

REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix - Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE
POLYTECHNIQUE



REPUBLIC OF CAMEROUN
Peace - Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

NATIONAL ADVANCED SCHOOL
OF ENGINEERING

MASTER PRO 2 EN TELECOMMUNICATIONS

TELEVISION NUMERIQUE

Séquence 6 : DEGRADATIONS SUR UN SIGNAL QAM: TERMINAUX NUMERIQUES

Equipe des concepteurs :

- Janvier FOTSING
- Pierre TSAFACK

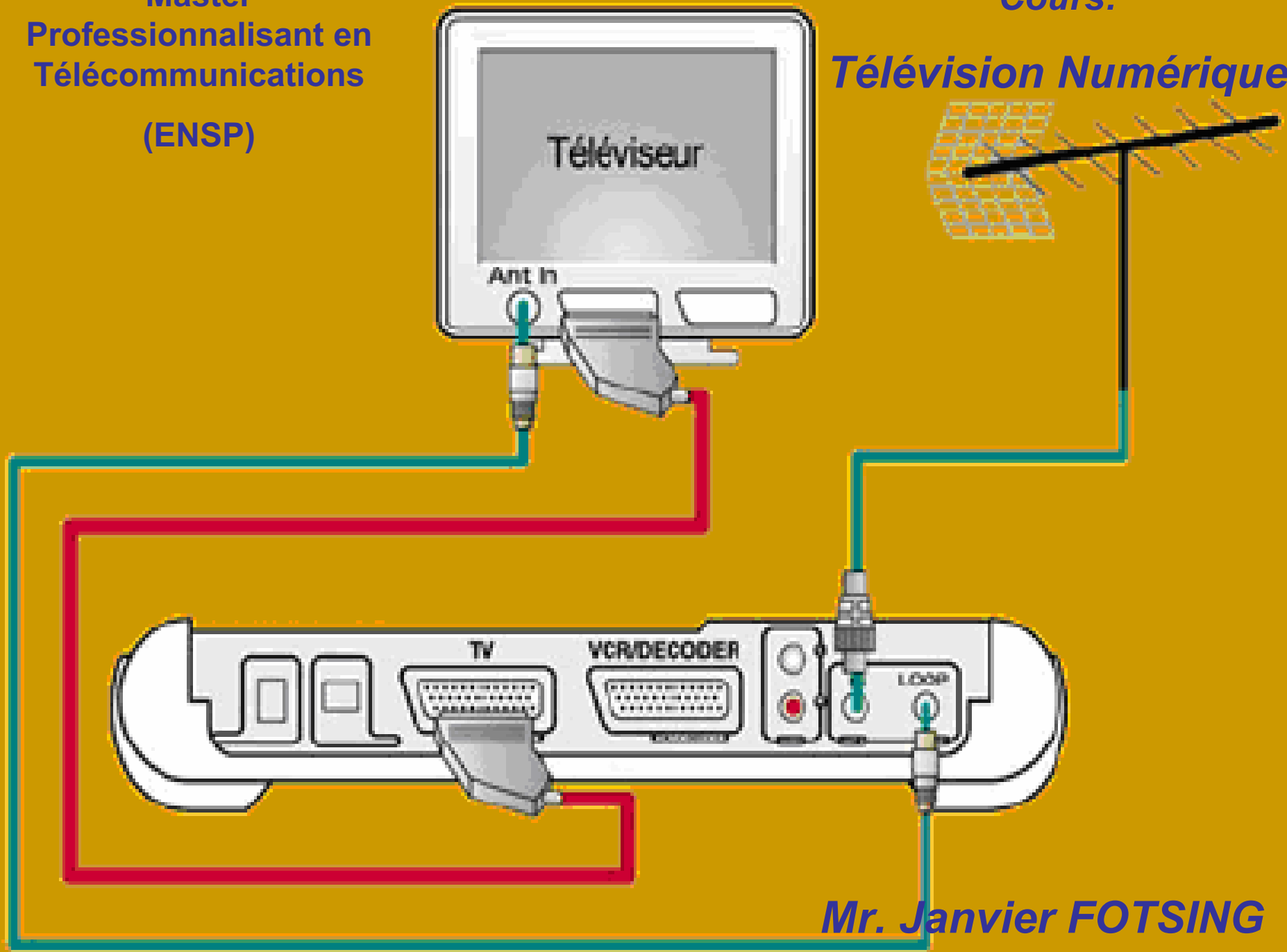
Le contenu est placé sous licence /creative commons/ de niveau 5 (Paternité, Pas d'utilisation commerciale, Partage des conditions initiales à l'identique)..



**Master
Professionalisant en
Télécommunications
(ENSP)**

Cours:

Télévision Numérique



Mr. Janvier FOTSING



Télévision Numérique

Cours: TVN 224

Dégradations sur un signal
QAM: Terminaux numériques

Master Professionnalisant en
Télécommunication

Plan du cours

- Objectifs
- Télévision Numérique en DVB-S, DVB-C et DVB-T
- Modulation/Démodulation
- Modulation QAM (quadrature Amplitude Modulation)
- Modulation combinée en quadrature
- Modulation OFDM
- Constellation IQ d'une modulation 16QAM

Objectifs

A la fin de cette séquence, l'apprenant sera capable de :

- Justifier le choix de chaque type de modulation approprié en télévision numérique DVB-S, DVB-C et DVB-T
- Connaître les principes des différents types de modulation utilisée en télévision numérique DVB-S, DVB-C et DVB-T
- Connaître les schémas blocs des modulateurs en télévision numérique DVB-S, DVB-C et DVB-T
- Connaître la modulation numérique de type M-QAM
- Pouvoir définir la probabilité d'erreur PM

La télévision numérique par satellite :

DVB-S

- La liaison satellite-terre étant caractérisée par un énorme affaiblissement (plus de 200 dB) subi par le signal d'une part et le travail des amplificateurs de puissance des transpondeurs à saturation pour maximiser leur rendement d'autre part, il est nécessaire d'utiliser de puissants codes correcteurs d'erreurs ainsi qu'une modulation très peu sensible aux distorsions d'amplitude.
- Le choix s'est donc porté sur une modulation QPSK (Quaternary Phase Shift Keying ou modulation à déplacement de phase à 4 états). C'est en fait la somme de deux modulations d'amplitude à porteuse supprimée.

La télévision numérique par câble : DVB-C

- Sur le câble, la problématique est différente. Il s'agit d'un milieu bien protégé mais à bande passante limitée. On va donc choisir une modulation ayant une grande efficacité, c'est-à-dire transportant un maximum d'échantillons dans une bande de fréquence réduite. Les contraintes nouvelles sont la coexistence avec les canaux analogiques existants, quelques distorsions et surtout des échos dus aux problèmes de désadaptation inhérents au réseau câblé.
- Un réseau câblé comporte effectivement en pratique un grand nombre de raccordements qui ne peuvent pas être parfaitement réalisés : ce qui perturbe la propagation de l'onde dans le câble.
- Le DVB-C comporte de nombreux points communs avec le DVB-S mais la modulation change. On utilise en général la 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation à 64 états) à la place de la QPSK, bien que d'autres arrangements soit prévus.

La télévision numérique de terre : DVB-T

Le DVB-T est le plus jeune des trois systèmes du noyau DVB et le plus sophistiqué; il repose sur la modulation COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing), sous les formes 2K (1 705 porteuses) ou 8 K (6 817 porteuses), chacune de ces porteuses étant elle-même modulée en QPSK ou QAM. Ce système, très résistant aux échos, présente notamment l'avantage de permettre la réalisation de réseaux mono-fréquence.

Modulation/Démodulation

- Transmission d'un signal à spectre étroit sur un support à large bande passante \Rightarrow mauvaise utilisation du support

\Rightarrow techniques de **modulation** et de **multiplexage**

- Soit un **signal périodique** : $y(t) = A \sin (2\pi ft + \Phi)$
- Signal transporté sous forme d'une onde faisant varier une des caractéristiques physiques du support:
 - différence de potentiel électrique;
 - onde radioélectrique
 - intensité lumineuse

Porteuse: $p(t) = A_p \cos (2\pi f_p t + \Phi_p)$

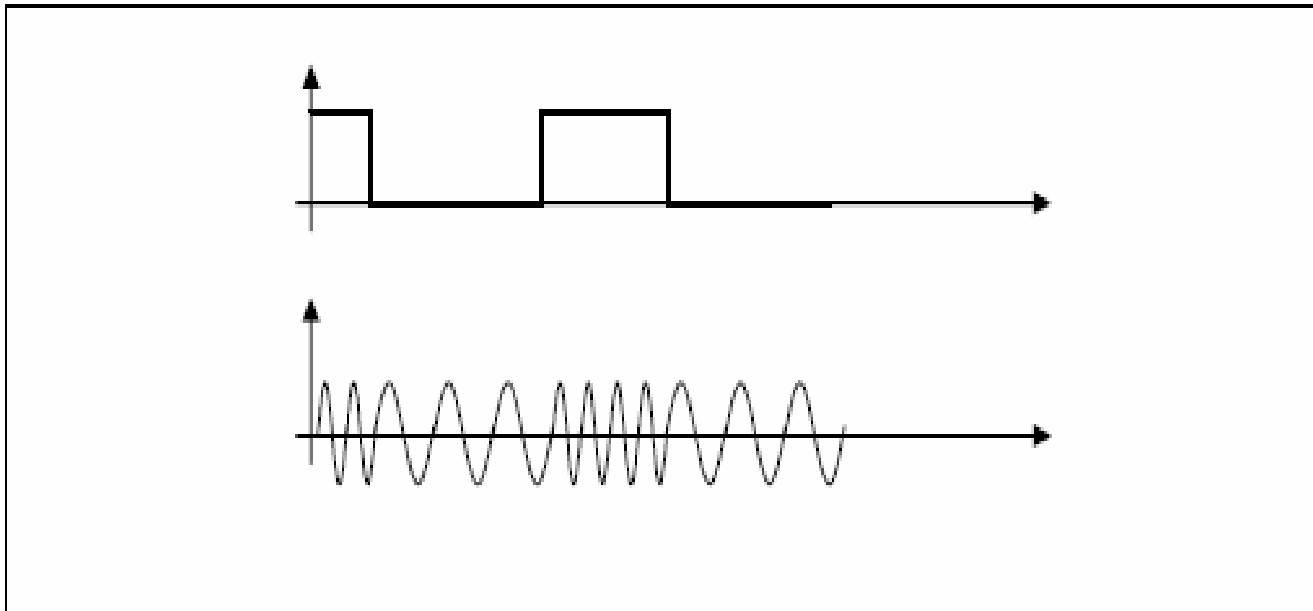
- On fait ensuite subir des déformations ou modulations à cette porteuse pour distinguer les éléments du message.

Modulation

- ***La modulation est la transformation d'un message à transmettre en un signal adapté à la transmission sur un support physique.***
- Les objectifs de la modulation sont:
 - une transposition dans un domaine de fréquences adapté au support de transmission;
 - une meilleure protection du signal contre le bruit;
 - une transmission simultanée de messages dans les bandes de fréquences adjacentes, pour une meilleure utilisation du support.
- Trois types de modulation de base existent, en faisant varier les trois paramètres de l'onde porteuse: A_p , f_p , Φ_p .

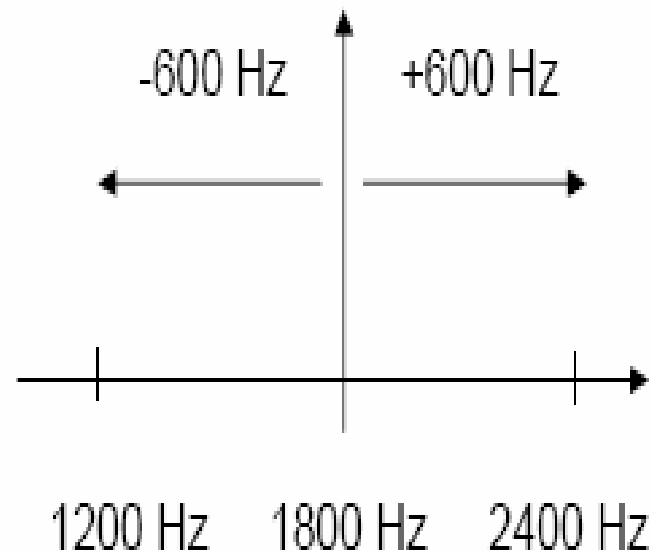
Modulation de fréquence (FSK: Frequency Shift Keying)

- une valeur de fréquence \leftrightarrow une valeur du signal



Modulation de fréquence

- Porteuse sinusoïdale de fréquence F_0 modulée par deux fréquences opposées $+f_0$ et $-f_0$
- ⇒ une fréquence est associée à chaque niveau logique.



Modulation de fréquence

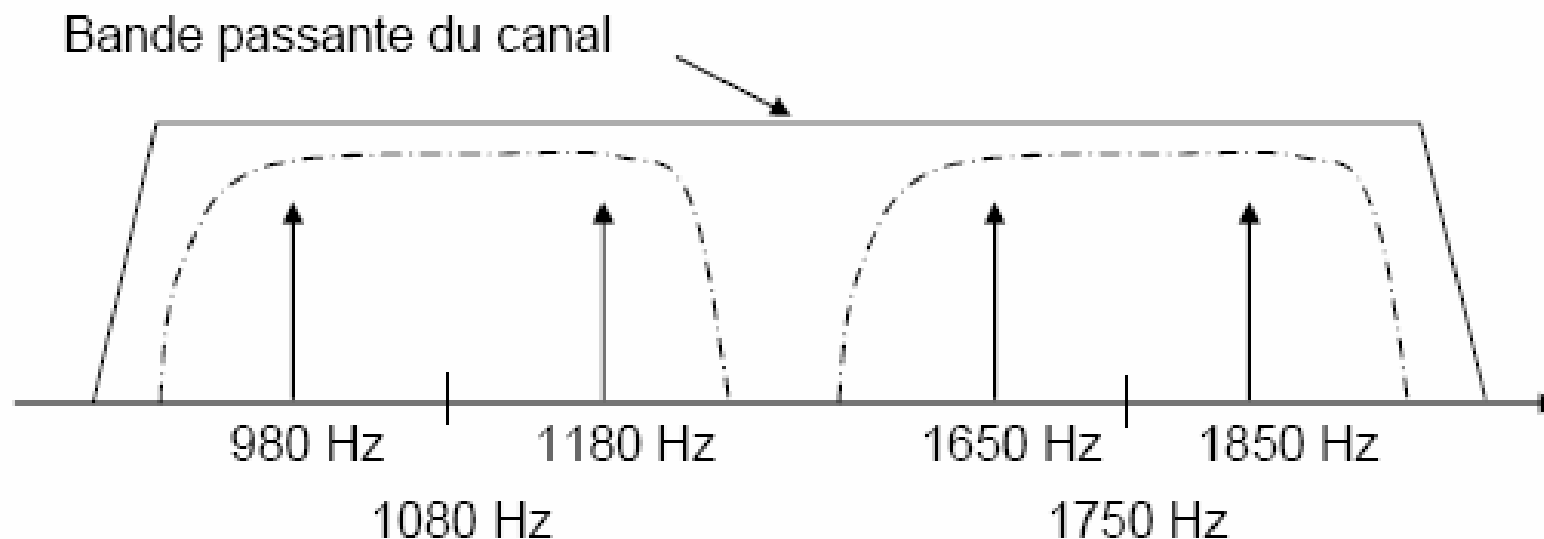
- Liaison "full-duplex":

