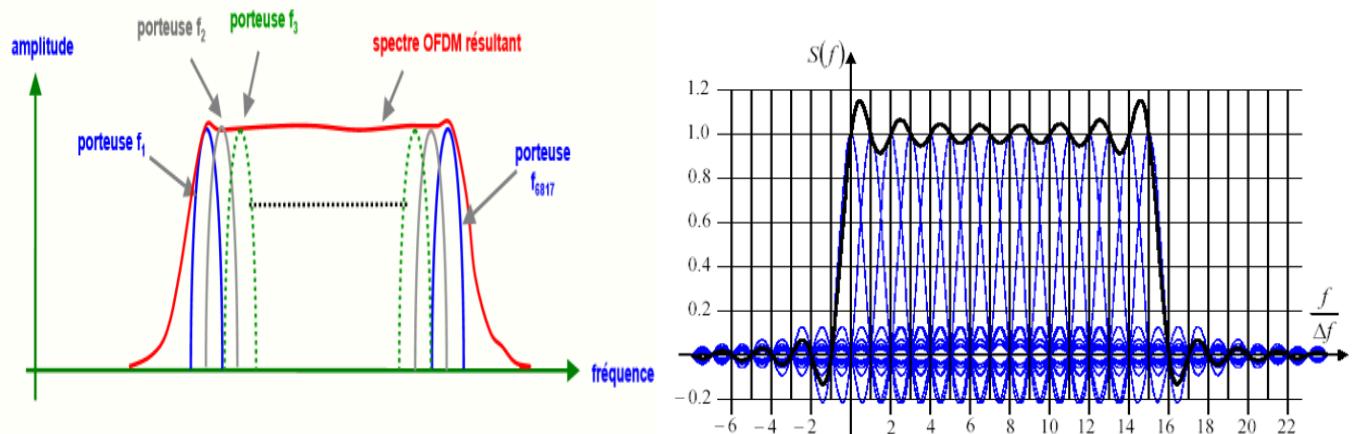
$$s_{i,n} = s_i(n \cdot \Delta t) \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} S_{i,k} e^{j2\pi k \Delta f \Delta t}$$

$$\Delta f \cdot \Delta t = \frac{1}{T_{S,MC}} \cdot \frac{T_{S,MC}}{N} = \frac{1}{N}$$

$$s_{i,n} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} S_{i,k} e^{j2\pi \frac{nk}{N}} \quad (\text{IDFT})$$

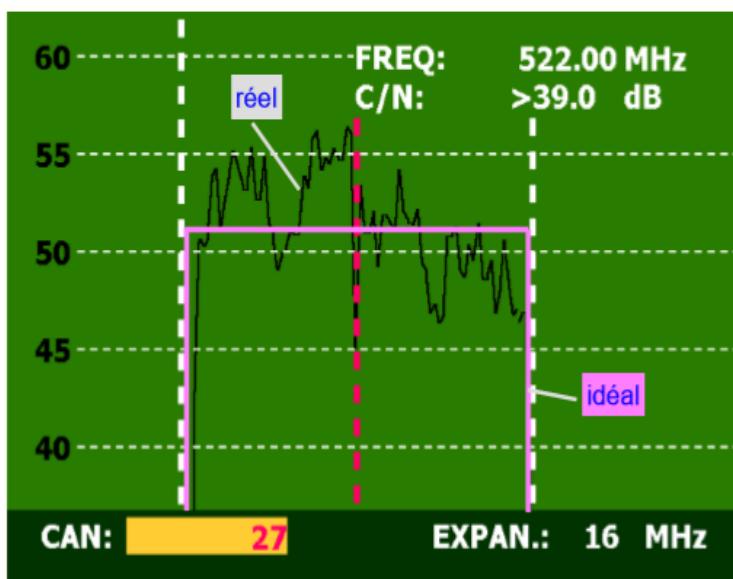
On peut l'implémenter à l'aide d'algorithme de FFT

Le spectre du signal modulé OFDM est constitué de la juxtaposition de 6817 porteuses espacées de 1116 Hz :



Spectre du signal OFDM avec $N=16$ sous-porteuses

La structure très particulière de ce spectre explique sa forme quasi rectangulaire. C'est une des manières les plus efficaces d'occuper complètement un canal de largeur donnée. La figure suivante montre spectre OFDM réel

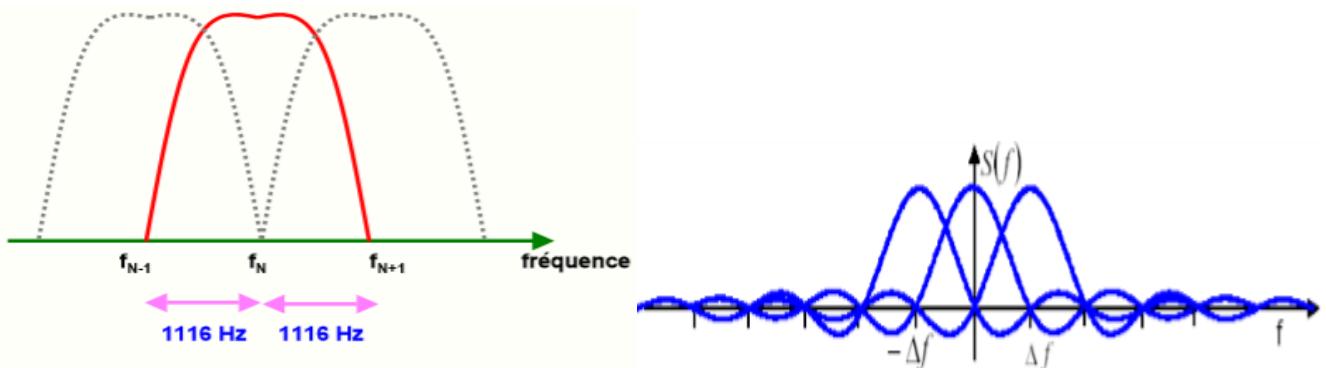


Remarques :

- on retrouve l'aspect quasi rectangulaire prévu par la théorie.
- on note des irrégularités dans le niveau des différentes porteuses (± 5 dB environ)

Orthogonalité des porteuses :

Le récepteur peut démoduler ces 6817 porteuses, même si elles se recouvrent partiellement :



Spectre de trois sous-porteuses adjacentes

$$g_k(t) = e^{j2\pi k \Delta f t} \cdot \text{rect}\left(\frac{t}{T_s}\right)$$

Sous-porteuse OFDM k :

Les sous-porteuses sont orthogonales :

$$\langle g_k, g_l \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} g_k(t) \cdot g_l^*(t) \cdot dt = \int_{-\frac{T_s}{2}}^{+\frac{T_s}{2}} e^{j2\pi(k-l)\Delta f t} \cdot dt = \begin{cases} T_s & , k = l \\ 0 & , k \neq l \end{cases}$$

Chaque porteuse modulée peut donc avoir une largeur spectrale allant jusqu'à $2 \times 1116 = 2232$ Hz

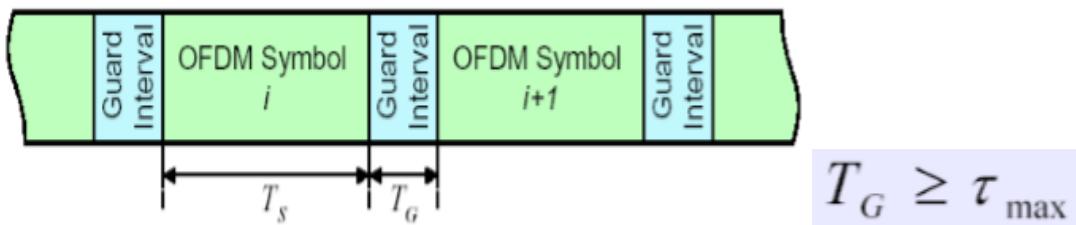
⇒ la rapidité de modulation maximale pour chaque porteuse est : $R = 1116$ bauds

⇒ Alors que de débit numérique par porteuse doit être de : $D = 6448$ bits/s

Conclusion : il faudra donc utiliser une modulation transmettant 6 bits/symbole !

Intervalle de garde ou préfixe cyclique :

Pour enlever totalement l'IES, la durée de l'intervalle de garde doit être supérieure au retard maximum τ_{\max} du canal :



4.4.2. Modulation 64-QAM d'une porteuse

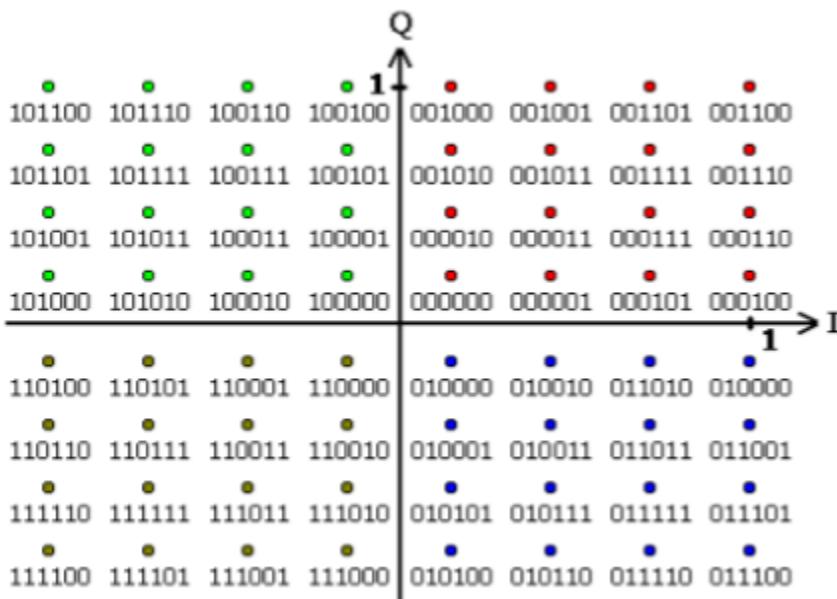
Chaque porteuse est modulée par le signal binaire selon une modulation 64-QAM définie par la constellation suivante:

⇒ rapidité de modulation :

$$R = 6448/6 = 1075 \text{ bauds}$$

⇒ largeur du spectre de la porteuse modulée :

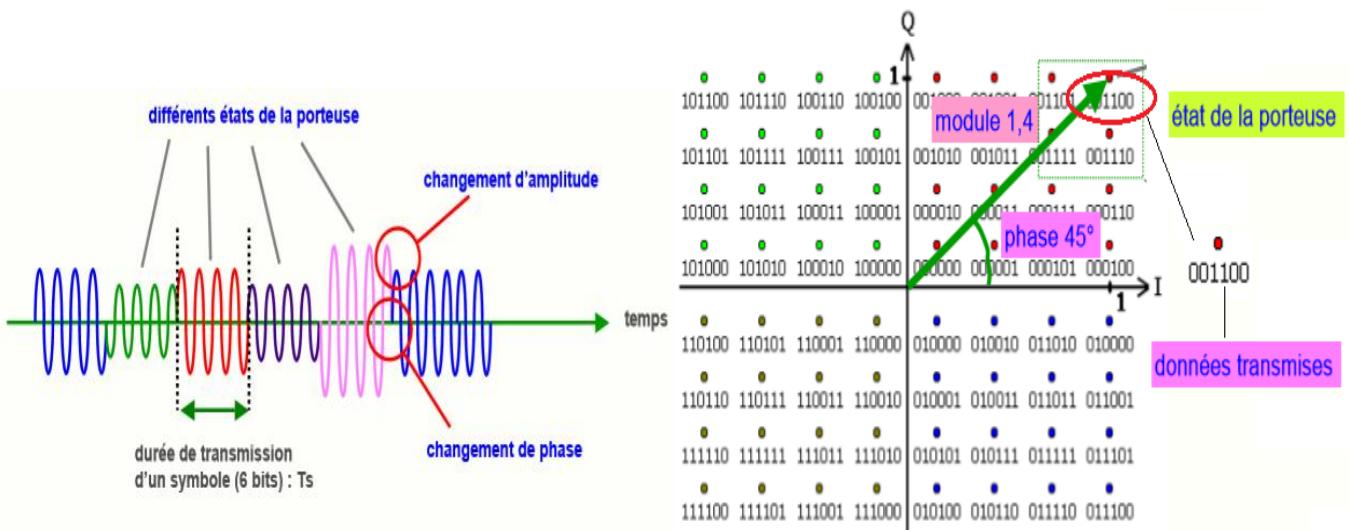
$$B \approx 1075 \times 2 = 2150 \text{ Hz}$$