Émission / Réception simultanée

⇒ on partage la bande passante du canal

une voie à l'émission $F_1 \pm f_1$

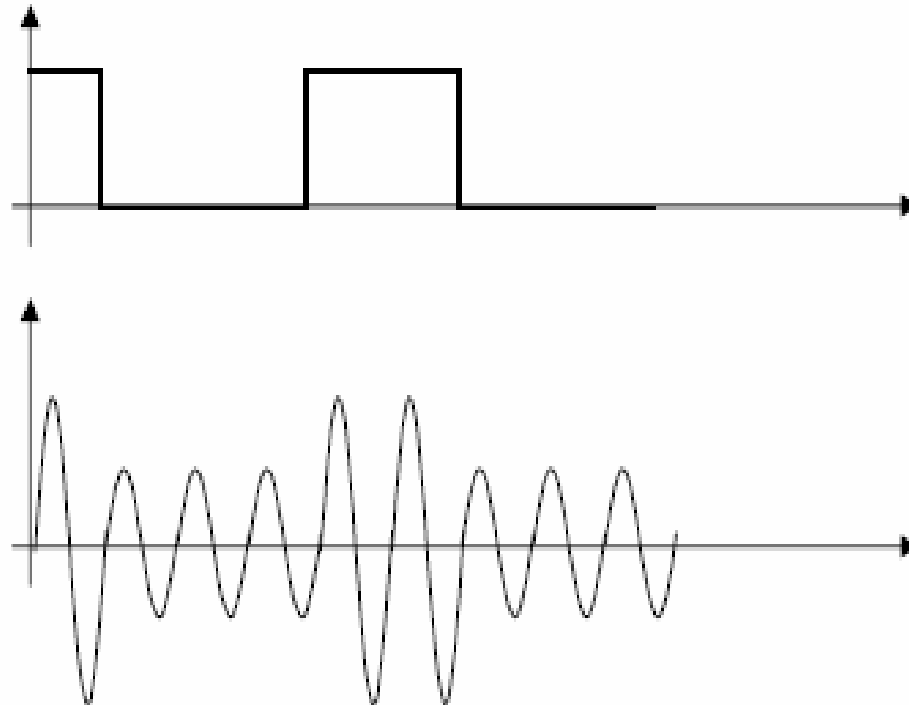
+ une voie à la réception $F_2 \pm f_2$



Modulation d'amplitude

(ASK: Amplitude Shift Keying)

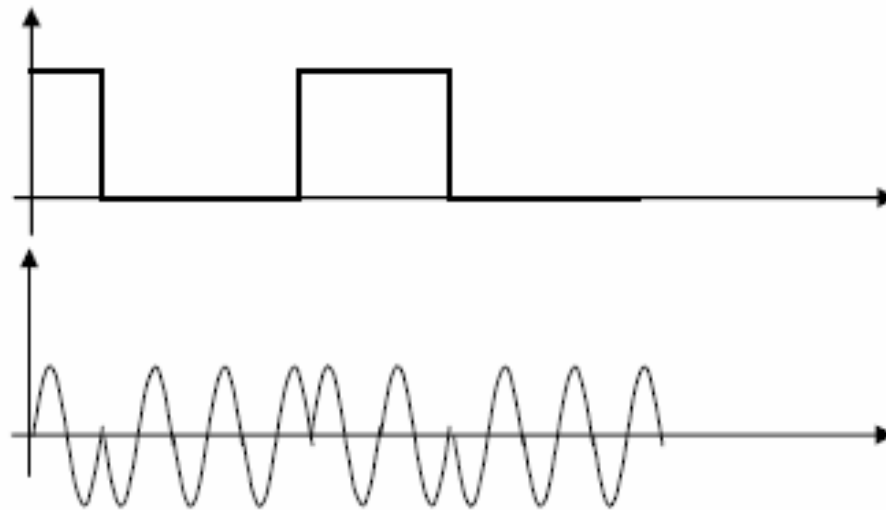
- une valeur d'amplitude \leftrightarrow une valeur du signal



Modulation de phase

(PSK: Phase Shift Keying)

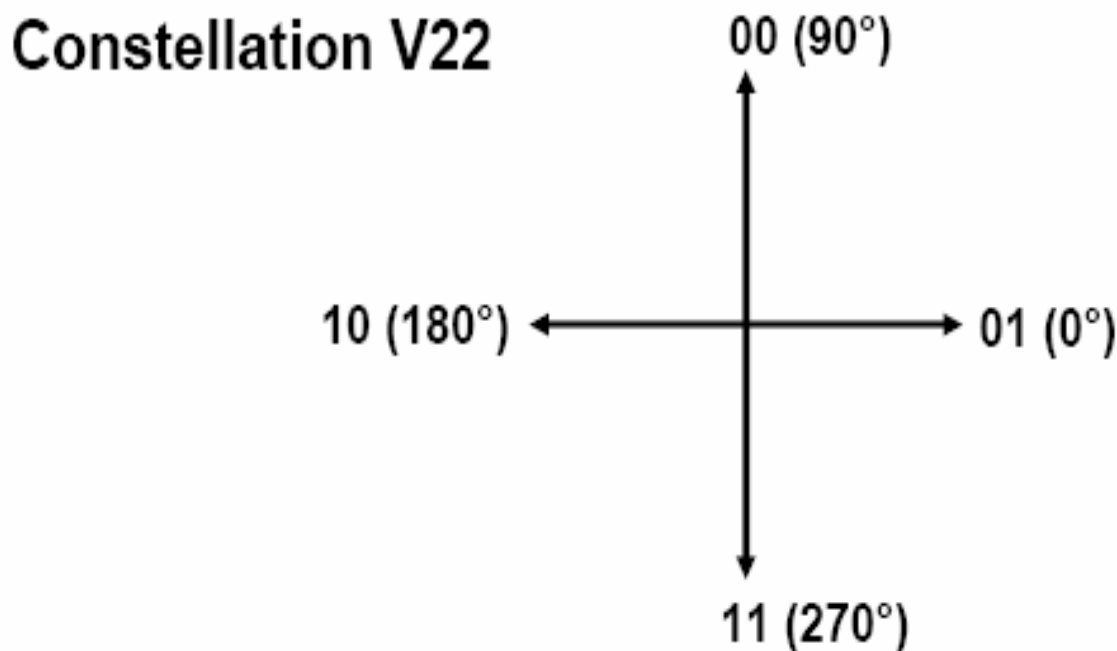
- un déphasage \leftrightarrow une valeur du signal



- Avec des codes à plusieurs bits, on peut augmenter le débit sans changer la fréquence de modulation.
- Les vitesses de transmission sont plus élevées qu'en modulation FSK pour la même bande passante

Modulation de phase

- Exemple : avis V22 du CCITT (1200 bauds) - phase codée sur 2 bits



- Nombre de déphasages limité par le bruit pour retrouver le bon signal

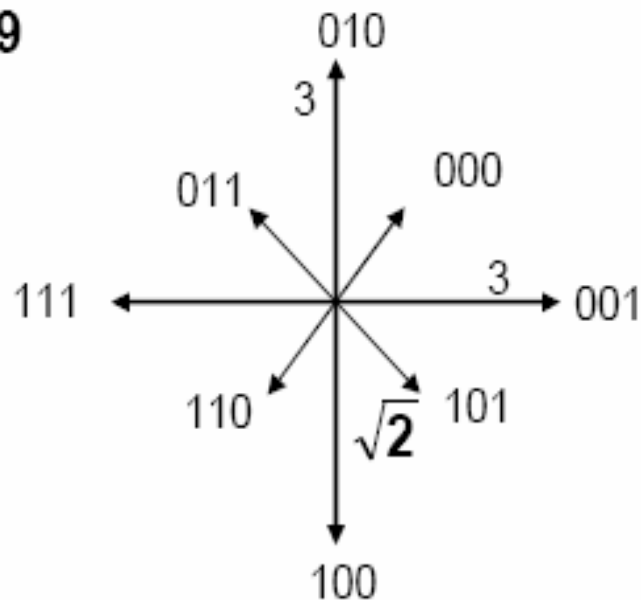
Modulation combinée

- Combiner plusieurs types de modulation parmi les trois types de modulation décrits auparavant.
- Les normes actuelles utilisent des combinaisons des modulations de phase et d'amplitude.

Exemple : Modulation V29 à 7200 bits/s

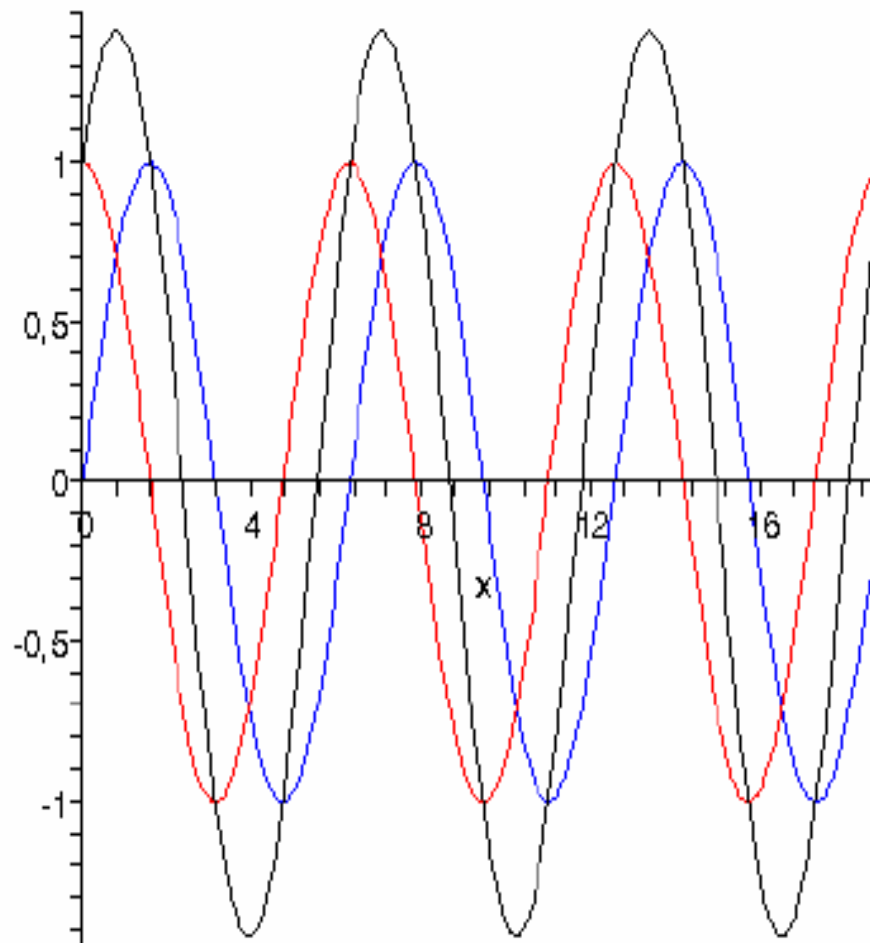
- 8 états de phase et 2 valeurs d'amplitude

Constellation V29



Modulation combinée en quadrature

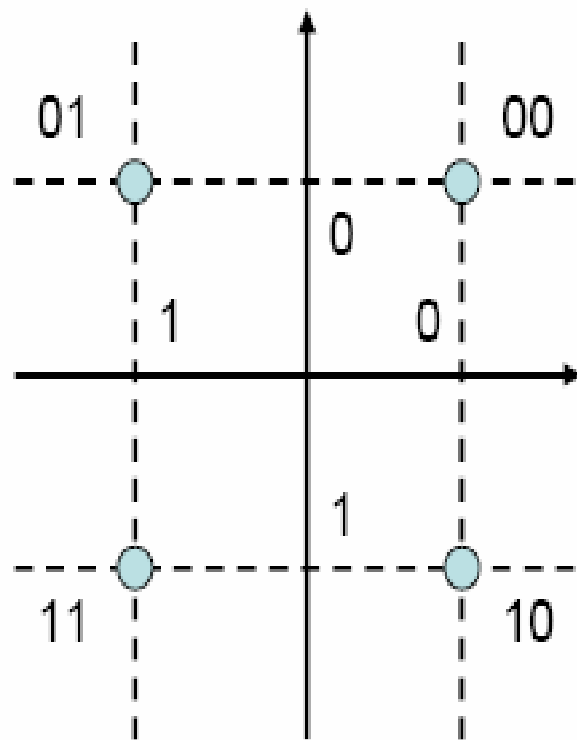
- Porteuses en quadrature : addition de deux porteuses de fréquence f_0 en quadrature, on obtient une seule porteuse, toujours de fréquence f_0



Modulation combinée en quadrature

Modulation de phase

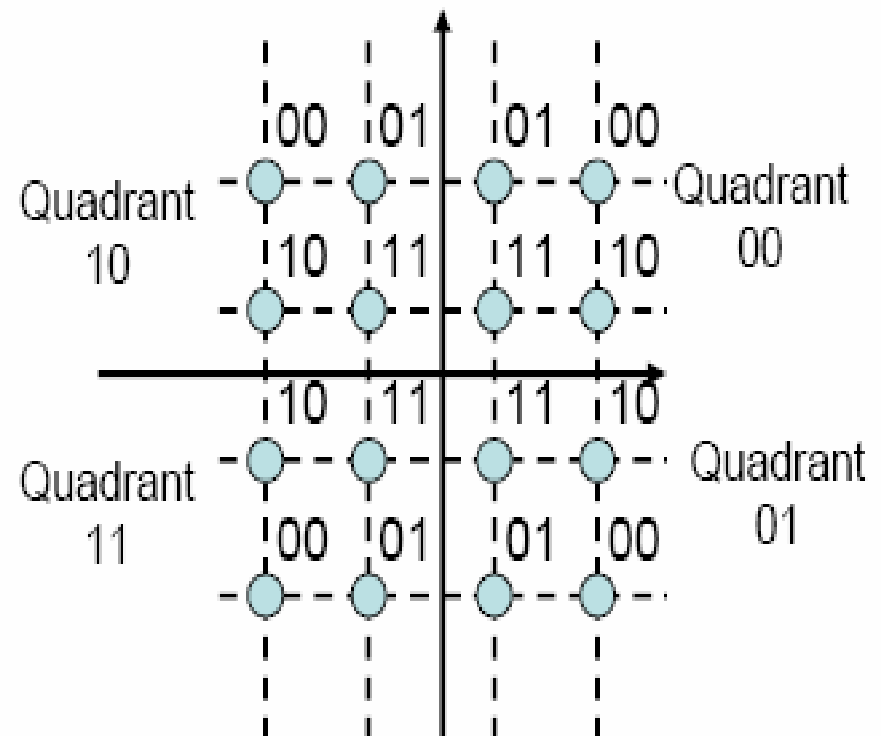
4 états (2 bits)



Quadrature Amplitude Modulation

QAM 16

16 états (4 bits)



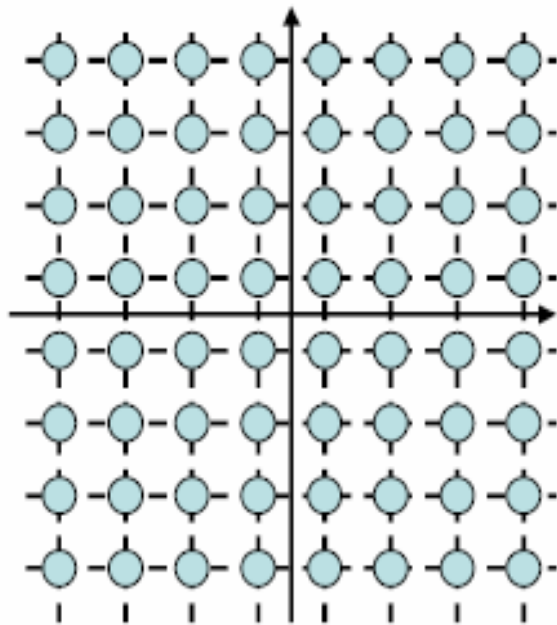
Modulation des deux porteuses

Modulation combinée en quadrature

Quadrature Amplitude Modulation

QAM 64

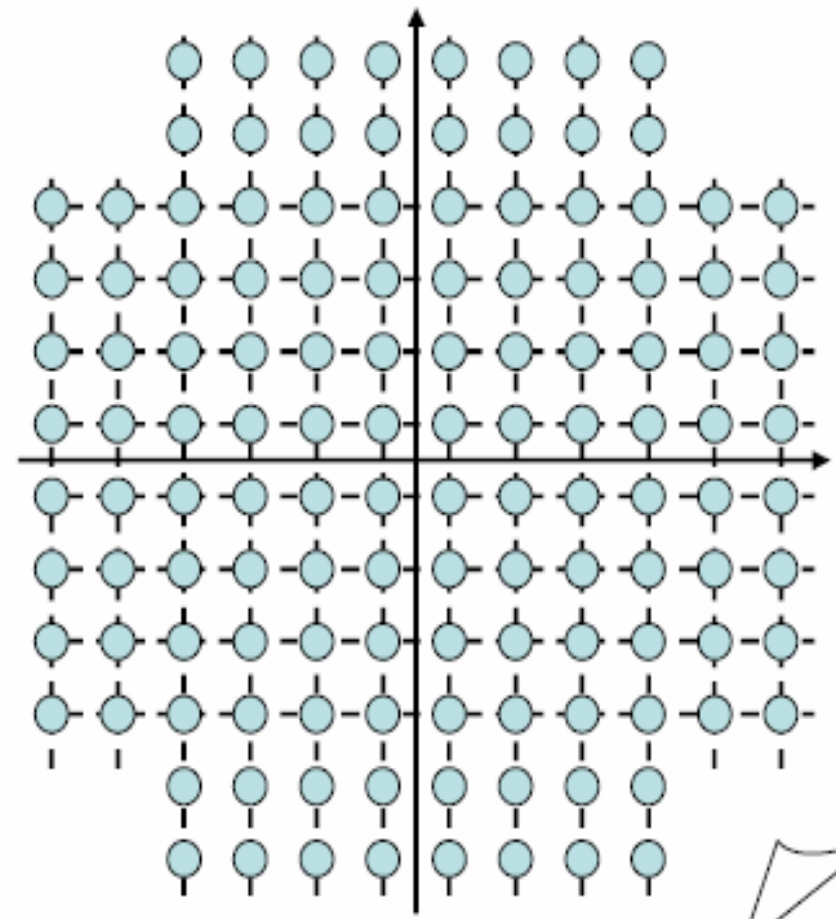
64 états (6 bits)