- le signal à transmettre est divisé en tranches ou mots de 6 bits (symboles)
- à chaque mot de 6 bits correspond un état de la porteuse (amplitude et phase)
- l'état de la porteuse change donc tous les 6 bits

4.4.3. Allure temporelle d'une porteuse modulée

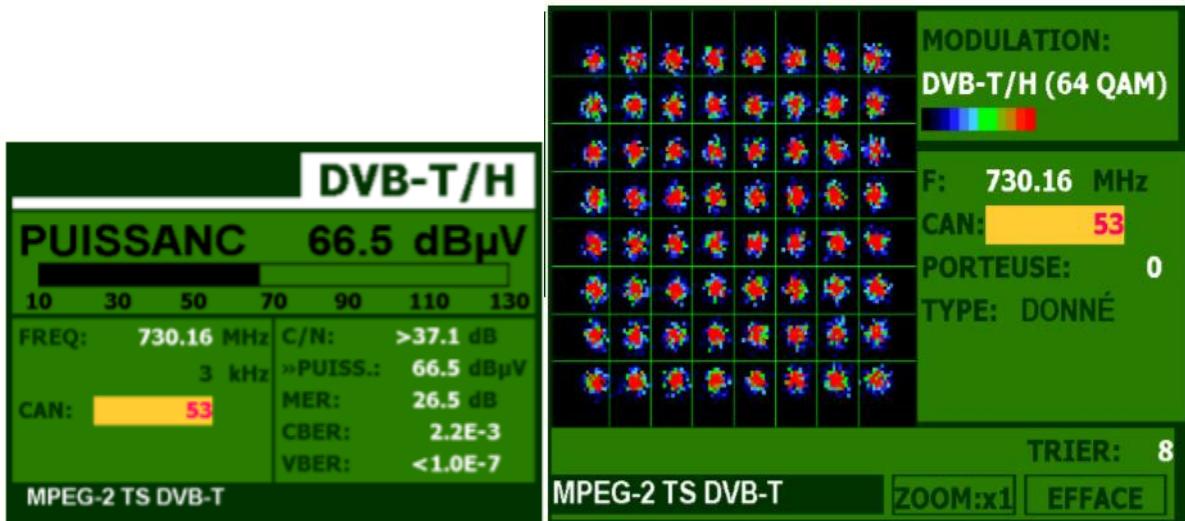
Une rapidité de modulation de $R = 1075$ bauds donne une durée de symbole : $T_s = 0,93$ ms



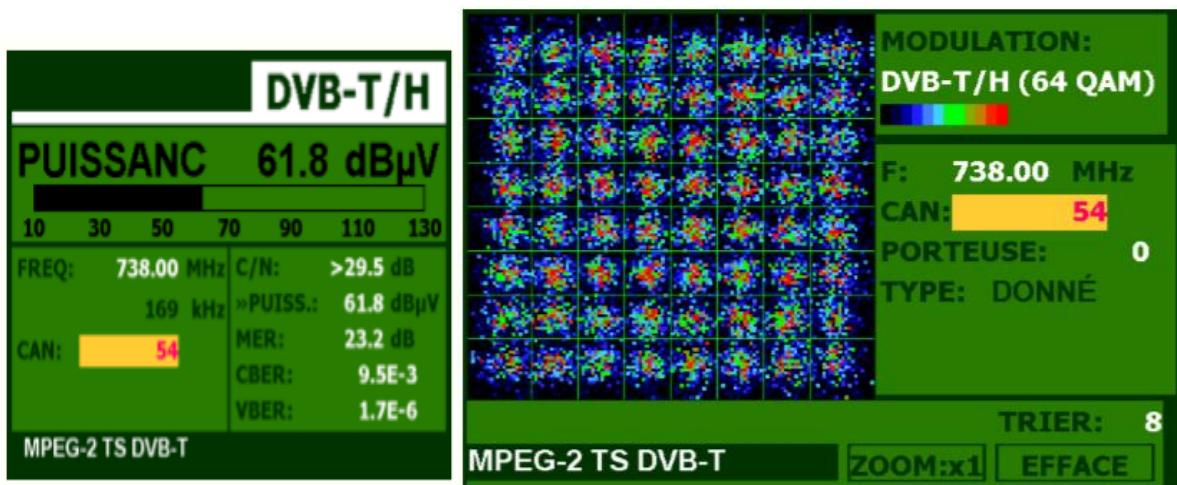
Question : si la porteuse a une amplitude de 1,414 et une phase de 45°, quelle est l'information transmise ?

Réponse : l'information transmise est «001100», comme illustré dans la figure ci-dessus. La porteuse reste dans son état durant 0,93 ms

Une bonne réception correspond à une bonne constellation. La figure ci-dessous montre que les 64 états sont bien séparés donc le récepteur pourra reconnaître les symboles et récupérer les données correspondantes.

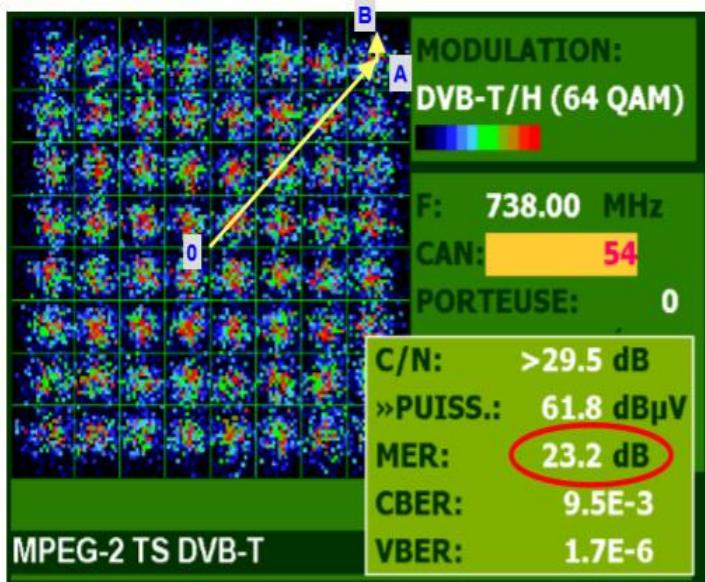


Pour une mauvaise réception, la constellation n'est pas bonne et les 64 états ne sont pas bien distincts, le récepteur risque de confondre les symboles : il y aura des erreurs de transmission !



4.4.4. Mesure de la qualité de la modulation

La qualité de la modulation des 6817 porteuses est mesurée par le MER (Modulation Error Ratio). Il renseigne sur la distance entre le point idéal A de la constellation et le point réel B.



Formule de calcul :

$$\text{MER} = 20 \cdot \log (\text{OA}/\text{AB})$$

Ici :

$$\text{OA} = 65 \text{ mm} \text{ et } \text{AB} = 5 \text{ mm},$$

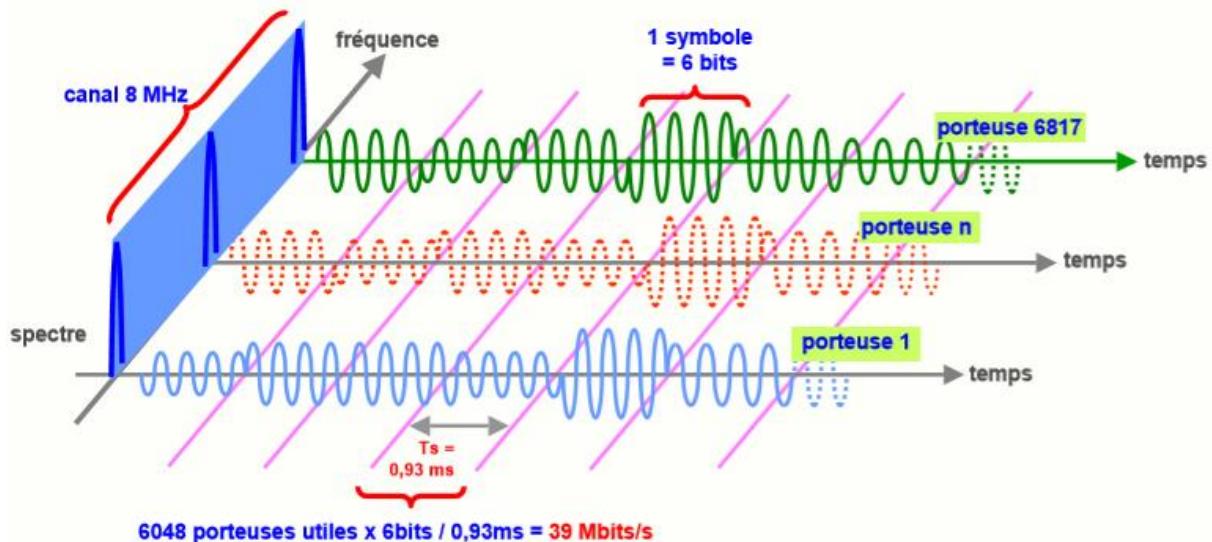
$$\text{Soit } \text{MER} = 20 \cdot \log (65/5) = 22,3 \text{ dB}$$

Le MER affiché par le testeur est une valeur moyenne sur un grand nombre d'états.

Plus le MER est élevé, plus l'image est de qualité, un MER = 20 dB étant un minimum.