Quadrature Amplitude Modulation

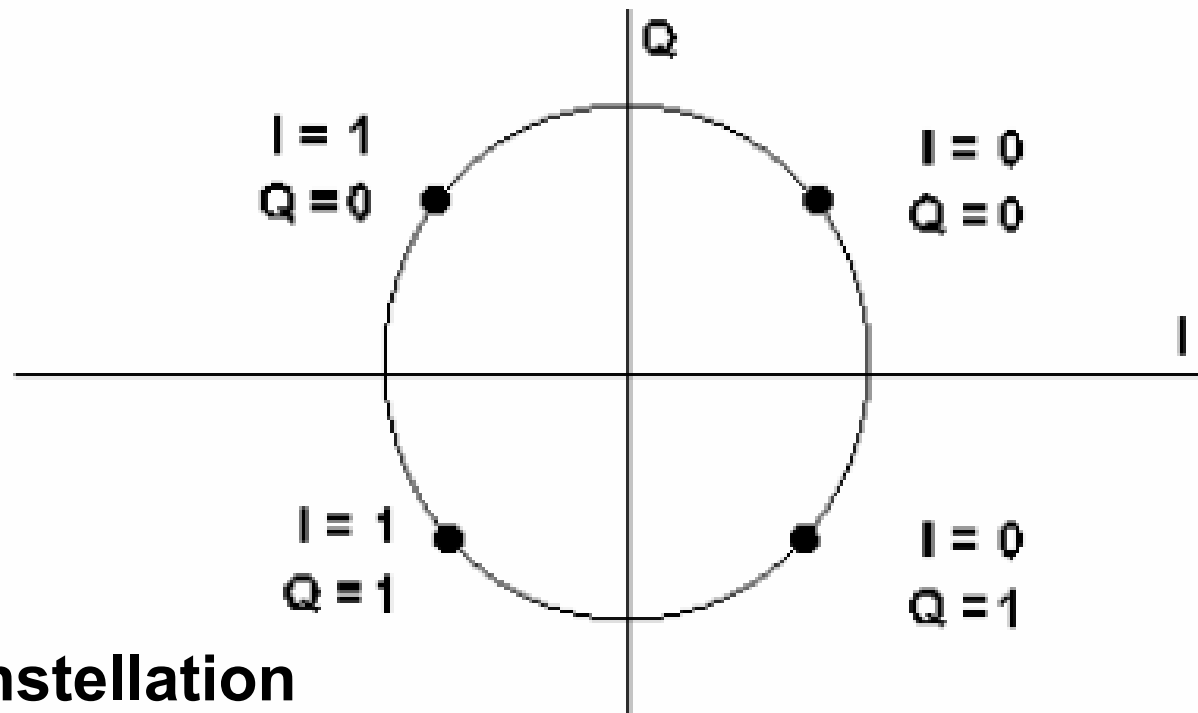
QAM 128

128 états (7 bits)



DVB-S Modulation

Poinçonnage et modulation QPSK



QPSK Constellation

DVB-S Filtre de modulation

Filtre en racine de Nyquist de roll off 0.35

$$H(f) = 1 \text{ for } |f| < f_N(1 - \alpha)$$

$$H(f) = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2} \text{ for } f_N(1 - \alpha) \leq |f| \leq f_N(1 + \alpha)$$

$$H(f) = 0 \text{ for } |f| > f_N(1 + \alpha),$$

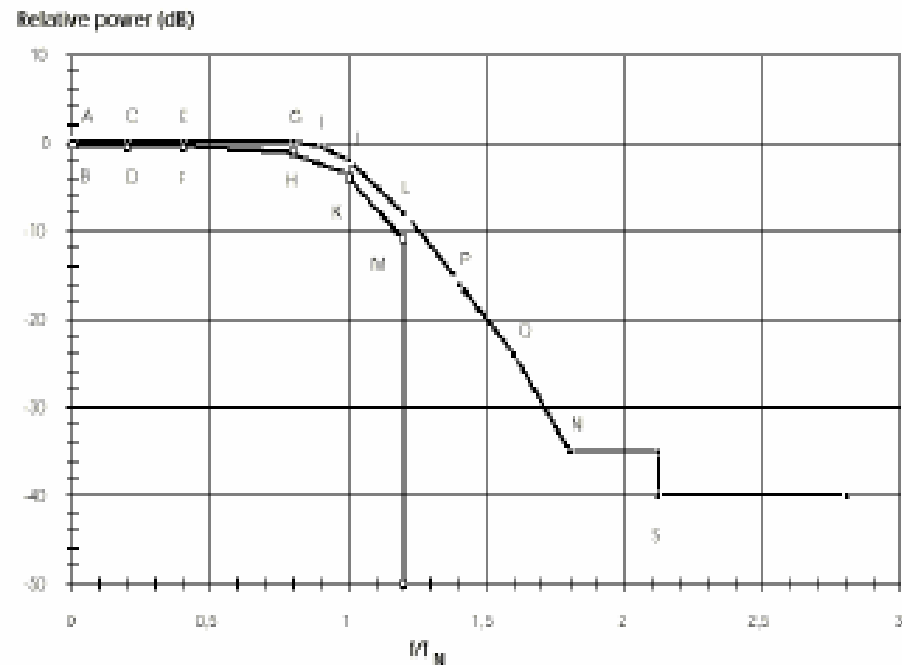


Figure A.1: Template for the signal spectrum mask at the modulator output represented in the baseband frequency domain

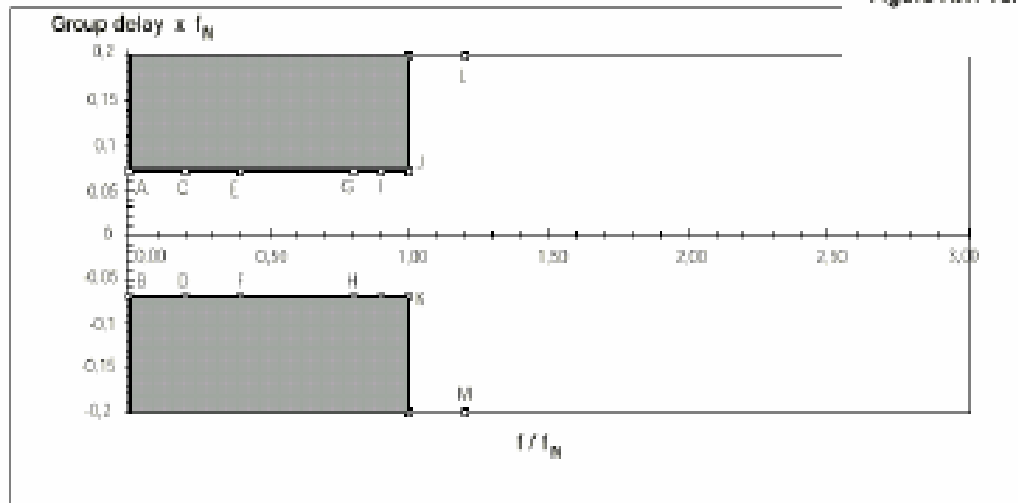


Figure A.2: Template of the modulator filter group delay

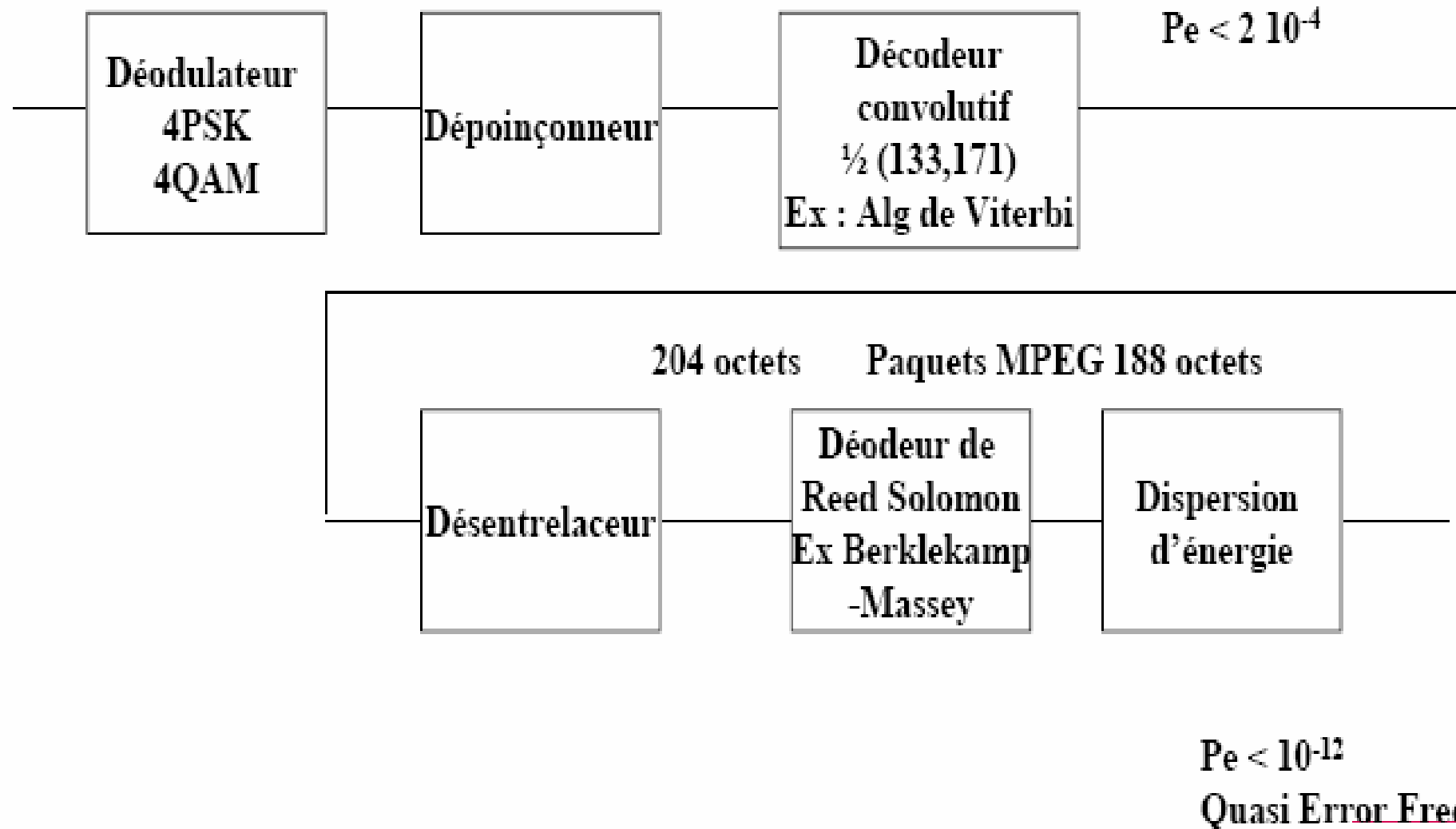
DVB-S Densité Spectrale de Puissance

La Densité Spectrale de Puissance d'un signal numérique est donnée par la formule de Bennett

$$S_x(f) = \frac{E_s}{T} |H(f)|^2 \quad \text{En bande de base}$$

C'est une fonction en cosinus surélevé de Roll Off 0,35 centrée sur la fréquence porteuse