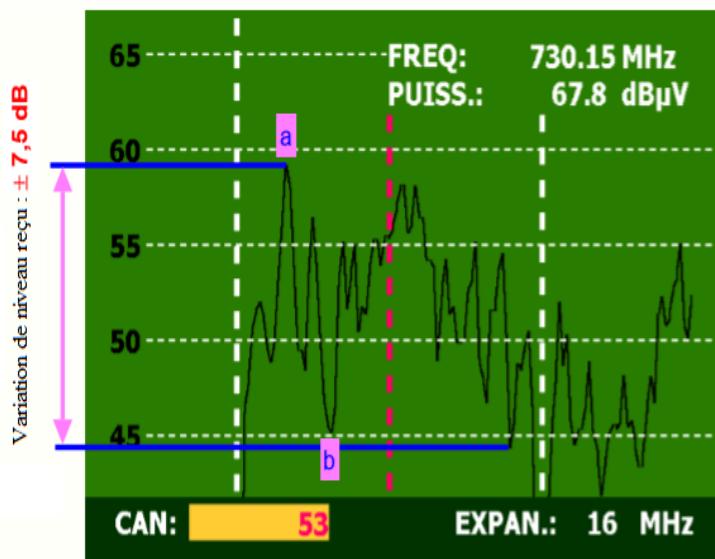
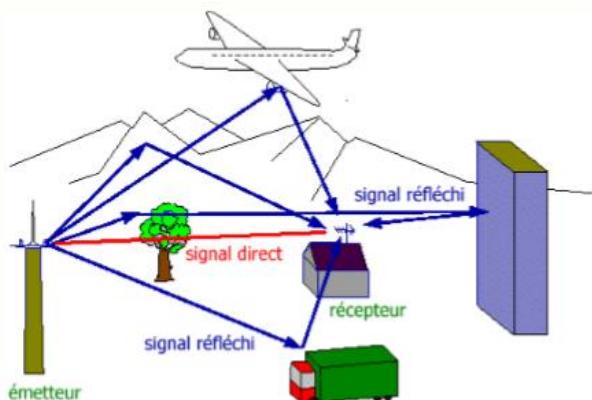
Le schéma suivant montre une vision globale du signal OFDM émis tels que :

- 6817 porteuses espacées de 1116 Hz, dont 6048 transportant des informations «image+son»
- chaque porteuse peut avoir 64 états différents (amplitude et/ou phase)
- chaque état correspond à la transmission de 6 bits et dure 0,93 ms.



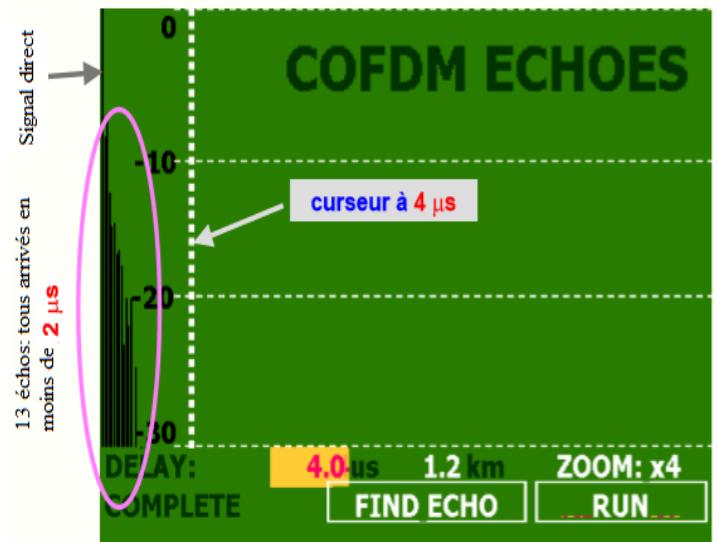
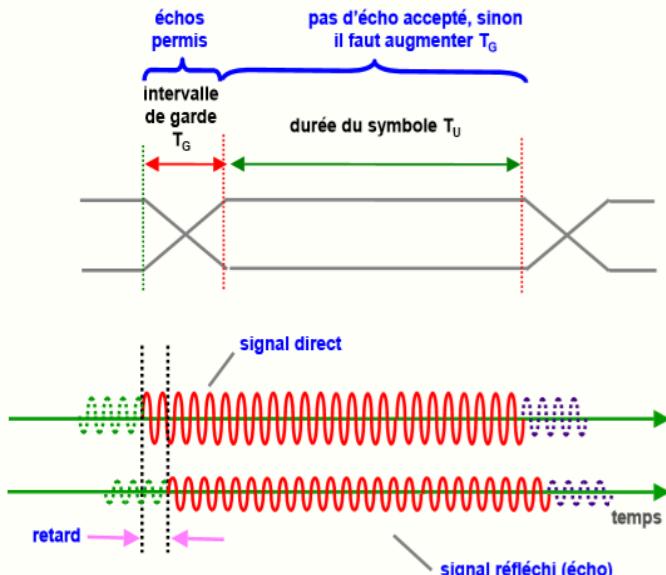
4.4.4. Le problème des trajets multiples

Les réflexions du signal émis en milieu urbain ou montagneux affectent le niveau du signal reçu. La figure ci-dessous montre que ces réflexions jouent sur le niveau reçu pour chaque porteuse car elles peuvent renforcer le signal si elles arrivent en phase avec le signal direct (a) ou atténuer le signal si elles arrivent en opposition de phase (b)



Le récepteur ne reçoit donc pas toutes les 6817 porteuses avec un niveau identique.

Pour être sûr que les signaux direct et réfléchi reçus correspondent à un même symbole, on introduit un intervalle de garde durant lequel le récepteur n'essaie pas de reconnaître le symbole. Cette procédure permet d'éviter les **interférences inter-symboles**.



En France :

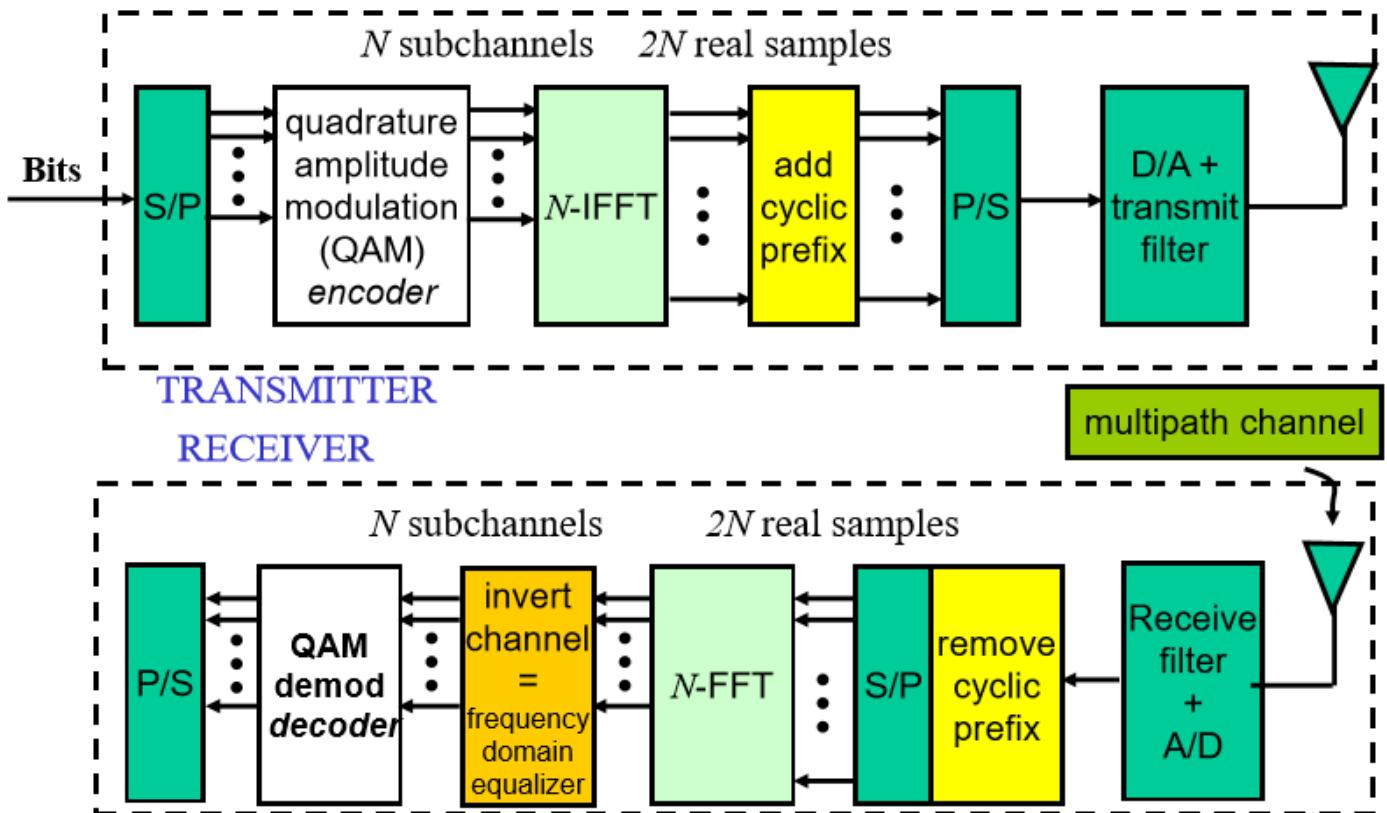
Exemple de relevé d'échos

$T_U = 896 \mu s$

$T_G = T_U/32 = 28 \mu s$ soit un trajet supplémentaire : $X = c T_G = 8,3 \text{ km}$

Remarque :

- en présence de réflexions lointaines, l'intervalle de garde peut être monté à $T_U/16$, $T_U/8$ ou $T_U/4$ au détriment bien-sûr du débit
- l'intervalle de garde permet aussi d'utiliser le même canal pour deux ou plusieurs émetteurs arrosant la même zone (distance max entre les émetteurs de quelques dizaines de km)

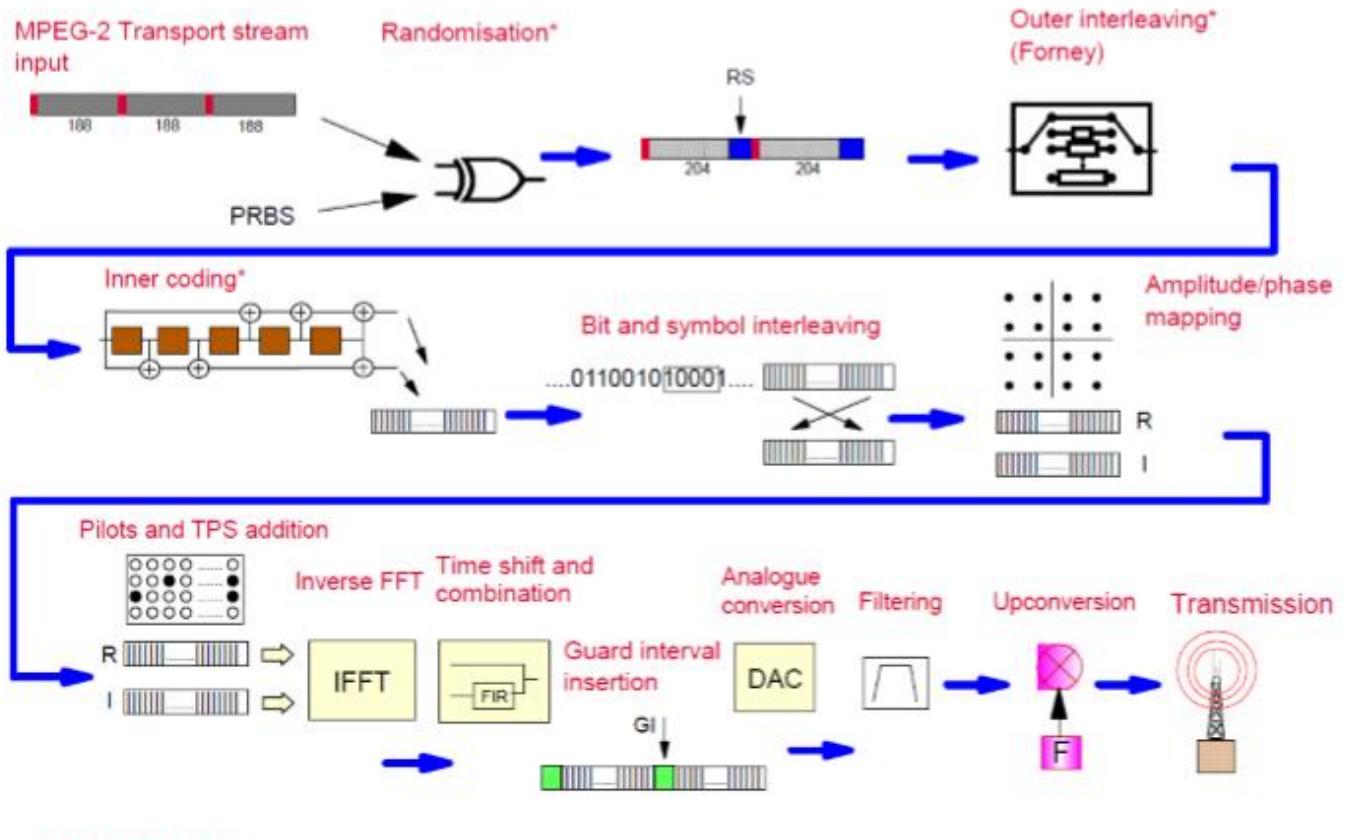


Paramètres DVB-T :