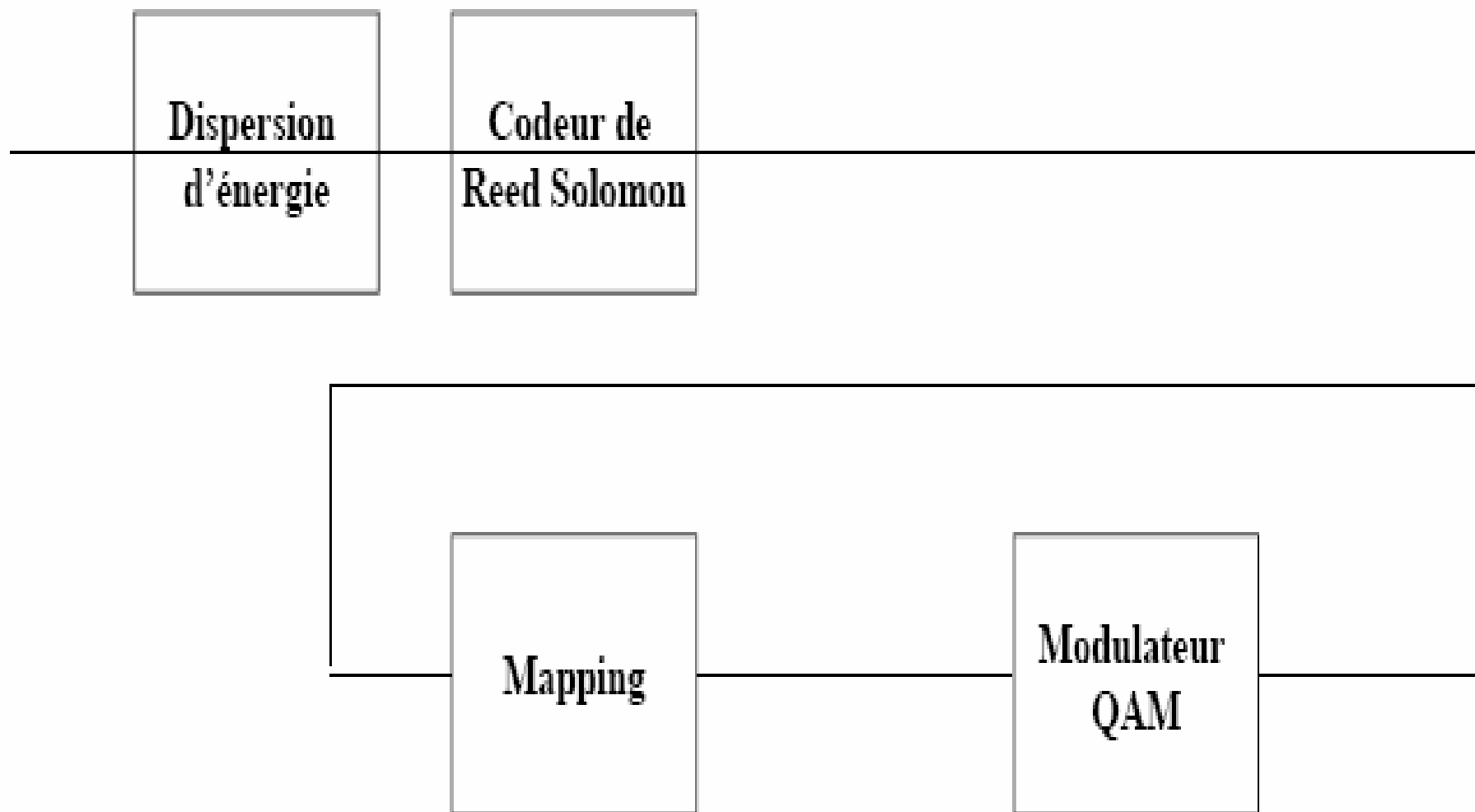
Schéma d'un démodulateur DVB-s



Schémas d'un modulateur DVB-C

Paquets MPEG 188 octets

204 octets



Réseau câblé: récepteur

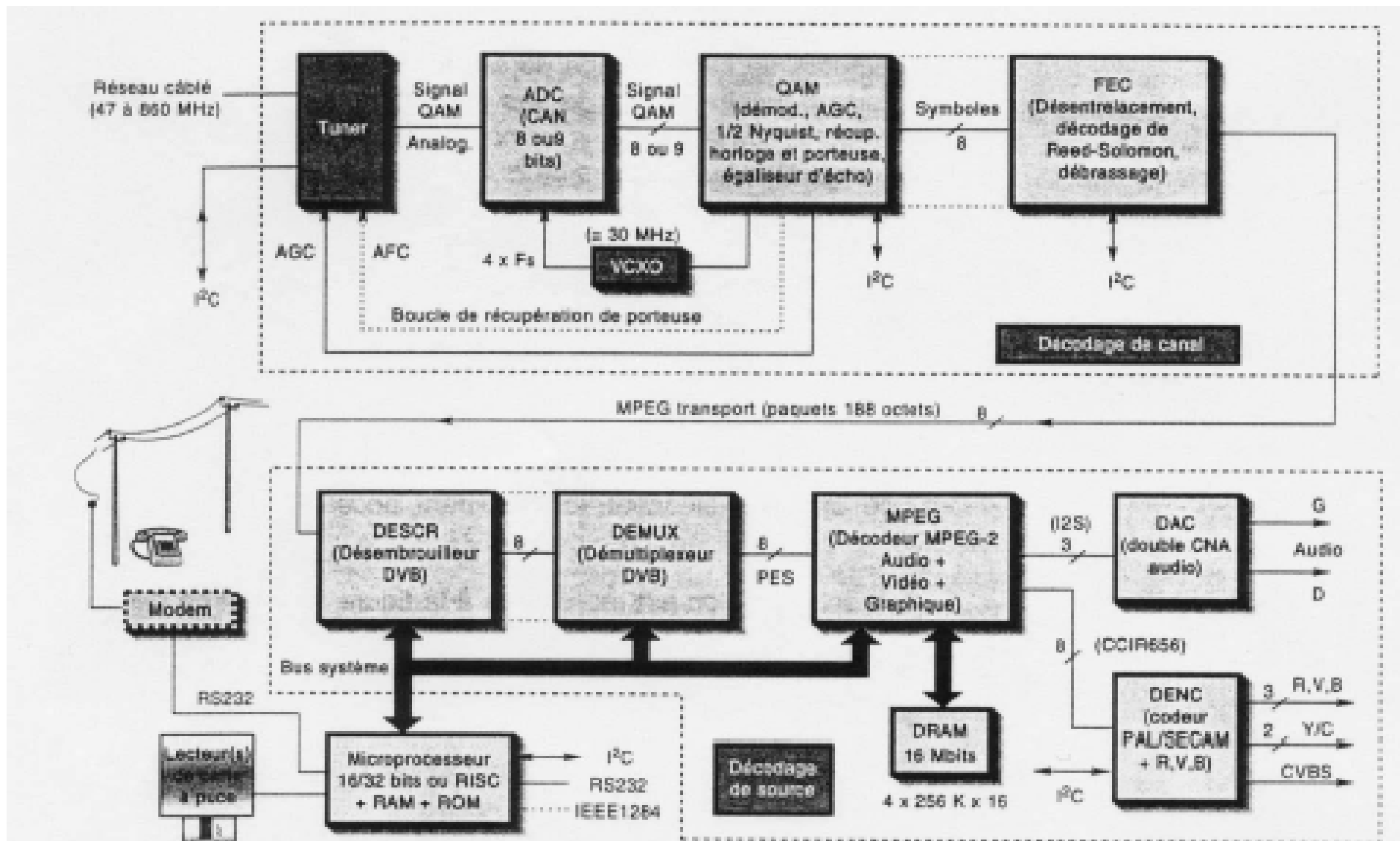


Figure 8.4 : Schéma-bloc d'un récepteur câblé numérique (les pointillés représentent différents niveaux d'intégration).

Réseau câblé: tuner

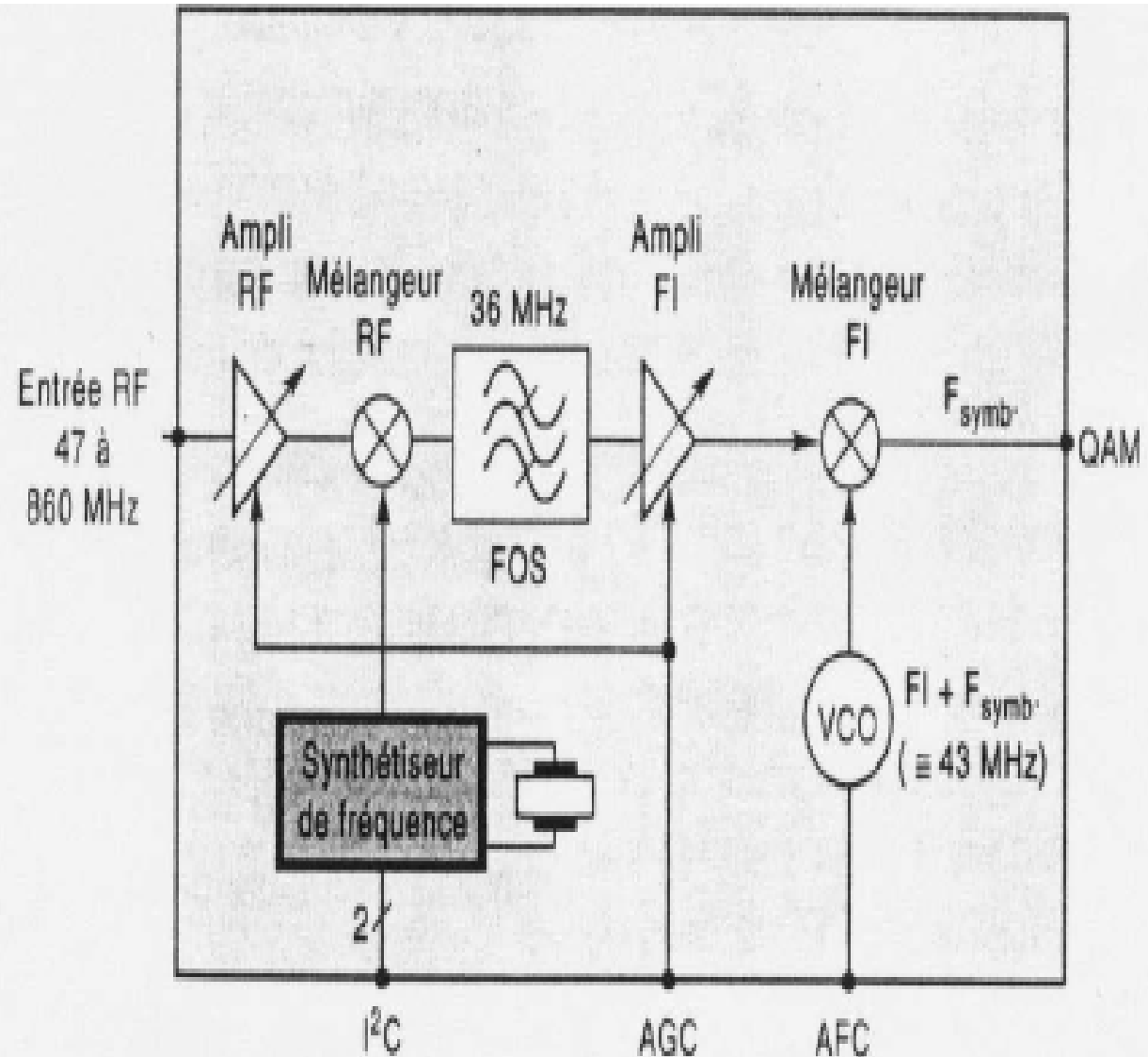


Figure 8.5 : Constitution d'un tuner (front-end) câble numérique.

DVB-C Mapping et modulation

Byte mapping

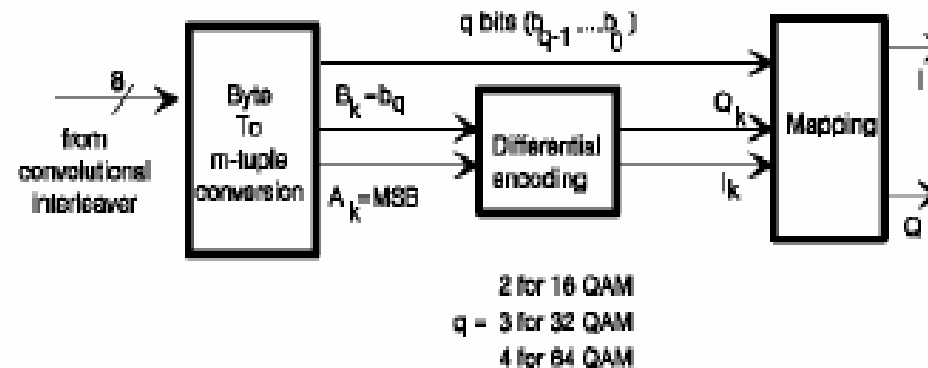
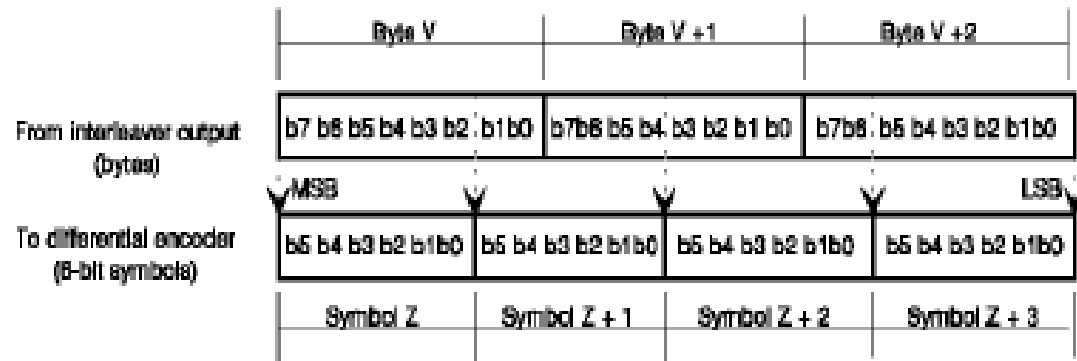


Figure 6: Example implementation of the byte to m-tuple conversion and the differential encoding of the two MSBs

Table1: Conversion of constellation points of quadrant 1 to other quadrants of the constellation diagram given in figure 7