Parameter	8K mode	2K mode
Number of carriers K	6 817	1 705
Value of carrier number K_{\min}	0	0
Value of carrier number K_{\max}	6 816	1 704
Duration T_U (see note 2)	896 μ s	224 μ s
Carrier spacing $1/T_U$ (see notes 1 and 2)	1 116 Hz	4 464 Hz
Spacing between carriers K_{\min} and K_{\max} ($K-1$)/ T_U (see note 2)	7,61 MHz	7,61 MHz
NOTE 1: Values in italics are approximate values.		
NOTE 2: Values for 8 MHz channels. Values for 6 MHz and 7 MHz channels are given in tables E.1 and E.2.		

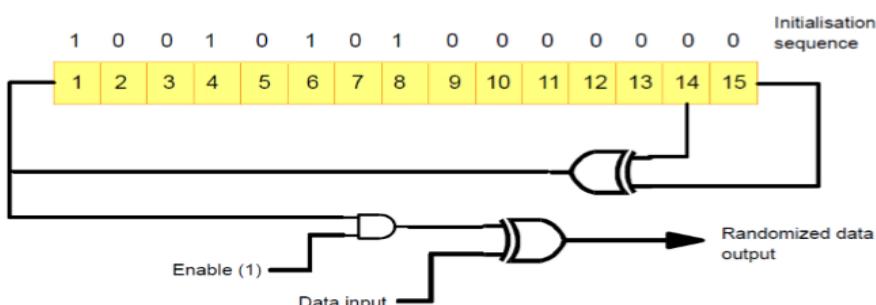
Mode	8K mode				2K mode			
	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Guard interval Δ / T_U	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Duration of symbol part T_U	8 192 \times T 896 μ s (see note)				2 048 \times T 224 μ s (see note)			
Duration of guard interval Δ	2 048 \times T 224 μ s	1 024 \times T 112 μ s	512 \times T 56 μ s	256 \times T 28 μ s	512 \times T 56 μ s	256 \times T 28 μ s	128 \times T 14 μ s	64 \times T 7 μ s
Symbol duration $T_S = \Delta + T_U$	10 240 \times T 1 120 μ s	9 216 \times T 1 008 μ s	8 704 \times T 952 μ s	8 448 \times T 924 μ s	2 560 \times T 280 μ s	2 304 \times T 252 μ s	2 176 \times T 238 μ s	2 112 \times T 231 μ s
NOTE: Values for 8 MHz channels. Values for 6 MHz and 7 MHz channels are given in tables E.3 and E.4.								

OFDM insuffisant donc COFDM :



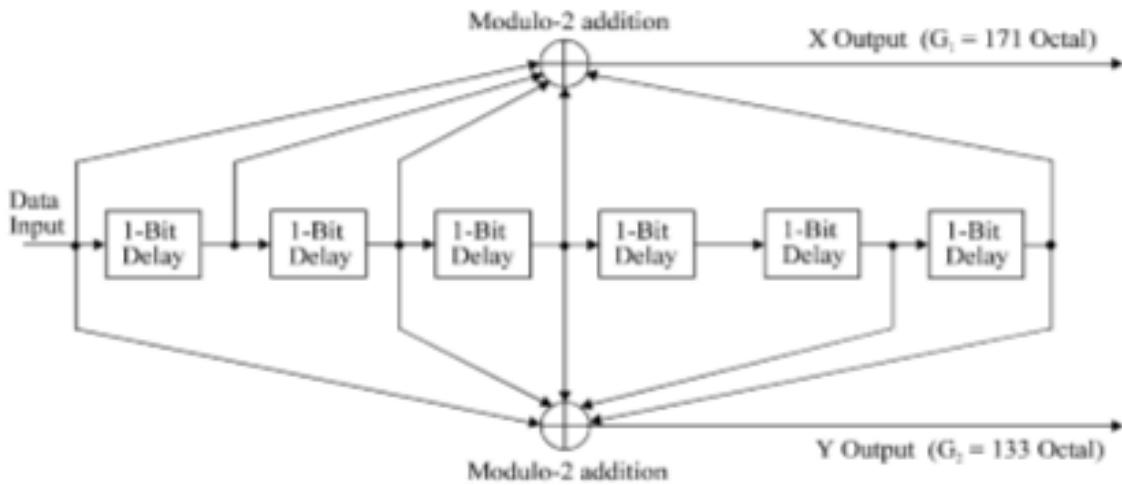
COFDM : embrouillage

- Répartition de l'énergie, synchronisation



□ COFDM : CCE

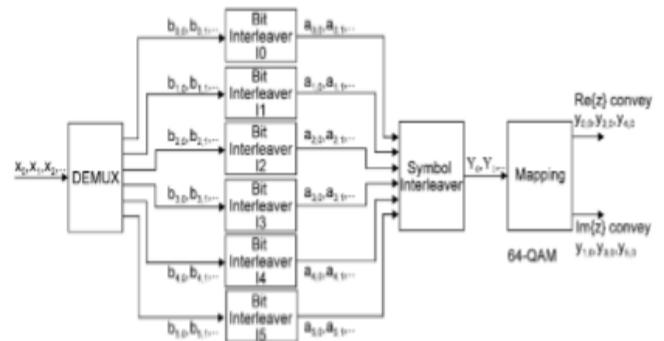
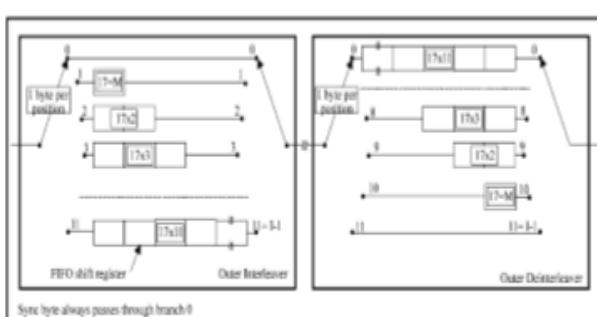
- Code concaténé :
 - Code externe : RS(204,188,T=8) → erreurs en rafales
 - Code interne : code convolutif $G = [171 \ 133]_8$ de rendement variable (poinçonnage) :



Code Rates r	Puncturing pattern	Transmitted sequence (after parallel-to-serial conversion)
1/2	X: 1 Y: 1	X ₁ Y ₁
2/3	X: 1 0 Y: 1 1	X ₁ Y ₁ Y ₂
3/4	X: 1 0 1 Y: 1 1 0	X ₁ Y ₁ Y ₂ X ₃
5/6	X: 1 0 1 0 1 Y: 1 1 0 1 0	X ₁ Y ₁ Y ₂ X ₃ Y ₄ X ₅
7/8	X: 1 0 0 0 1 0 1 Y: 1 1 1 1 0 1 0	X ₁ Y ₁ Y ₂ Y ₃ Y ₄ X ₅ Y ₆ X ₇

□ COFDM : Entrelacement :

- Etaler les erreurs → garantir le fonctionnement des codes correcteurs.
- Externe : entrelaceur convolutif (FORNEY)
- Interne : matriciel bit + symboles



COFDM : Modulations :

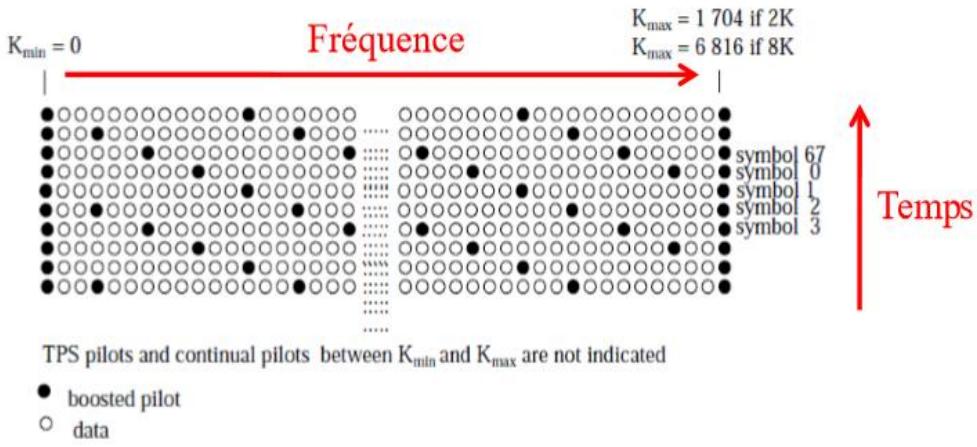
- De la QPSK à la 64QAM (de 2 à 6 bits par symbole)

• France : 64QAM, Allemagne : 16QAM

• Mode normal ou hiérarchique (cf: exemple ci-dessous pour 16QAM)

COFDM : Estimation du canal :

- Pilotes = données connues par l'émetteur et le récepteur
- Leur déformation permet de savoir comment le canal a déformé le signal et de calculer une correction
- Pilotes dispersés, pilotes continus et pilotes TPS



- Pilotes TPS (Transmission Parameter Signaling)
- Info sur : la modulation, l'intervalle de garde, le rendement du code interne, mode de transmission (2K ou 8K), numéro de trame dans une super trame.

Table 8: Carrier indices for TPS carriers

2K mode					8K mode				
34	50	209	346	413	34	50	209	346	413
569	595	688	790	901	790	901	1 073	1 219	1 262
1 073	1 219	1 262	1 286	1 469	1 687	1 738	1 754	1 913	2 050
1 594	1 687				2 392	2 494	2 605	2 777	2 923
					3 298	3 391	3 442	3 458	3 617
					4 003	4 096	4 198	4 309	4 481
					4 877	5 002	5 095	5 146	5 162
					5 681	5 707	5 800	5 902	6 013
					6 398	6 581	6 706	6 799	



4.5. Les canaux de la TNT

Les émissions de la TNT se font pour l'essentiel dans la bande UHF qui va de 470 à 860 MHz.

Cette bande a été divisée en canaux de largeur 8 MHz pour la TV analogique, numérotés de 21 à 69. La TNT a repris les mêmes canaux.

Pour calculer la fréquence du canal on utilise la formule suivante :

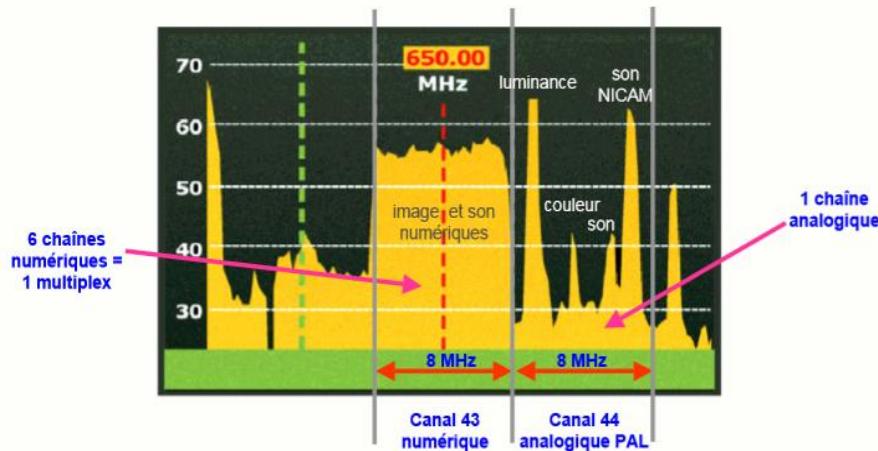
$$F(\text{MHz}) = 306 + 8 \times \text{numéro du canal}$$

Par exemple le canal 21 correspond à une fréquence $F = 306 + 21 \times 8 = 474$ MHz soit $\lambda=63\text{cm}$

Un décalage (shift) de + 166 kHz destiné à éviter les perturbations dans le canal voisin analogique est recommandé ce qui aboutit à :

$$\text{canal 21 TNT} = 474,166 \text{ MHz}$$

La figure ci-dessous montre le spectre d'un canal TNT à côté d'un canal TV analogique dans la bande UHF. L'occupation du canal est bien meilleure, puisque avec une même largeur (8 MHz) on transmet 6 chaînes en qualité «normale» (ou 3 chaînes en haute définition).



4.6. Réception de la télévision numérique

La TNT se reçoit avec une antenne «râteau» ou une antenne d'intérieur. L'antenne doit être montée en respectant la polarisation horizontale ou verticale. Il faut avoir aussi un adaptateur TNT ou un téléviseur équipé d'un décodeur TNT.

Remarque : le choix de l'antenne se fait en fonction de l'intensité du signal au lieu de réception (niveau minimal en sortie d'antenne pour une bonne réception : $50 \mu V$)

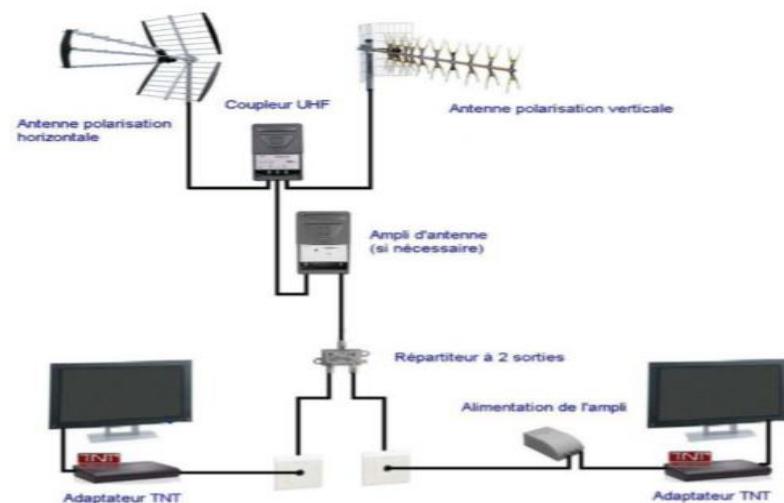
Le plus souvent, l'adaptateur TNT est relié à l'antenne UHF et au téléviseur par un cordon Péritel (ou HDMI si le téléviseur en est équipé).

En réception TV, les tests et mesures se font à l'aide d'un mesureur de champ qui, grâce à ses nombreuses fonctions, est devenu un outil indispensable :

«Voltmètre» : pour mesurer le niveau reçu par l'antenne, le rapport Porteuse/Bruit...

«Analyseur de spectre» : pour visualiser la bande UHF, le signal reçu, les signaux parasites...

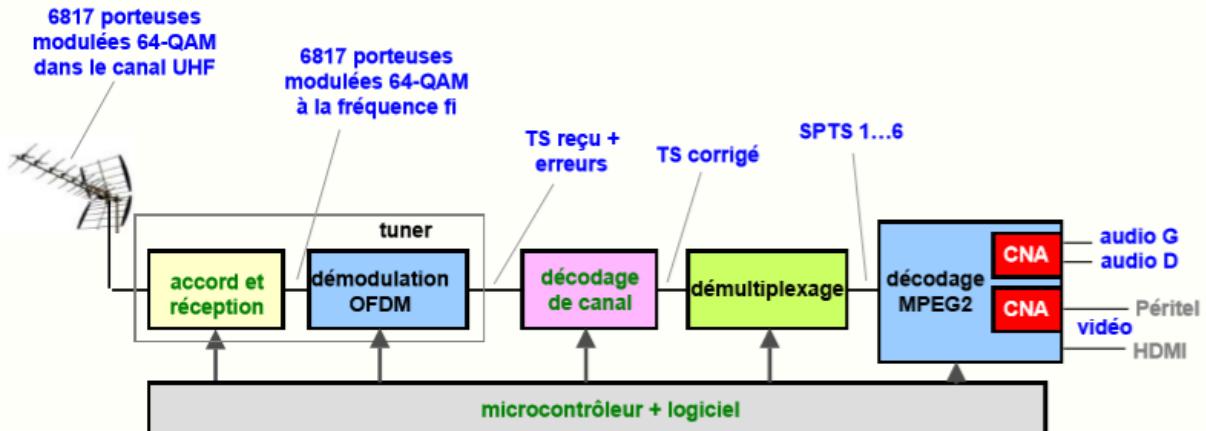
«Démodulateur» : pour visualiser l'image TV, mesurer et afficher ses caractéristiques (taux d'erreur, qualité de la modulation, constellation des états, échos ...)



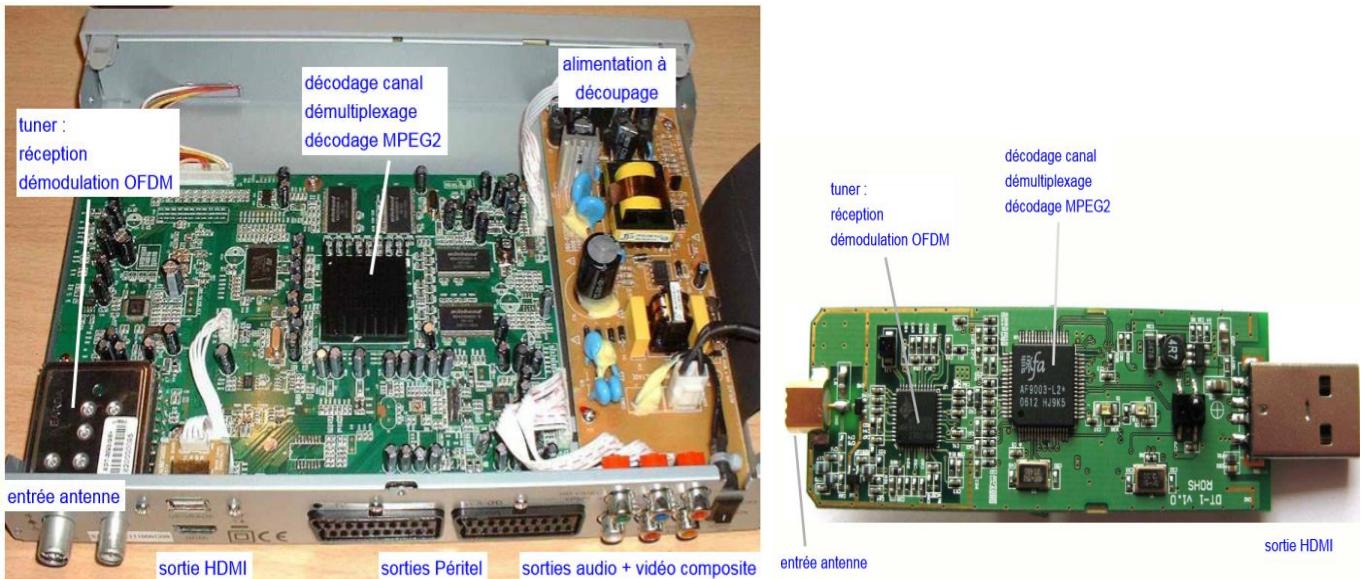
4.6.1. Structure d'un adaptateur TNT

On retrouve dans l'adaptateur TNT les fonctions inverses de l'émetteur (voir figure ci-dessous) :

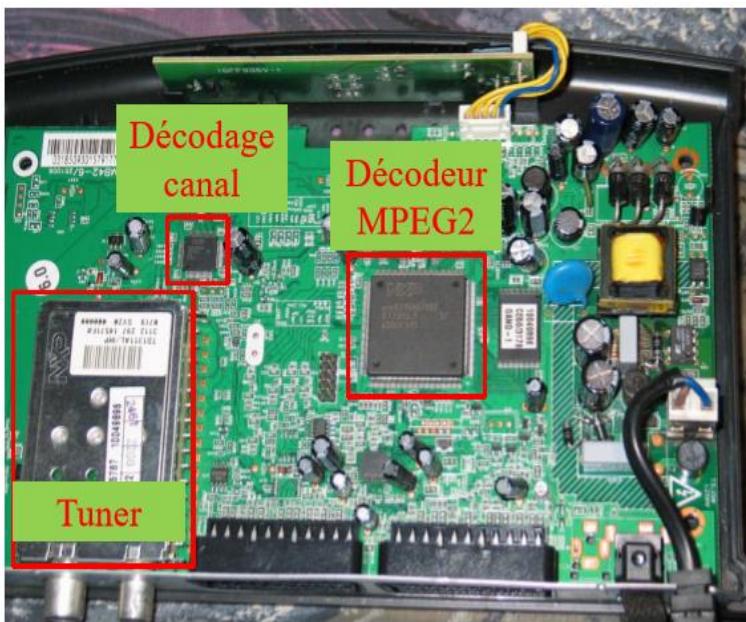
- le canal désiré est sélectionné par un étage de réception à changement de fréquence
- le signal en sortie du filtre fi est démodulé pour récupérer le Transport Stream
- le décodage de canal corrige, quand c'est possible, les erreurs de transmission
- le démultiplexeur récupère les paquets correspondant à la chaîne sélectionnée
- le décodeur MPEG2 reconstitue les signaux audio et vidéo