Quadrant	MSBs	LSBs rotation
1	00	
2	10	$+\pi/2$
3	11	$+\pi$
4	01	$+3\pi/2$

DVB-C Constellations

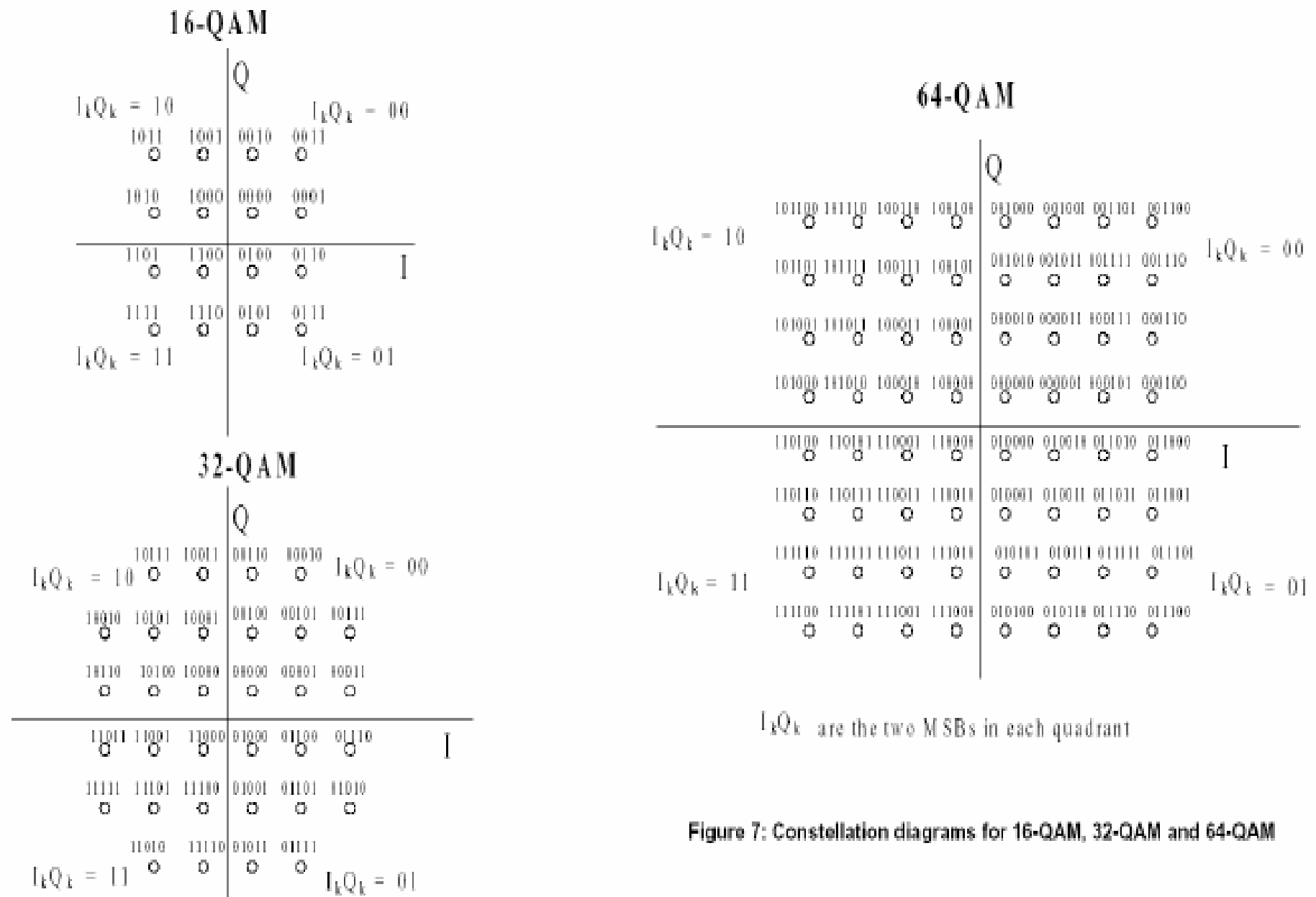


Figure 7: Constellation diagrams for 16-QAM, 32-QAM and 64-QAM

Constellations 128 et 256 QAM

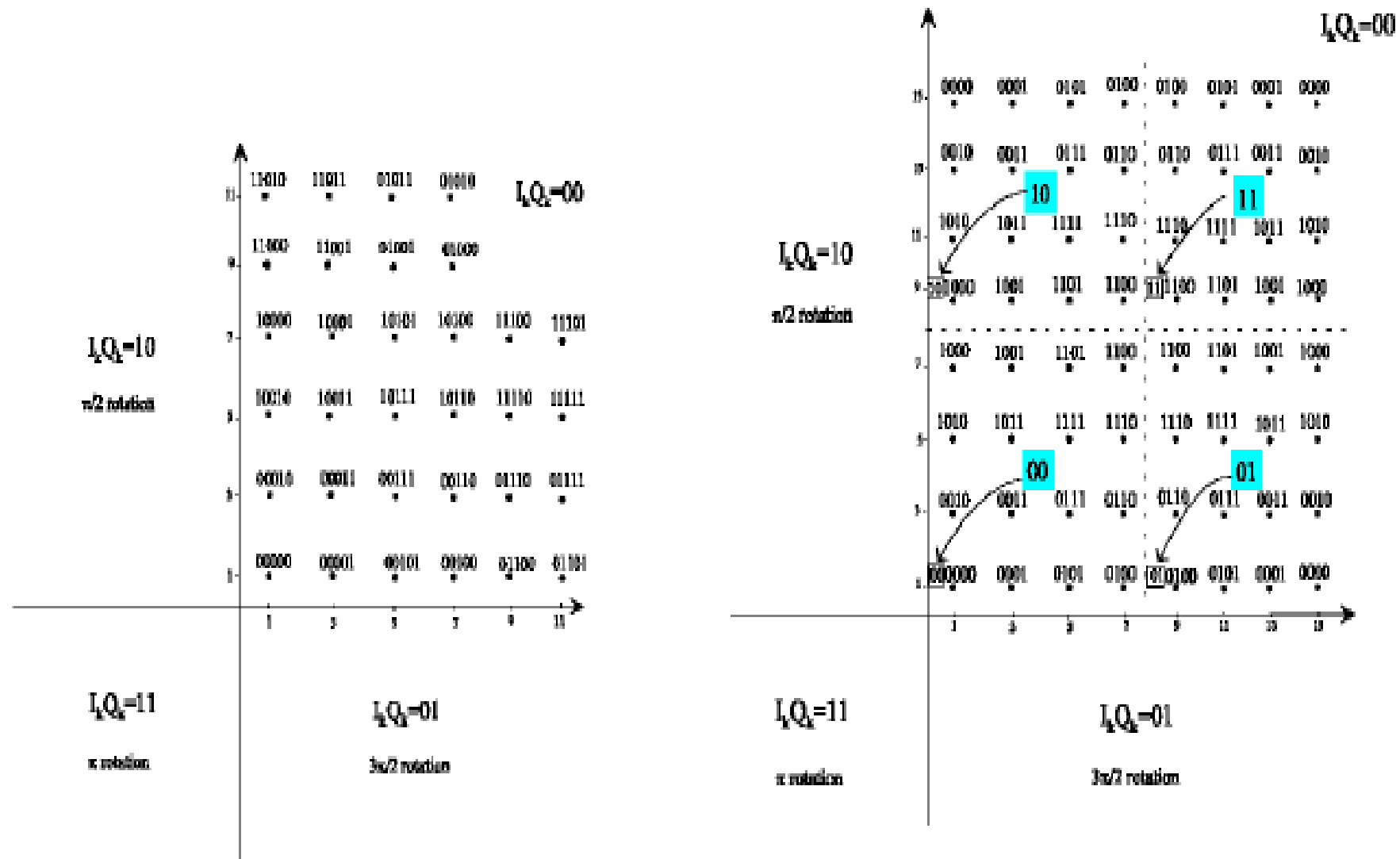


Figure 8: Constellation diagrams for 128-QAM and 256-QAM

DVB-C Densité Spectrale de Puissance

Facteur de débordement (Roll Off) = 0.15

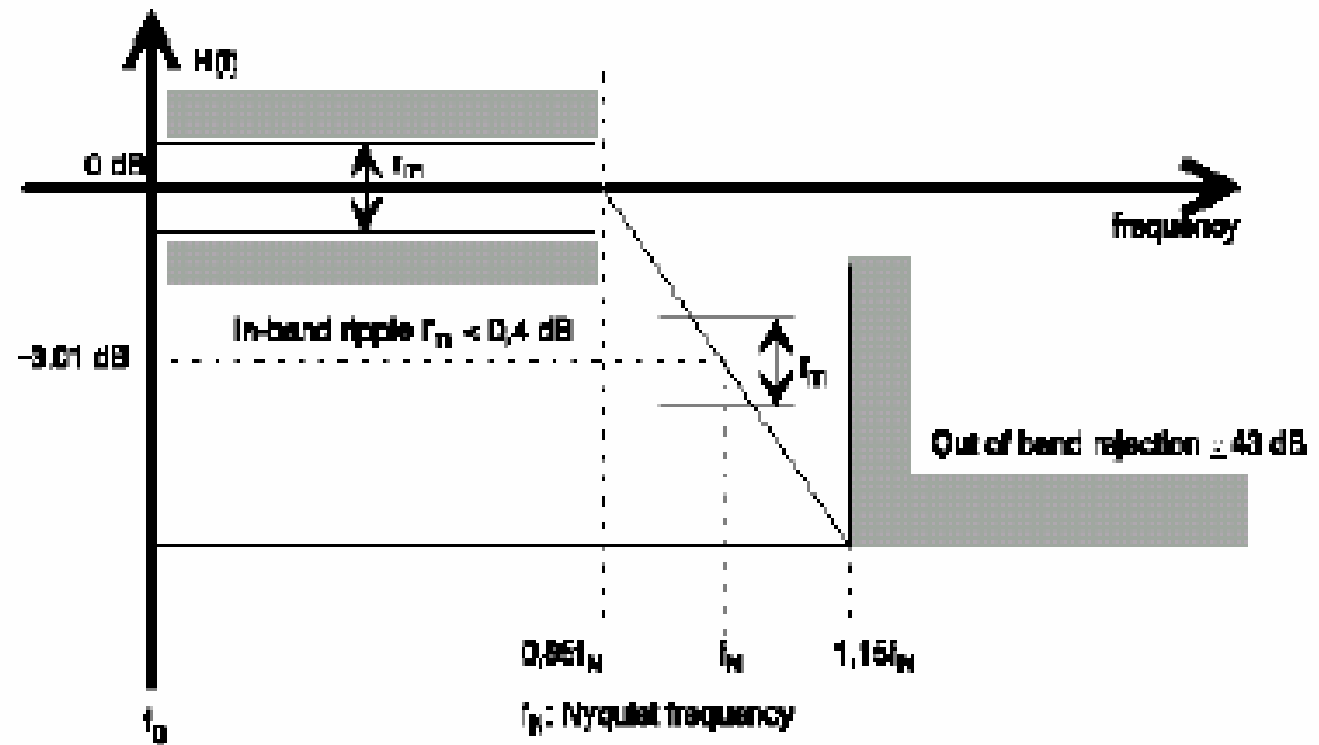


Figure A.1: Half-Nyquist baseband filter amplitude characteristics

DVB-C Débits

Table B.1: Examples of useful bit rates R_U and total bit rates R_U' for transparent re-transmission and spectrum efficient use on cable networks

Useful bit rate R_U (MPEG-2 transport layer) [Mbit/s]	Total bit rate R_U' incl. RS(204,188) [Mbit/s]	Cable symbol rate [MBaud]	Occupied bandwidth [MHz]	Modulation scheme
38,1	41,34	6,89	7,92	64-QAM
31,9	34,61	6,92	7,96	32-QAM
25,2	27,34	6,84	7,86	16-QAM
31,672 PDH	34,367	6,87	7,90	32-QAM
18,9	20,52	3,42	3,93	64-QAM
16,0	17,40	3,48	4,00	32-QAM
12,8	13,92	3,48	4,00	16-QAM
9,6	10,44	1,74	2,00	64-QAM
8,0	8,70	1,74	2,00	32-QAM
6,4	6,96	1,74	2,00	16-QAM

DVB-T OFDM

Modulation OFDM

$$s(t) = \text{Re} \left\{ e^{2j\pi f_0 t} \cdot \sum_{m=0}^M \sum_{l=0}^{67} \sum_{k=K_{\min}}^{K_{\max}} C_{m,l,k} \cdot \Psi_{m,l,k}(t) \right\}$$

Fonctions de modulation

$$\Psi_{m,l,k}(t) = \begin{cases} e^{2j\pi \frac{k}{T_u} (t - \Delta - (68m+l)T_s)} & (68m+l)T_s \leq t \leq (68m+l+1)T_s \\ 0 & \text{ailleurs} \end{cases}$$

k = indice de la porteuse

l = indice du symbole OFDM

m = numéro de Trame

Δ = durée de l'intervalle de garde

T_s = durée d'un symbole $T_s = T_u + \Delta$

Symbole complexe : d'une constellation $C_{m,l,k}$

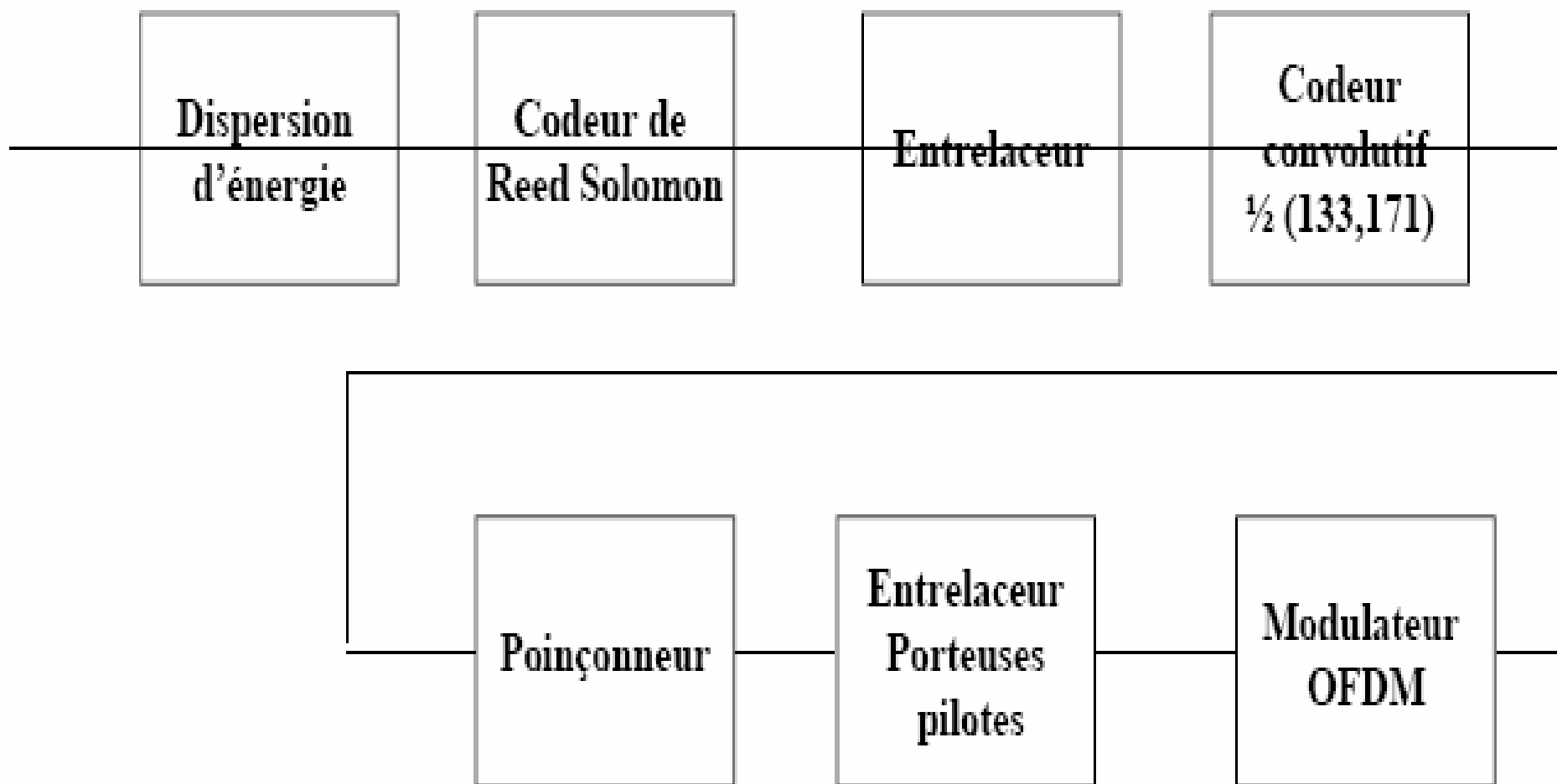
FFT Inverse

$$\sum_{k=K_{\min}}^{K_{\max}} C_{m,l,k} \cdot e^{2j\pi \frac{k \cdot t}{T_u}} \xrightarrow{t=nT_u/K} \sum_{k=K_{\min}}^{K_{\max}} C_{m,l,k} \cdot e^{2j\pi \frac{k \cdot n}{K}}$$

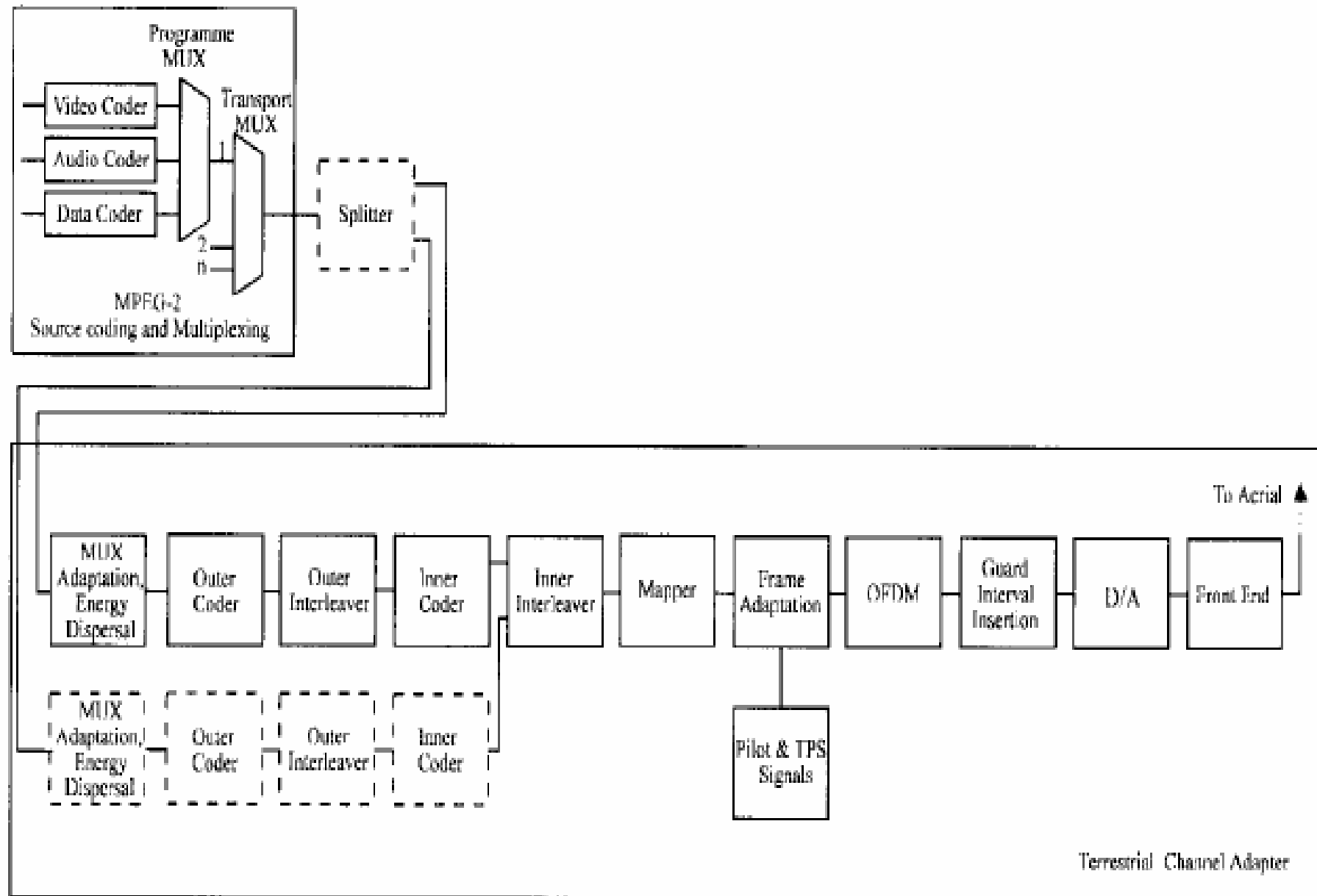
Schémas d'un modulateur DVB-T

Paquets MPEG 188 octets

204 octets



DVB-T Principles



DVB-T entrelacement non hiérarchique

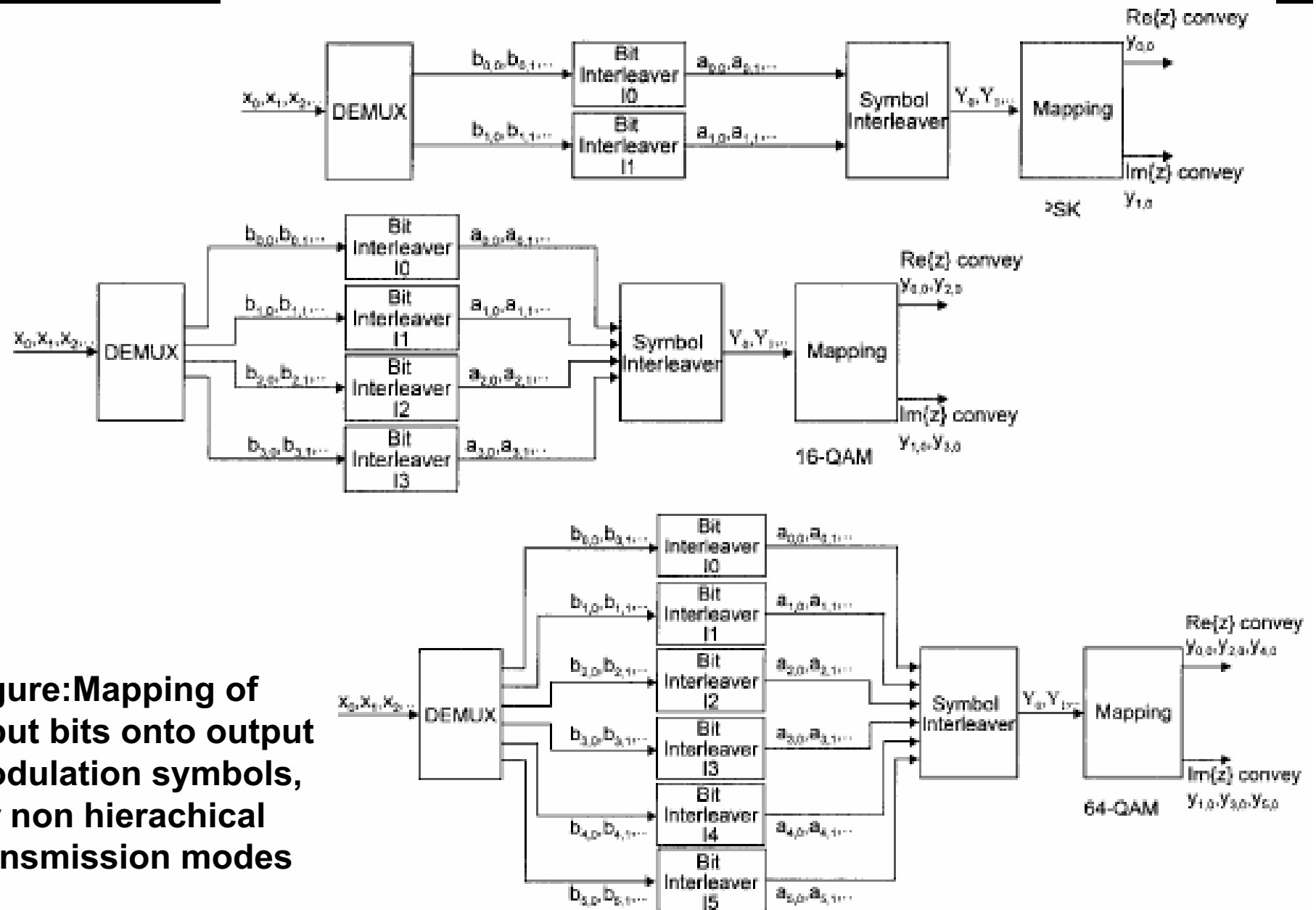
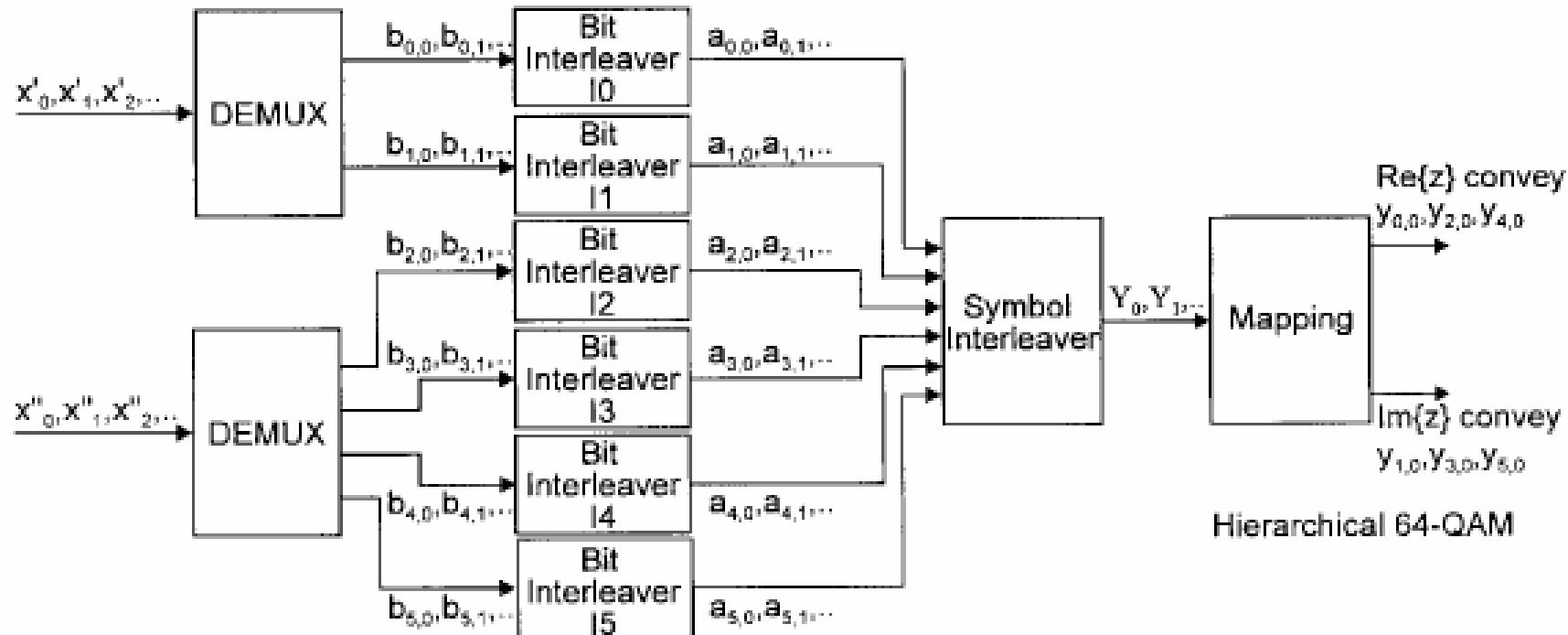
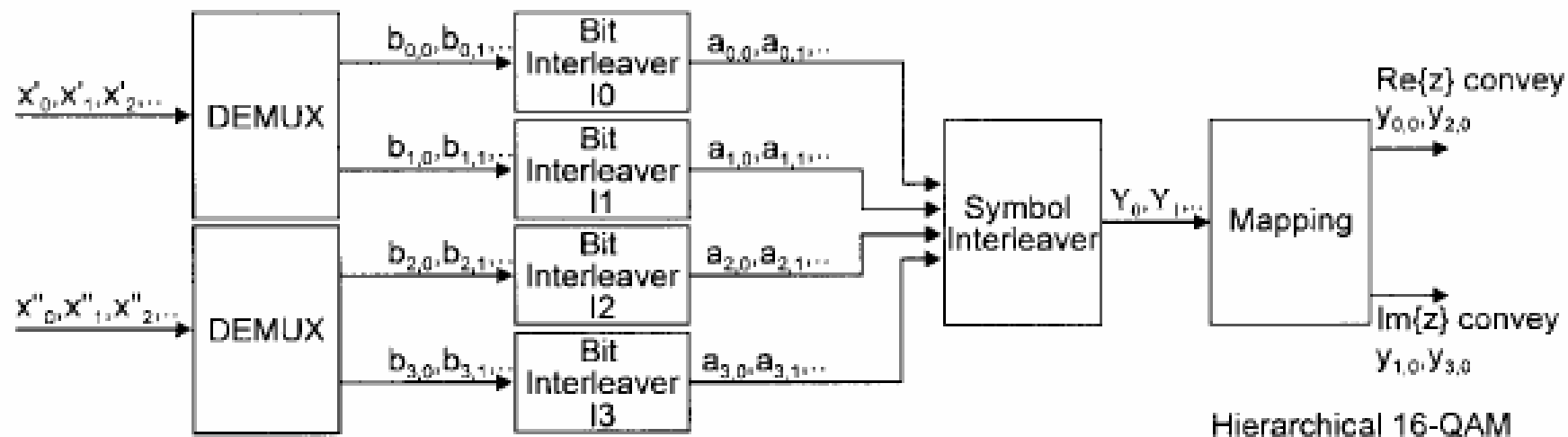


Figure: Mapping of input bits onto output modulation symbols, for non hierarchical transmission modes

DVB-T entrelacement hiérarchique



DVB-T Constellations

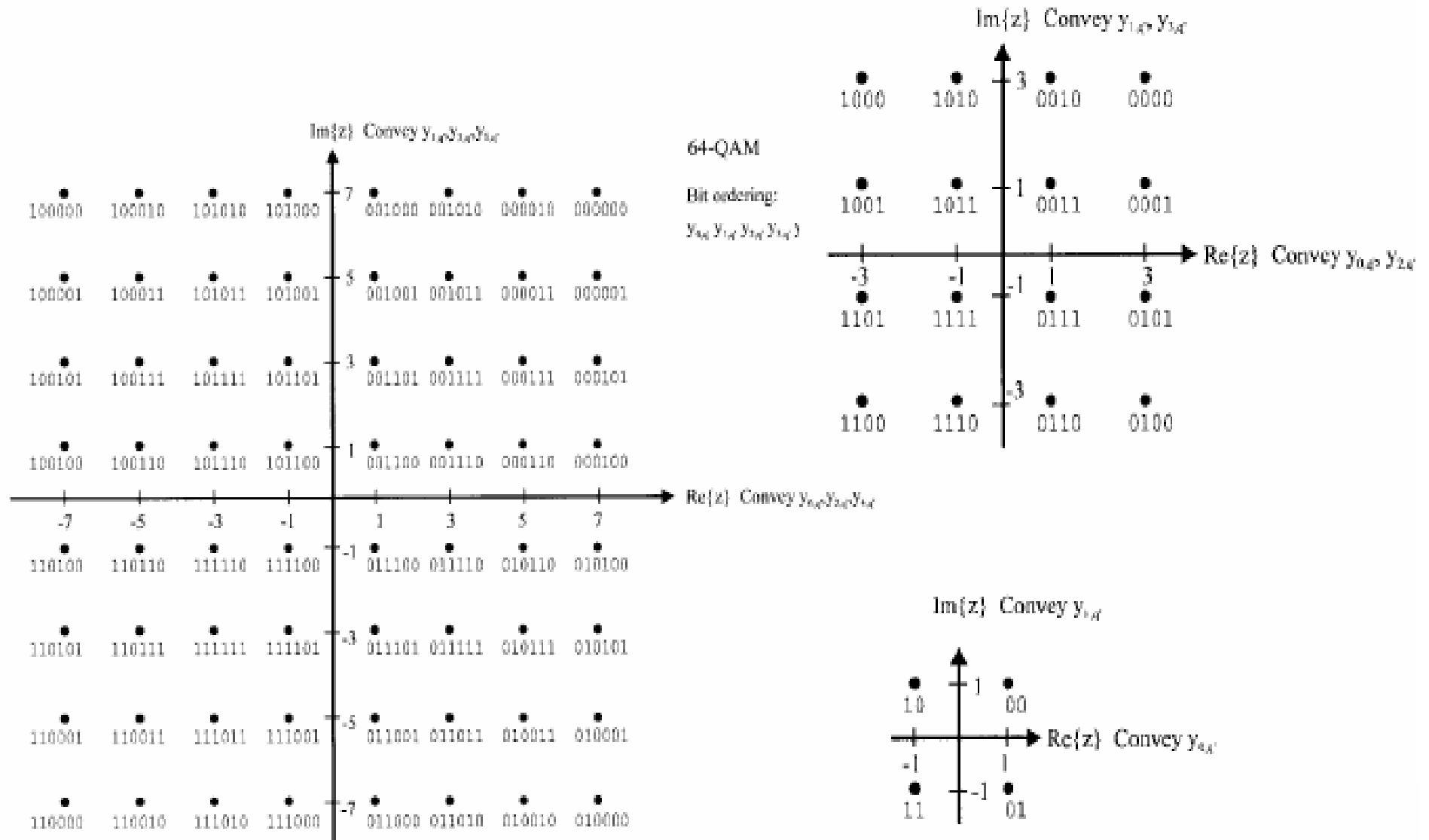


Figure 9a: The QPSK, 16-QAM and 64-QAM mappings and the corresponding bit patterns (non-hierarchical, and hierarchical with $\alpha = 1$)

DVB-T Constellations hiérarchiques

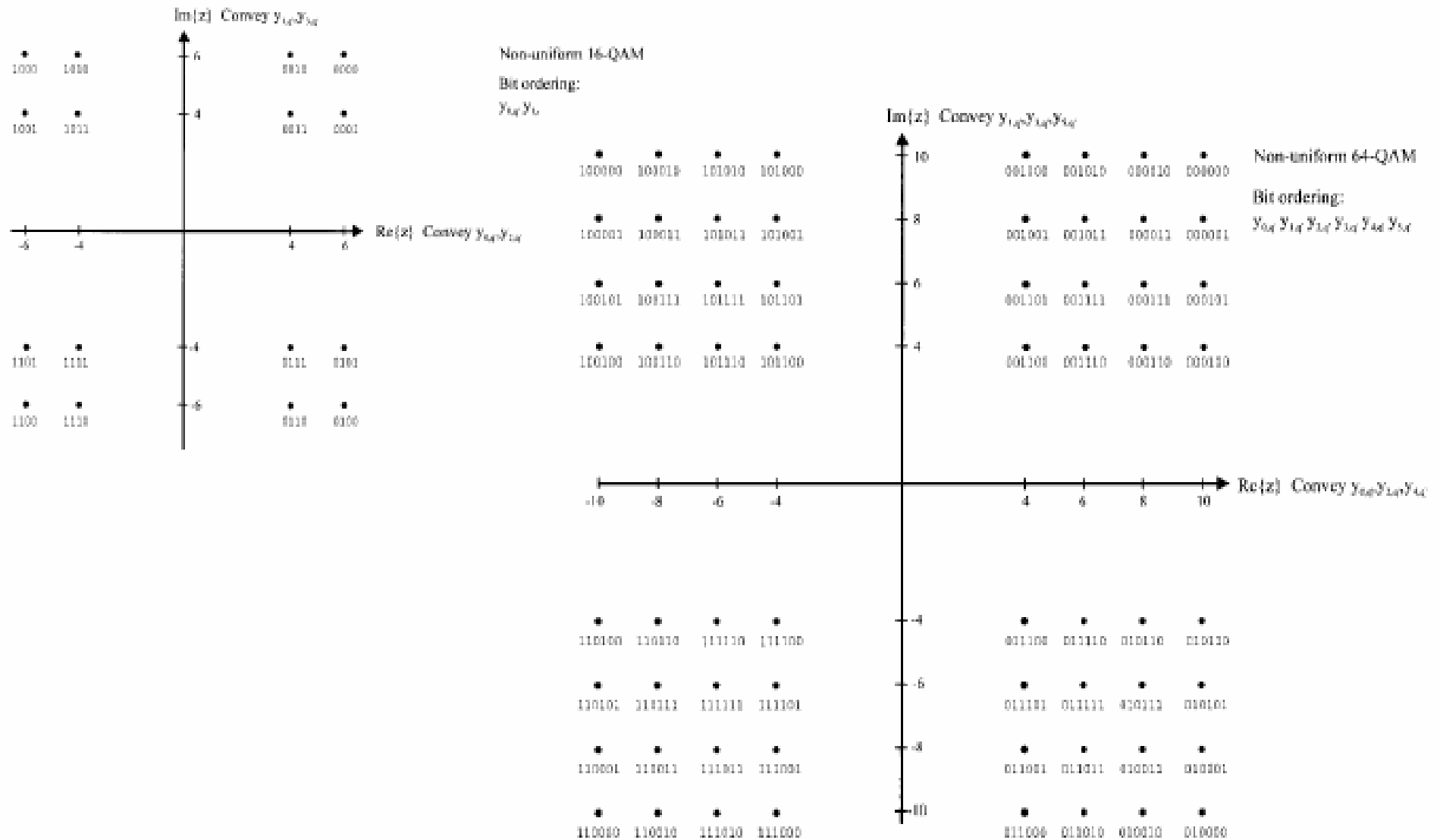


Figure 9c: Non-uniform 16-QAM and 64-QAM mappings with $\alpha = 4$

The $y_{u,q}$ denote the bits representing a complex modulation symbol z .