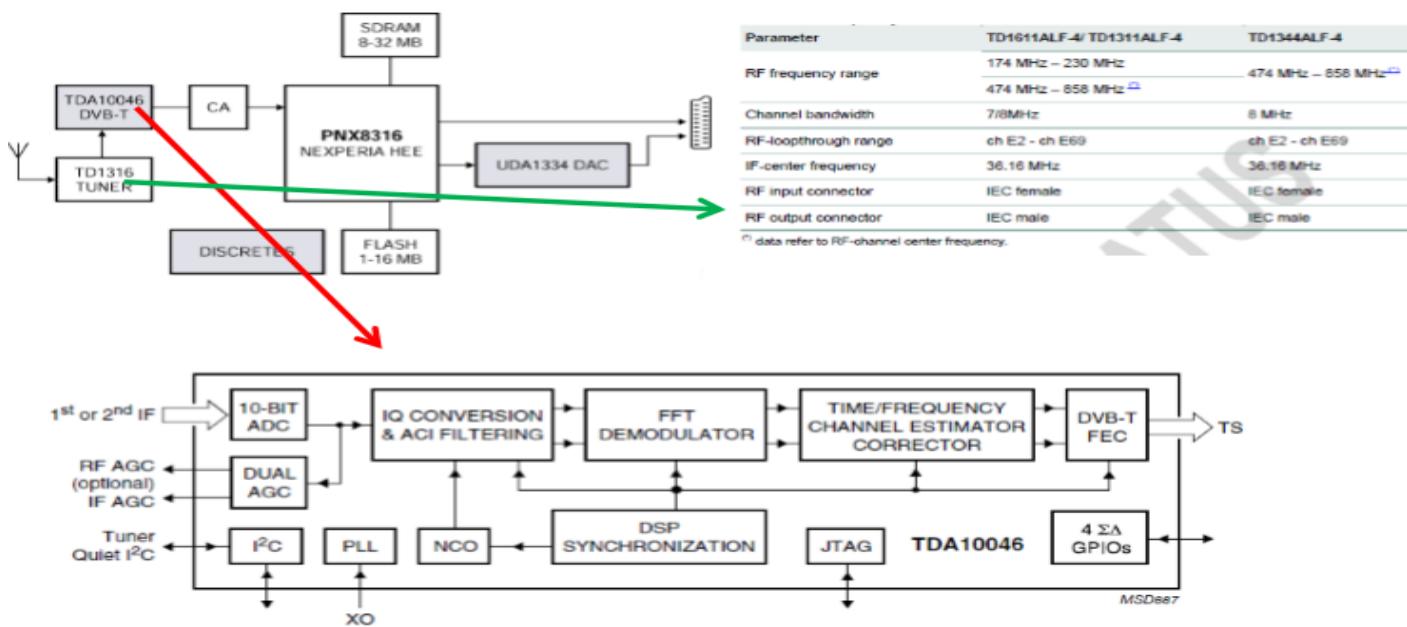
La figure ci-dessous montre le schéma interne d'un adaptateur TNT et d'un adaptateur TNT-USB



Exemple de décodeur TNT Solution à puce NXP (ex. PHILIPS) :



Solution à puce NXP (ex. PHILIPS) :



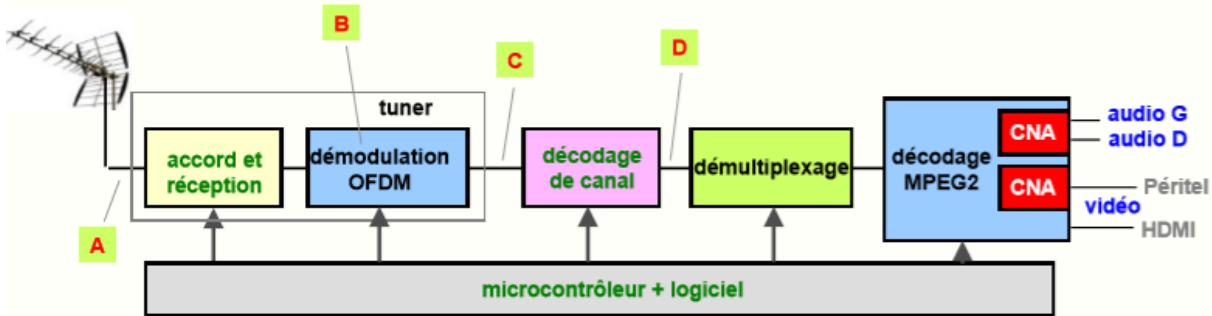
Evolution TNT

DVB-T2 : EN 302 755 (sept. 2009)

- Débit plus importants
- CCE: BCH + LDPC
- Modulation jusqu'à 256QAM
- FFT jusqu'à 32K (32768 porteuses)
- Il faudra changer de décodeur...

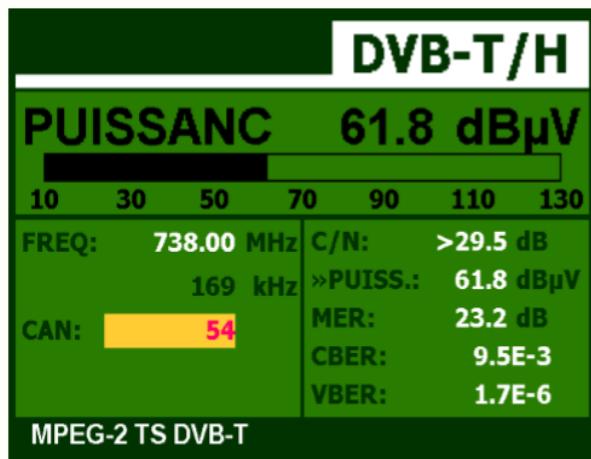
4.6.2. Les mesures sur le signal TNT

La qualité du signal reçu peut être surveillée aux différentes étapes du traitement du signal :



- qualité du signal au niveau de l'antenne (puissance, rapport porteuse/bruit = C/N) en A.
- qualité de la modulation 64 QAM (constellation, MER) en B.
- qualité du TS reçu avant correction des erreurs (CBER) en C.
- qualité du TS reçu après correction des erreurs (VBER) en D

La qualité de réception peut être identifiée par un mesureur de champ moderne qui donne accès à ces mesures de qualité du signal TNT :



On constate que le taux d'erreurs après correction (VBER = $1,7 \cdot 10^{-6}$ soit 1 bit sur 588240) est plus faible qu'avant correction (CBER = $9,5 \cdot 10^{-3}$ soit 1 bit sur 105), ce qui est normal !

En TV analogique, la qualité se dégrade progressivement selon le niveau reçu. La TNT présente un seuil brusque entre un fonctionnement correct et une perte totale d'image.

Efficacité de la correction d'erreurs



Niveau à l'antenne	Qualité de l'image	CBER	VBER
55 dBμV	très bonne	$<10^{-5}$	$<10^{-8}$
50 dBμV	minimum recommandé	10^{-4}	10^{-7}
45 dBμV	encore satisfaisante	10^{-3}	
40 dBμV	apparition de petits défauts	$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}
35 dBμV	apparition de mosaïques, gels		
30 dBμV	dysfonctionnements insupportables	10^{-2}	
25 dBμV	écran noir	$>10^{-2}$	

Le seuil limite est atteint lorsque le CBER dépasse les $5 \cdot 10^{-3}$ soit 1 erreur tous les 200 bits. Au-delà de ce seuil, la correction d'erreur n'est plus efficace et la qualité se dégrade rapidement.

Plan sommaire de transmission ISDB-T, normes ARIB applicables et recommandations de l'UIT-R

Élément	Contenu	Standard ARIB	Recommandation de l'UIT-R
Codage vidéo	MPEG-2 Vidéo (ISO/IEC 13818-2)	STD-B32	BT. 1208
Codage audio	MPEG-2 AAC (ISO/IEC 13818-7)	STD-B32	BS. 1115
Diffusion de données	BML (XHTML), ECMA Script	STD-B24	BT. 1699
Multiplex	Systèmes MPEG-2 (ISO/IEC 13818-1)	STD-B10 STD-B32	BT. 1300 BT. 1209
Accès conditionnel	Multi 2	STD-B25	-
Transmission	Transmission ISDB-T		
Largeur de bande de voie	6 MHz, 7 MHz, 8 MHz		
Modulation	OFDM segmenté (13 segments/ch)		
Mode Garde	Mode : 1, 2, 3 Rapport d'intervalles de garde : 1/4, 1/8, 1/16, 1/32		
Modulation de porteuses	QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK		
Correction d'erreurs	Code de convolution (Rapport de codage : 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8) (204, 188) Codes de Reed-Solomon		
Entrelacement	Fréquence et entrelacement temporel Entrelacement temporel : 0 - 0,5 sec		
Débit binaire d'information (qui dépend des paramètres)	6 MHz : 3,7 - 23,2 Mbit/s 7 MHz : 4,3 - 27,1 Mbit/s 8 MHz : 4,9 - 31,0 Mbit/s		
Récepteur	Récepteur ISDB-T	STD-B21	-
Directive d'exploitation	Exploitation de la télédiffusion ISDB-T	TR-14	-

VI. Les supports vidéo

Il existe une grande variété de supports physiques et virtuels permettant d'enregistrer de la vidéo. Ceux-ci font largement appel aux différentes techniques décrites précédemment.

Ce tableau regroupe leurs caractéristiques principales

Spécifications Techniques								
Format	Constructeur	Taille média	Echantillonnage	Ratio	Débit	codec	media	Transport
HDCAM SR	SONY		4:2:2 ou 4:4:4	2,7:1 ou 4:1	440 - 880 Mbps			HDSDI
DVCpro HD	Panasonic	6.35mm	4:2:2/ 8 bits	6,7:1	100 Mbps	4DV	metal particule	SDTI
HDcam	SONY	1/2-pouce	17:6:6/ 8-10 bits	4,4:1	144 Mbps		metal particule	HDSDI/SDTI
HDV	SONY		4:2:0		25 Mbps	IBP GOP 6		IEEE1394
IMX	Sony	1/2-pouce	4:2:2 / 8 bits	3.3:1	50Mbits/s	MPEG-2		SDTI-CP
D1	Sony/BTS	19mm	4:2:2 / 8 bits	1:1	216 Mbits/s	ITU-R 601	metal	SDI
D2	Sony	19mm	composite digital	1:1	142 Mbits/s		metal	composite digital I/O
D3	Panasonic	1/2-pouce	composite digital	1:1	142 Mbits/s		metal	composite digital I/O
D5 / D5 HD	Panasonic	1/2-pouce	4:2:2 / 10 bits	4:1 @ 8 bit 5:1 @ 10 bit 1:1 @ 576/50i	288 Mbits/s		metal	SDI
D6 (vodoo)		3/4pouce	22:11:11 /10-8 bits	1:1	1 Gbits/s		metal particule	
D7(DVCPR O50)	Panasonic	6.35mm	4:2:2 / 8 bits	3.3:1	50Mbits/s	Double DV	metal particule	SDI
DCT	Ampex	19mm	4:2:2 / 10 bits	2:1	137 Mbits/s	DCT	metal	SDI
Digital Betacam	Sony/Thomson	1/2-pouce	4:2:2 / 10 bits	2.2:1	128 Mbits/s	DCT	metal	SDI
BetacamSX	Sony	1/2-pouce	4:2:2@ML	10:1 / Gop : IB	18Mbits/s	MPEG-2		QSDI/SDI
DVCAM	Sony	6.35mm	4:1:1@ML	5:1 / I frames	25Mbits/s	DV	metal	SDI/QSDI/ 1394
DVCPRO	Panasonic	6.35mm	4:1:1@ML	5:1 I frames	25Mbits/s	DV	metal particle	SDI/1394
DVCPRO50	Panasonic	6.35mm	4:2:2@ML	3.3:1 I frames	50Mbits/s	Double -DV	metal particle	SDI
Digital-S(D9)	JVC	1/2-pouce	4:2:2	3.3:1	50Mbits/s	Double -DV		SDI
miniDV et D8	consortium	6.35mm	4:1:1	5:1 I frames	25Mbits/s	DV	metal	S-Video/ 1394