DVB-T Spectres

Densité Spectrale de puissance
du signal émis

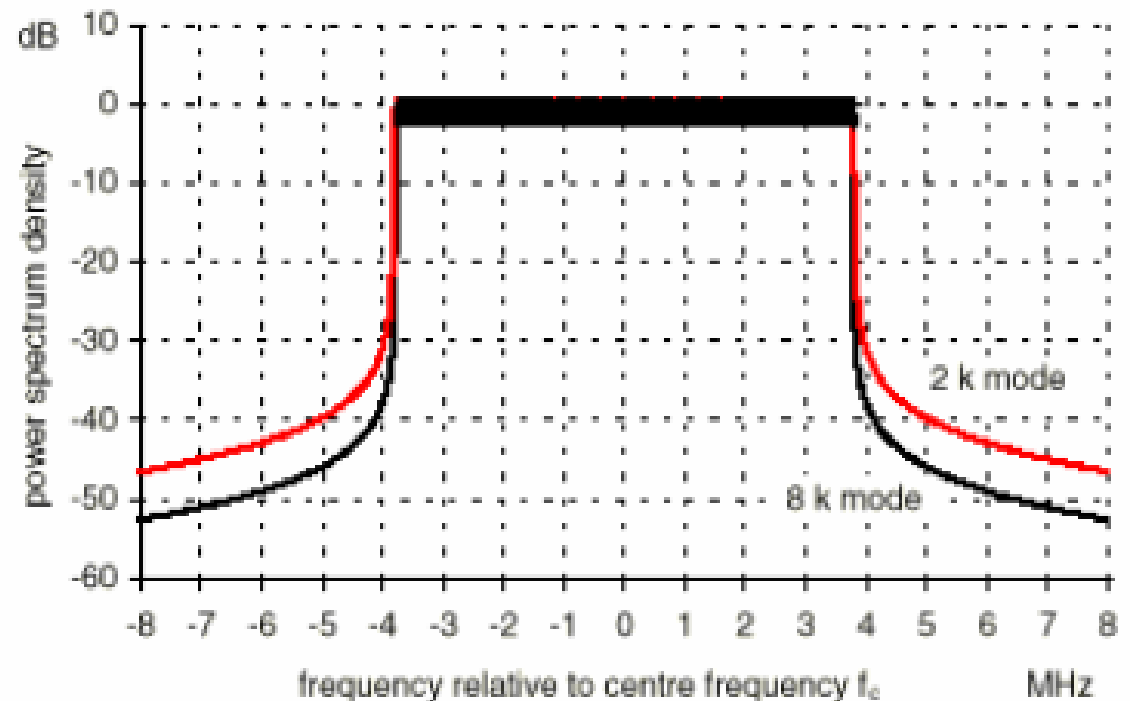


Table 21: Breakpoints for spectrum mask for critical cases

Breakpoints	
relative frequency [MHz]	relative level [dB]
-12	-120
-6	-95
-4,2	-83
-3,8	-32,8
+3,8	-32,8
+4,2	-83
+6	-95

Modulation OFDM (Forme d'onde)

Racine de cosinus surélevé

Roll off 25%

$$g(t) = \frac{\sin\left[\frac{\pi t}{T_s}(1-\alpha)\right] + \frac{4\alpha t}{T_s} \cos\left[\frac{\pi t}{T_s}(1+\alpha)\right]}{\frac{\pi t}{T_s} \left[1 - \left(\frac{4\alpha t}{T_s}\right)^2\right]} \text{ for } t \in \{-4T_s, 4T_s\}$$

Fonction rectangle

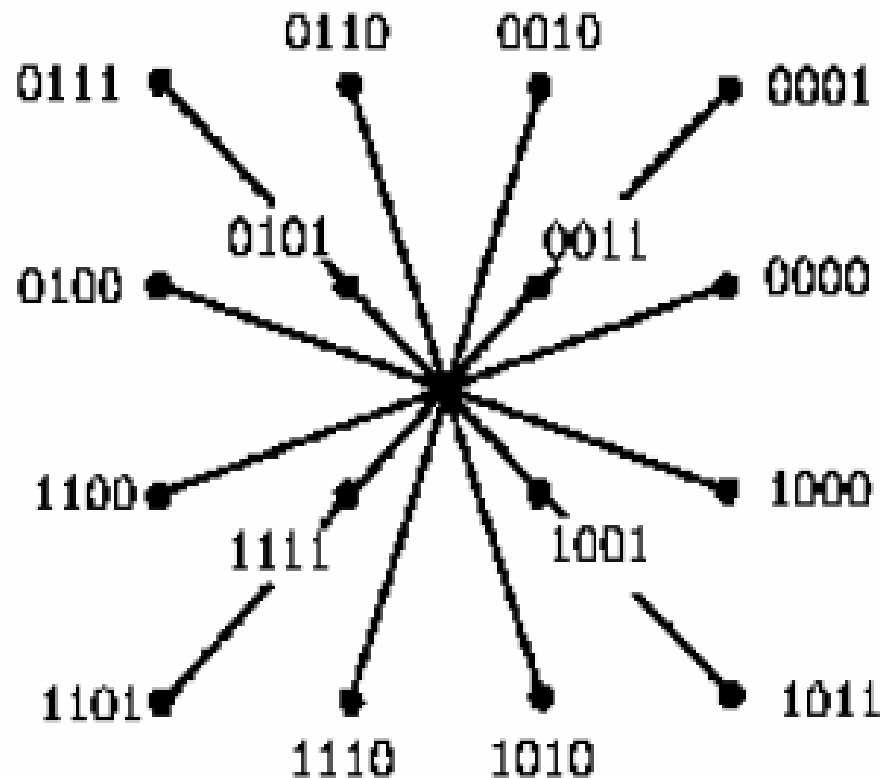
Intervalle de garde $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{32}$

Modulation QAM (quadrature Amplitude Modulation)

La modulation mono-porteuse QAM consiste à associer à toute suite de n bits appelée symbole un point particulier au sein d'une constellation. Cela correspond à une combinaison d'une modulation de phase et d'amplitude, ceci afin d'augmenter le nombre d'état par symbole. La porteuse est transmise en ligne avec le signal modulé, la démodulation se faisant au niveau du récepteur. Cette technique pose certaines difficultés dues à la distorsion de phase de la porteuse inhérente à la propagation.

La Modulation : en phase et en amplitude

Exemple d'un modem à 14.4 Kbits/s : 16 états auxquels on associe 4 bits.

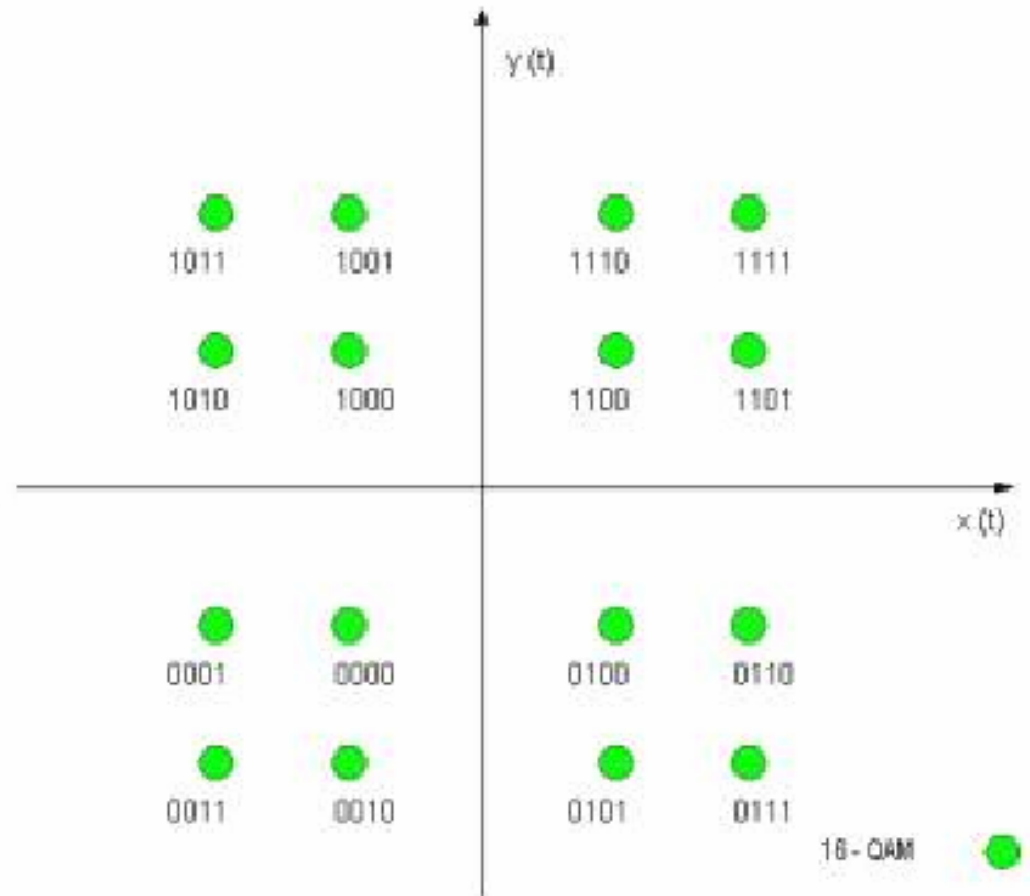


En deux périodes de modulation, on a transmis un octet

Ce type de modulation est appelé *QAM* - *Quadrature Amplitude Modulation*.

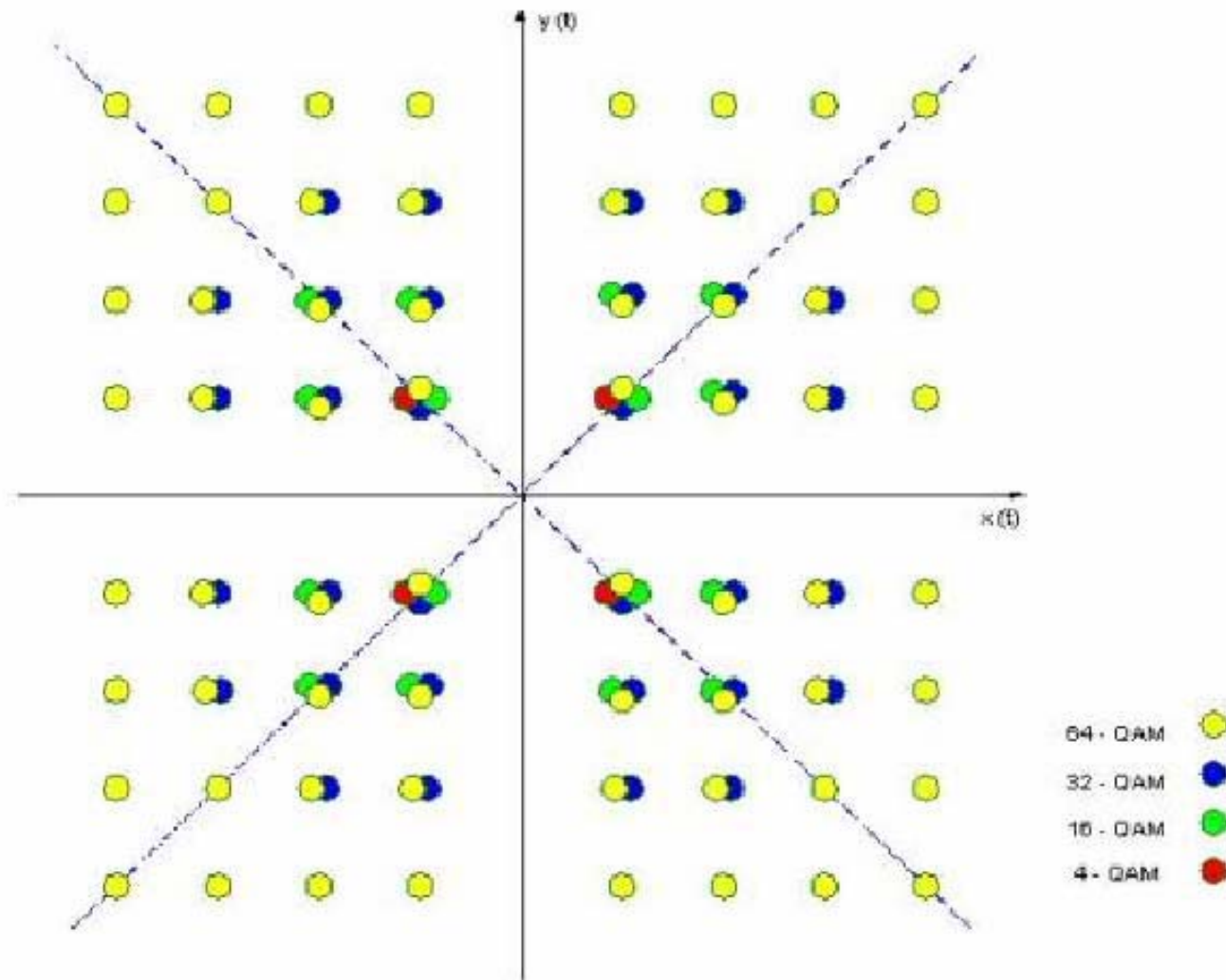
Modulation QAM (Exemple)

La figure, ci-dessous représente la valeur binaire associée à chaque point d'une constellation 16-QAM utilisée dans les modems V32.



Modulation QAM (Exemple)

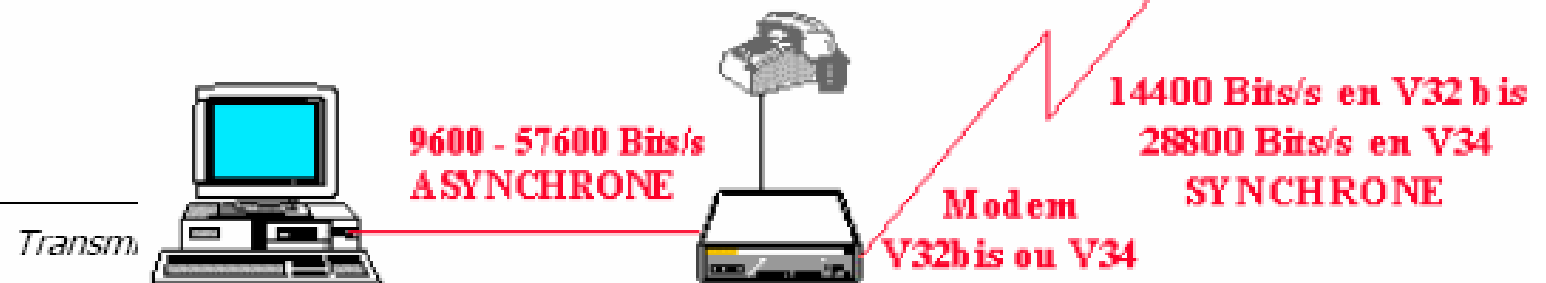
La figure, ci-dessous affiche les différentes modulations QAM qui sont utilisées par les modems ADSL. (4-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM)