D-VHS	consortium	1/2-pouce		variable	14.1Mbits/s	MPEG-2		S-Video/ 1394
D-VHS HD	JVC	1/2-pouce			19-28Mbits/s	720p/1 080i		S-Video/ 1394
DVD	consortium	12cm	4:2:0 P@ML	variable / longs GOP	6Mbits/s environ	MPEG-2	polycarbonate	S-Video/ 1394
VideoCD 2.0	consortium	12cm	4:1:1	variable / N:12 M:3	1.2Mbits/s	MPEG-1	polycarbonate	composite
Laserdisc	consortium	12-pouces	Composite			NTSC/ Pal	PMMA	composite

MPEG-4 - Codage Vidéo

1. Débit vidéo : 10 Kbp/s à 1 Gbp/s
2. Objets vidéo rectangulaires ou à forme variable
3. Résolution spatiale max 4096x4096 (min 8x8)
4. Résolution chromatique max 12 bits par composant : 4:2:2, 4:2:0, 4:0:0
5. Résolution temporelle : pas de limite
6. Vidéo naturelle (progressive, entrelacée, scalable)
7. Vidéo de synthèse (2D/3D, animation de visage/corps)

Différences avec MPEG1/2 :

1. Codage d'objets de différente nature et de forme (naturel/synthèse, 2D/3D, text, ...)
2. Plus grande interactivité avec la vidéo

MPEG-4 - Codage Audio

1. Débit Audio de 4 Kbp/s à 64 Kbp/s par canal
 - Codage MPEG-2 AAC amélioré SBR (Advanced Audio Coding - Spectral Band Replication)
 - Qualité Stéréo CD : 48 kbps

- Qualité multicanal 5.1 : 128 kbps
- Codage TwinVQ (Transform-Domain Weighted Interleave Vector Quantization)
- 2. Débit Voix de 2 Kbp/s à 24 Kbp/s
- HVXC 2-4 Kbp/s (8 Khz) (Harmonic Vector eXcitation Coding)
- CELP 4-24 Kbp/s (8-16 Khz) (Code Excited Linear Predictive)
- Bit rate/Complexityscaleability
- 3. SAOL (Structured Audio Orchestra Language) de 0.1 à 10 Kbp/s
- 4. Text-To-Speech dans différentes langues - Code sur 8 bits identifiant le pays (25 pays ont déjà réservés)

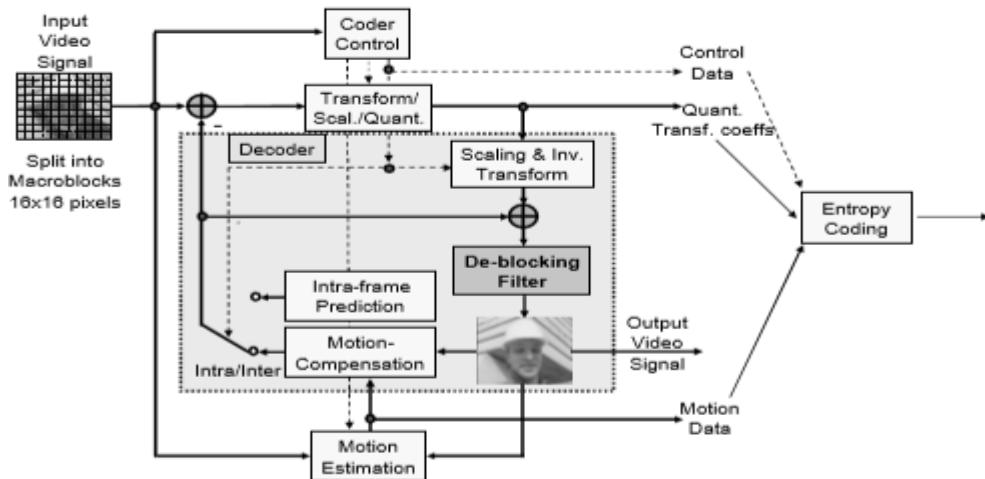
MPEG-4 - Système

- 1. Représentation/description des objets
 - Les “Object Descriptors” (OD) en C++ (requis pour décompresser)
 - Les “Object Content Information” (OCI) (en relation avec MPEG7)
 - Ces informations forment un flux distinct des autres flux
- 2. Composition/description de scènes : BIFS et XMT (XML)
 - Organisation spatio-temporelle des objets - Interaction
 - Ces informations forment un flux distinct des autres flux
 - Formats Binaire (BIFS) pour stockage et transmission
 - Format Textuel : XMT (XML) pour la création de contenu
- 3. Multiplexage des flux élémentaires : FlexMux
- 4. Synchronisation des flux : SL et FlexTime
- 5. Gestion des tamponsmémoires du systèmeterminal.
- 6. Format de fichier MP4 (issue de QuickTime, adopté pour JPEG2000, 3GPP) 7. Interface de programmation en JAVA : MPEG-J

H.264 – Le projet JVT

- Travaux ont démarré à l'ITU-T dans le groupe Q.6/SG16 (VCEG - Video Coding Experts Group) sous le terme de “H.26L” (successeur de H.263)
- Août 1999: 1st version de test (TML-1)
- Juillet 2001: MPEG fait un appel pour une technologie “AVC”: H.26L gagne
- Décembre 2001: Formation du Joint Video Team (JVT) entre VCEG et MPEG pour finaliser H.26L comme pour le project MPEG-2/H.262)
- Printemps '03 : Adoption finale du standard par les 2 organismes :
 - MPEG-4 Part 10 (ISO/IEC 14496-10 AVC)
 - H.264 (UIT)
- Fin 2003 : H.264 Adopté par le 3GPP et HD-DVD Forum, en cours DVB, SMPTE, Opérateurs du Cable
- 3/4x plus de ressources CPU requis pour le codage / MPEG4 ASP • 2/3x plus de ressources CPU requis pour le décodage /MPEG4 ASP • 50% de gain de compression / MPEG4 ASP

H.264 – Codec de base



H.264 – Quantification/Filtrage

1. Echelle de quantification logarithmique (linéaire/exponentielle ailleurs)
2. H.264 ajoute une étape de deblocking après la quantification

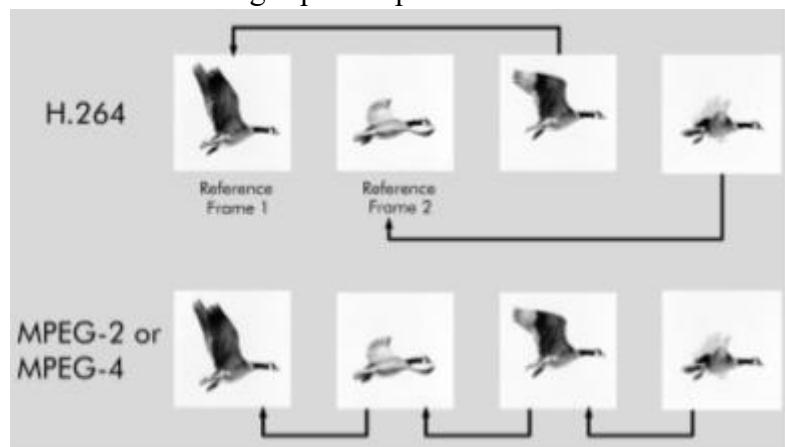


1) Sans Filtre

2) avec Filtre H264/AVC Deblocking

H.264 – Codage Temporel

1. Identification des cycles /périodicités des mouvements
2. Mémoire d'images plus importante



Mesure de la Qualité Vidéo : PSNR

Soit une séquence vidéo de K images et de résolution spatiale MxN

- PSNR : Peak To Signal Noise Ratio

- RMSE : Root Mean Square Error

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N \cdot M \cdot K} \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [x(i,j,k) - \hat{x}(i,j,k)]^2}$$

$$PSNR = 20 \cdot \log_{10} \frac{255}{RMSE}$$

Mesure PSNR : inconvénient



PSNR_A = 37 dB



PSNR_B = 37 dB

Comparaison MJPEG / MPEG-2 / H.263

	Video size: 320 x 240 pixels			Video size: 640 x 480 pixels			
	Compression Ratio	Encoding Time		Compression Ratio		Encoding Time	
		Visually Lossless	m-secs	Frames/sec	Visually Lossless	Max Compression	m-secs
MJPEG	15.3	1.4	157.3	22.4	83.4	4.8	49.2
MJP2000	16.9	10.8	21.8	32.9	244.4	34	6.9
MPEG-2	40.0	12.8	18.4	54.6	149.3	63	3.8
H.263	41.0	10.5	22.5	60.3	570.6	55	4.3

V. Le MPEG4 part 10 (AVC)

C'est assez logiquement qu'une nouvelle norme a fait son apparition pour améliorer les principes du MPEG2. On est passé directement à la 4^{eme} version, les objectifs visés par la 3^{eme} version n'étant plus adaptés aux évolutions techniques. La norme MPEG4 regroupe plusieurs parties définissant chacune un contexte précis d'utilisation. Par exemple, la partie 3 est une norme de compression pour le codage perceptuel et les signaux audio ; elle spécifie notamment le format audio AAC. La partie 10 est une norme avancée de compression vidéo appelée aussi H.264 ou AVC (Advanced Video Codec). Cette norme a pour but de réduire les débits obtenus par des normes plus anciennes tels que le Mpeg2. Les technologies ont en effet progressé depuis l'époque de la création du mpeg2 et les besoins sont bien plus grand (avènement de la HD, diffusion numérique...). H.264/AVC (MPEG-4 Part 10) comprend de nombreuses techniques nouvelles qui lui permettent de compresser beaucoup plus efficacement les vidéos que les normes précédentes (MPEG-1, MPEG-2...) et fournit plus de flexibilité aux applications dans un grand nombre d'environnements réseau.

1) Prédiction temporelle ou Inter-prédiction

Une compensation de mouvement pouvant être effectuée par rapport à plusieurs images de référence déjà codées. Le choix de l'image de référence intervient au niveau macobloc et sous-macrobloc. Ceci permet d'utiliser dans certains cas jusqu'à 32 images de référence (contrairement aux précédentes normes, qui étaient limitées à une ou dans le cas d'images B conventionnelles, à deux) et jusqu'à 4 références

différentes pour un même macrobloc. Cette fonctionnalité particulière permet habituellement des améliorations modestes au niveau du débit et de la qualité dans la plupart des scènes. Mais dans certains types de scènes, comme par exemple les scènes contenant des flashes rapides et répétitifs ou des scènes réapparaissant fréquemment, il permet une réduction du débit réellement significative. Une compensation de mouvement pouvant utiliser 7 tailles de blocs différentes (16×16 , 16×8 , 8×16 , 8×8 , 8×4 , 4×8 , 4×4) permet une segmentation très précise de zones se déplaçant. La taille variable des blocs permet une gestion plus fine des détails.



On voit que l'image ainsi découpée, possède des grandes zones de vecteurs identiques. Sur ces zones, on a un gain important en compression. D'autre part, certaines zones ont été découpées beaucoup plus finement qu'avec des blocs de taille constante. Ici on a un gain en qualité visuelle. Les petites zones mobiles sont beaucoup mieux codées. La précision va jusqu'au quart de pixel pour la compensation de mouvement, permettant une description très précise du déplacement des zones en mouvement. Pour la chrominance, la précision de la compensation de mouvement se fait même au huitième de pixel. La compensation de mouvement pondérée par des poids et des décalages permet au codeur de construire des prédictions s'adaptant au changement de luminance et de chrominance de la scène courante.

2) Prédiction Spatiale

Une prédiction spatiale sur le bord des blocs voisins pour un codage « intra » vient s'ajouter à la prédiction sur les coefficients continus présente dans MPEG-2.

3) Adaptation des transformées discrètes

4) Une transformée entière est effectuée sur des blocs de taille 4×4 pixels (proche de la DCT classique). Une autre transformée, celle de Hadamard, est effectuée sur les coefficients moyens de la transformée spatiale primaire (pour la chrominance et éventuellement la luminance dans certains cas) pour obtenir encore plus de compression là où l'image est adoucie.

5) Plusieurs codeurs entropiques

Des outils de codages entropiques plus puissants peuvent être utilisés compte tenu des évolutions techniques. On pourra utiliser en fonction des besoins :

- Un codage arithmétique, CABAC, qui est une technique sophistiquée de codage entropique qui produit d'excellents résultats en termes de compression mais possède une grande complexité.
- Un codage adaptatif de type Huffman à longueur variable, le CAVLC, qui est une alternative moins complexe que CABAC pour le codage des tables de coefficients de transformation. Bien que moins complexe que CABAC, CAVLC est plus élaboré et plus efficace que les méthodes habituellement utilisées jusqu'à présent pour coder les coefficients.

- Une technique simple et hautement structurée de codage à longueur variable ou pour de nombreux éléments de syntaxe non codés par CABAC ou CAVLC, considéré comme du code exponentiel-Golomb(Exp-Golomb).

6) Deblocking

Un filtrage anti-blocs ou deblocking filter, est effectué dans la boucle de codage et opéré sur les blocs 4×4 , permettant de réduire les artefacts caractéristiques du codage avec transformation en bloc (frontière de bloc visible).

7) Deux modes d'entrelacement

Codage en Picture-adaptive frame-field (PAFF ou PicAFF) : l'encodeur choisit d'adapter le codage de la trame courante soit de façon progressive (une seule trame), soit par entrelacement (deux champs ou fields). Codage en Macroblock-adaptive frame-field (MBAFF) : même principe que pour le PAFF sauf que l'application ne s'effectue pas au niveau de la trame mais au niveau des macroblocs 16×16 . Le sens du codage est légèrement différent puisqu'il traite deux lignes de macroblocs en même temps au lieu d'une seule habituellement.

8) L'approche Objet

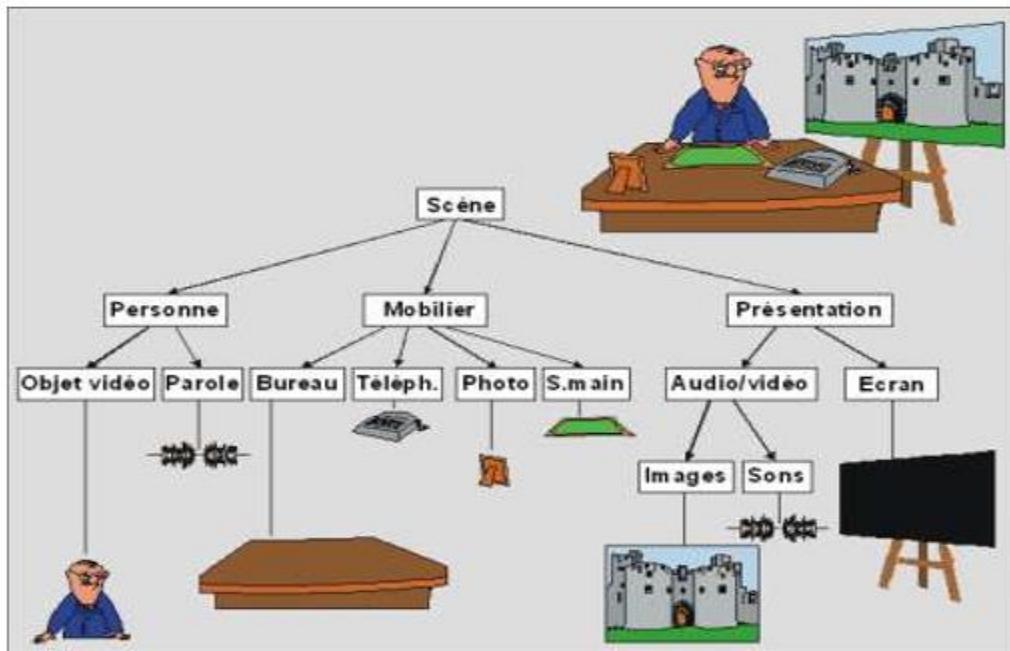
Toutes les techniques décrites précédemment sont des évolutions de celles exploitées par le MPEG2.

Le MPEG4 propose en plus une nouvelle fonctionnalité dans laquelle une scène est décrite comme la combinaison de plusieurs objets dynamiques.

Le principe adopté dans MPEG-4 est celui d'une description autonome du contenu : l'image n'est plus codée dans sa globalité, c'est à dire en la considérant indépendamment de son contenu comme une surface rectangulaire de X sur Y pixels, mais elle apparaît comme une composition réalisée avec différents "objets" audiovisuels.

Ces objets peuvent être de différentes natures : image fixe (par exemple, le décor du fond, un tableau), objets vidéos (le personnage sans le décor), objets audio (la voix de la personne, le fond musical)... Ils peuvent être naturels ou de synthèse, en 2D ou en 3D. Un texte, un graphique, un son synthétique... sont également considérés comme des objets. Chacun de ces objets est codé indépendamment des autres, et isolé du fond ou de l'environnement.

Une hiérarchisation des contenus est également établie : les objets « basiques » correspondant à une même entité (par exemple l'image d'un personnage et sa voix) peuvent être réunis et créer un nouvel objet composite comprenant l'ensemble des attributs. De tels regroupements vont, non seulement faciliter le travail de conception des auteurs mais également permettre la manipulation des contenus par les utilisateurs.



Pour l'heure cette approche n'est que peut utiliser mais permettra à l'avenir d'offrir une interactivité bien plus grande pour le spectateur de la vidéo en lui donnant la possibilité d'agir concrètement sur le contenu des images (point de vue, affichage/masquage des objets...).

9) Des résolutions multiples

La norme MPEG4 intègre également la possibilité d'accéder à plusieurs résolutions à l'intérieur d'un même fichier. Ce principe permet une meilleure adaptation à la ligne de diffusion en proposant plusieurs niveaux de qualité à partir d'un seul et même fichier source.

10) Performances générales et cadre d'utilisation.

Ces techniques, ainsi que plusieurs autres, aident MPEG4 à dépasser significativement les standards précédents, dans une grande variété de circonstances et dans une grande variété d'environnements d'application. MPEG4 peut fonctionner souvent nettement mieux que la vidéo MPEG-2 en obtenant la même qualité avec un débit binaire diminué de moitié, voire plus. Un même format de fichier permet ainsi de s'adapter à des contenus très légers (diffusion sur internet) jusqu'à des formats beaucoup plus exigeants qualitativement (Blu-ray, HDTV...). MPEG-4 est une révolution, tant du point de vue de sa structure physique, que de l'idéologie qui en découle. C'est la base de tout ce qui touchera la communication et le multimédia dans les années à venir, et quand on voit l'explosion de toutes ces technologies, on imagine l'importance d'une telle norme. MPEG-4 n'en est qu'à ses débuts, mais ses applications sont vastes et beaucoup de choses ont déjà été réalisées. Malgré tout, le travail à effectuer est encore long avant d'obtenir des résultats convainquant pour tous les compartiments de la norme. En particulier, il reste deux problèmes majeurs à résoudre pour le codage des vidéos naturelles, à savoir, l'estimation de mouvement et la segmentation de la vidéo en objets. On retrouvera le codec MPEG-4 à la base des formats HDCAM-SR, AVCHD, TNT HD, télévision HD par ADSL, AVC intra de panasonic.

VI. Les supports vidéo

Il existe une grande variété de supports physiques et virtuels permettant d'enregistrer de la vidéo. Ceux-ci font largement appel aux différentes techniques décrites précédemment.

Ce tableau regroupe leurs caractéristiques principales

Spécifications Techniques									
Format	Constructeur	Taille média	Echantillonnage	Ratio	Débit	codec	media	Transport	
HDCAM SR	SONY		4:2:2 ou 4:4:4	2,7:1 ou 4:1	440 - 880 Mbps			HDSDI	
DVCpro HD	Panasonic	6.35mm	4:2:2/ 8 bits	6,7:1	100 Mbps	4DV	metal particule	SDTI	
HDcam	SONY	1/2-pouce	17:6:6/ 8-10 bits	4,4:1	144 Mbps		metal particule	HDSDI/SDTI	
HDV	SONY		4:2:0		25 Mbps	IBP GOP 6		IEEE1394	
IMX	Sony	1/2-pouce	4:2:2 / 8 bits	3.3:1	50Mbits/s	MPEG-2		SDTI-CP	
D1	Sony/BTS	19mm	4:2:2 / 8 bits	1:1	216 Mbits/s	ITU-R 601	metal	SDI	
D2	Sony	19mm	composite digital	1:1	142 Mbits/s		metal	composite digital I/O	
D3	Panasonic	1/2-pouce	composite digital	1:1	142 Mbits/s		metal	composite digital I/O	
D5 / D5 HD	Panasonic	1/2-pouce	4:2:2 / 10 bits	4:1 @ 8 bit 5:1 @ 10 bit 1:1 @ 576/50i	288 Mbits/s		metal	SDI	
D6 (vodoo)		3/4pouce	22:11:11 /10-8 bits	1:1	1 Gbits/s		metal particule		
D7(DVCPR O50)	Panasonic	6.35mm	4:2:2 / 8 bits	3.3:1	50Mbits/s	Double DV	metal particule	SDI	
DCT	Ampex	19mm	4:2:2 / 10 bits	2:1	137 Mbits/s	DCT	metal	SDI	
Digital Betacam	Sony/Thomson	1/2-pouce	4:2:2 / 10 bits	2.2:1	128 Mbits/s	DCT	metal	SDI	
BetacamSX	Sony	1/2-pouce	4:2:2@ML	10:1 / Gop : IB	18Mbits/s	MPEG-2		QSDI/SDI	
DVCAM	Sony	6.35mm	4:1:1@ML	5:1 / I frames	25Mbits/s	DV	metal	SDI/QSDI/ 1394	
DVCPRO	Panasonic	6.35mm	4:1:1@ML	5:1 I frames	25Mbits/s	DV	metal particle	SDI/1394	
DVCPRO50	Panasonic	6.35mm	4:2:2@ML	3.3:1 I frames	50Mbits/s	Double -DV	metal particle	SDI	
Digital-S(D9)	JVC	1/2-pouce	4:2:2	3.3:1	50Mbits/s	Double -DV		SDI	
miniDV et D8	consortium	6.35mm	4:1:1	5:1 I frames	25Mbits/s	DV	metal	S-Video/ 1394	

D-VHS	consortium	1/2-pouce		variable	14.1Mbits/s	MPEG-2		S-Video/ 1394
D-VHS HD	JVC	1/2-pouce			19-28Mbits/s	720p/1 080i		S-Video/ 1394
DVD	consortium	12cm	4:2:0 P@ML	variable / longs GOP	6Mbits/s environ	MPEG-2	polycarbonate	S-Video/ 1394
VideoCD 2.0	consortium	12cm	4:1:1	variable / N:12 M:3	1.2Mbits/s	MPEG-1	polycarbonate	composite
Laserdisc	consortium	12-pouces	Composite			NTSC/ Pal	PMMA	composite