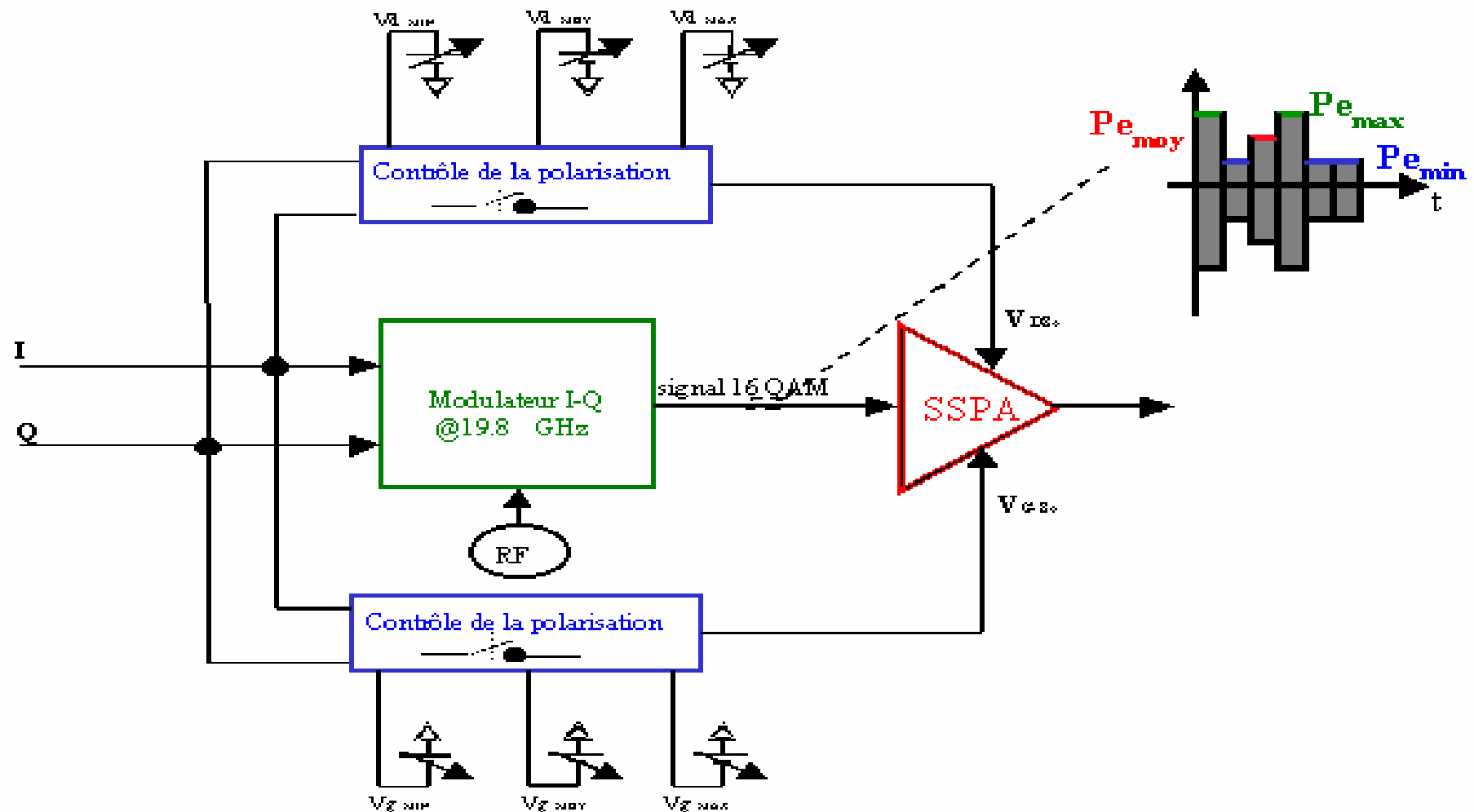
Normes et vitesses de transmission

AVIS CCITT	VITESSE	MODULATION
V21/Bell 103	300 Bits/s	<u>FSK</u>
V22/Bell 212a	1200 Bits/s	<u>DPSK</u>
V23	1200/75 Bits/s	<u>DPSK</u>
V22bis	2400 Bits/s	QAM
V32	9600 Bits/s	QAM
V32bis	14.400 Bits/s	QAM
V34	28.800 Bits/s	QAM
V34+	33.600 Bits/s	QAM
V90	56.000 Bit/s	QAM+Compr
V92	56.000 Bit/s	QAM+Compr

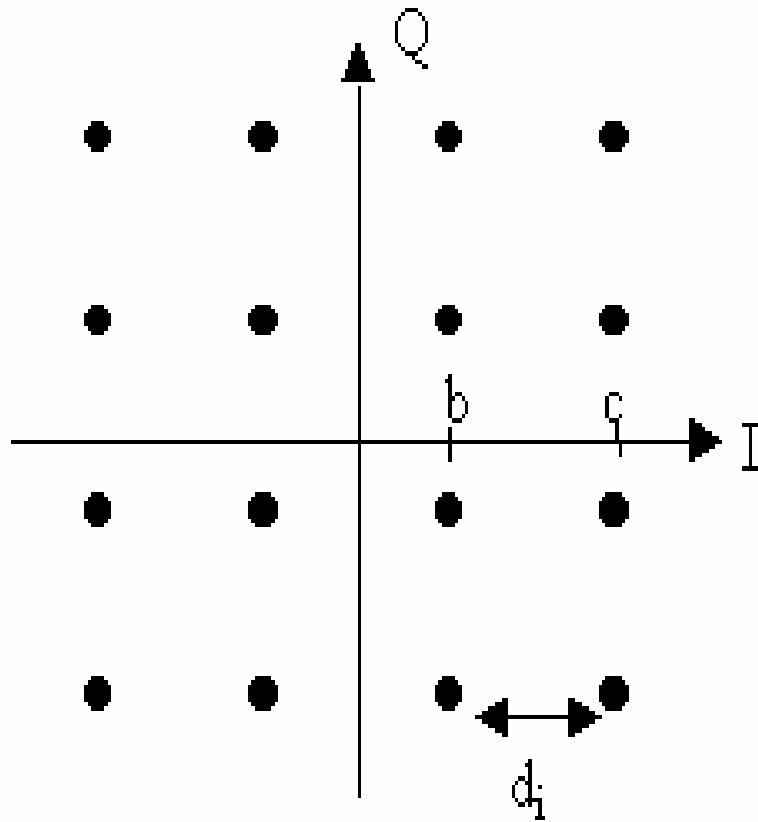
Réseau téléphonique public



Synoptique du système de linéarisation d'un modulateur pour une modulation numérique 16QAM

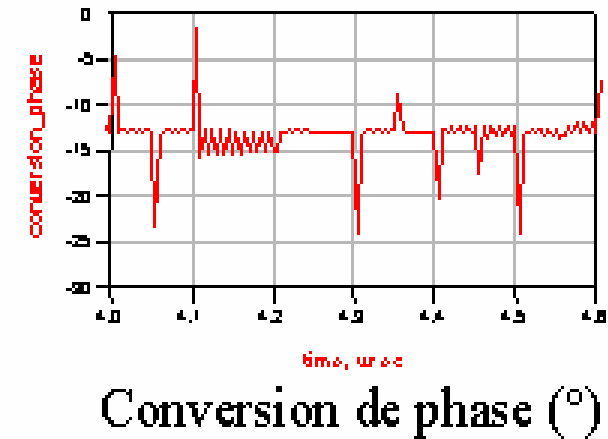
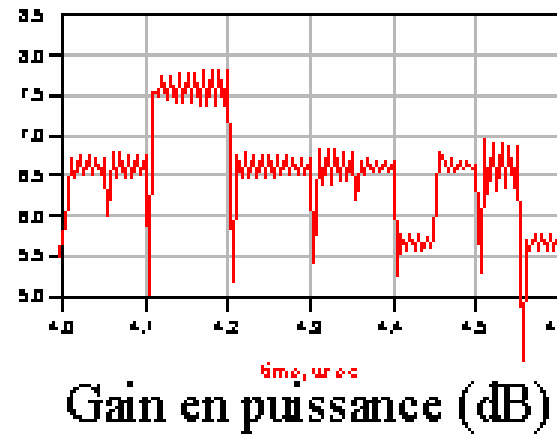
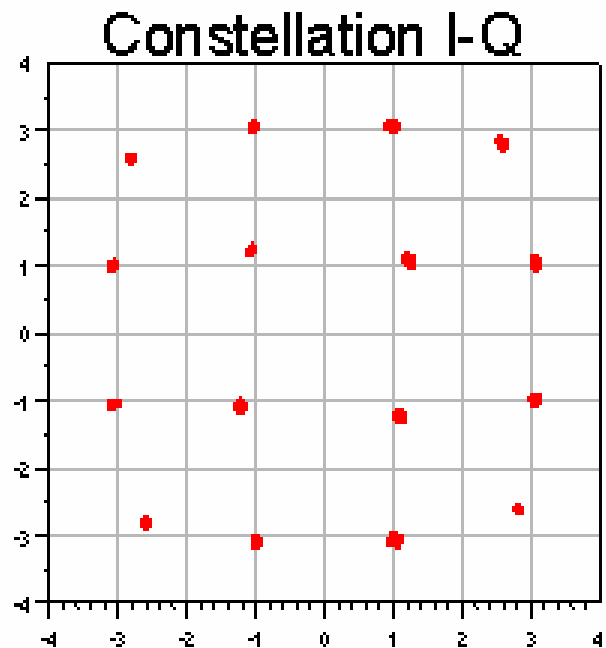


Constellation IQ d'une modulation 16QAM

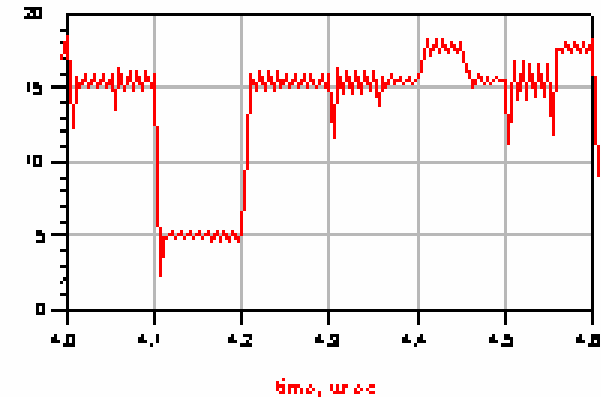


distance intersymbole d_i :

$$d_i = c - b = 2 \cdot b \quad ; \quad c = 3 \cdot b = \frac{3}{2} d_i$$

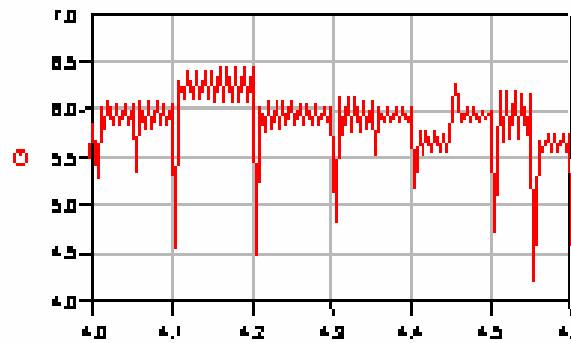
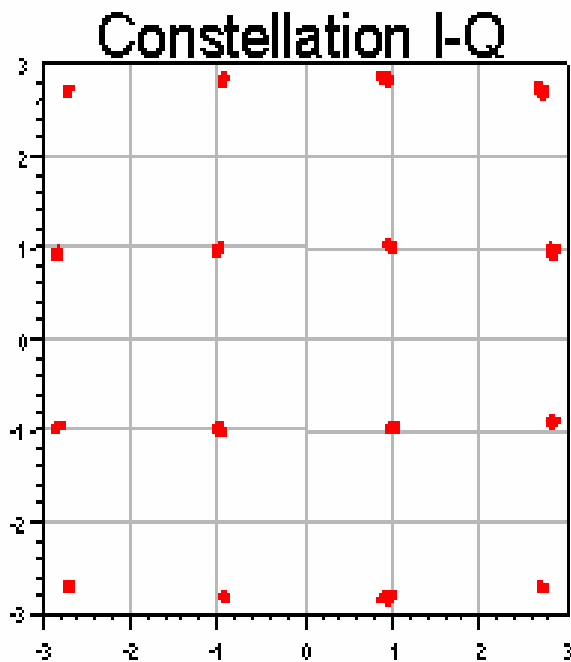


Rendement en puissance ajoutée (%) →

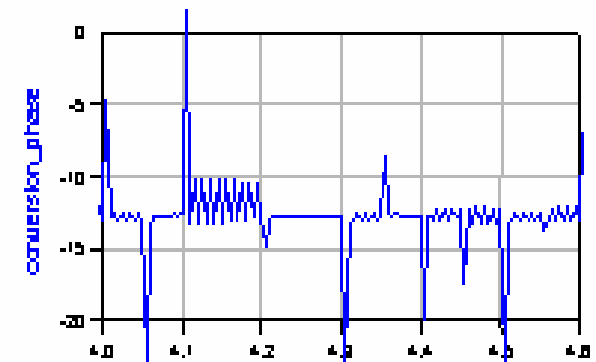


Puissance maximum (I=1 ; Q=1) (dBm)	Puissance d'entrée moyenne sur 30 MHz (dBm)	Puissance de sortie moyenne sur 30 MHz (dBm)	PAE moyen (%)	EVM (%)
16	10.2	19	12.9	2.4

Simulation du comportement de l'amplificateur face à une modulation 16QAM pour un régime fort signal en entrée avec une polarisation fixe : $V_{GSo} = -0,5 \text{ V}$, $V_{DSo} = 3 \text{ V}$.

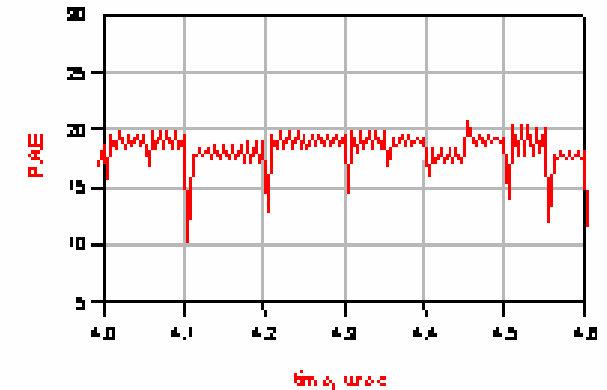


Gain en puissance (dB)



Conversion de phase (°)

Rendement en puissance ajoutée (%) →



Puissance maximum (I=1 ; Q=1) (dBm)	Puissance d'entrée moyenne sur 30 MHz (dBm)	Puissance de sortie moyenne sur 30 MHz (dBm)	PAE moyen (%)	EVM (%)
15.9	10	18.6	18.2	0.9

Simulation du comportement de l'amplificateur face à une modulation 16QAM pour un régime fort signal en entrée avec le système de commande de polarisation.

Définition de la probabilité d'erreur PM

Lors de l'amplification d'une modulation de type 16QAM, la constellation est plus ou moins déformée. Cette déformation influe sur la probabilité d'erreur à détecter un symbole. Plus la constellation est déformée et plus la probabilité grandit ; ces deux notions sont entièrement corrélées .

Après démodulation du signal, la constellation IQ peut se présenter sous la forme idéale de la ci-dessous.

Définition de la probabilité d'erreur PM

Pour une modulation numérique de type 16QAM, sachant que ses signaux sont antipodaux, la probabilité d'erreur peut être ramenée à l'équation:

$$P_M = 3Q\left(\sqrt{\frac{4Eb}{5N_0}}\right)\left[1 - \frac{3}{4}Q\left(\sqrt{\frac{4Eb}{5N_0}}\right)\right] \text{ avec } Q(x) = \frac{1}{2}\operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right)$$

avec E_b/N_0 : rapport de l'énergie moyenne d'un bit sur la densité spectrale de puissance du bruit.

Définition de la probabilité d'erreur PM

On suppose les signaux équiprobables, la distance minimale entre les symboles d_i peut alors se ramener à l'expression $d_i = 2\sqrt{\frac{2}{5}Eb}$. Il est possible de majorer la probabilité d'erreur sur un symbole suivant la relation de l'équation $P_M < 3Q\left(\sqrt{\frac{d_i^2}{2N_0}}\right)$

En calculant ainsi pour chaque symbole sa probabilité d'erreur, il est possible, en les sommant un à un, de connaître cette probabilité sur l'ensemble de la constellation.

$$P_M < \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M N_i \cdot P_M \quad (7)$$

avec M : nombre de symboles dans la constellation

N_i : nombre de signaux situés à la distance d_i .

Définition de la probabilité d'erreur PM

Connaissant la distance minimale entre les différents symboles, il est possible de déterminer la probabilité d'erreur pour la détection d'un symbole.

Plus cette distance est grande et plus la probabilité d'erreur est faible. Il ne reste donc plus qu'à exprimer cette distance minimale entre chaque symbole en fonction des non-linéarités propres à l'amplificateur

modulation numérique de type M-QAM

La figure ci-dessous indique que l'amplification de la modulation numérique 16QAM en régime fort signal occasionne une déformation de la constellation IQ.

Cette déformation, représentée par une compression des symboles associés aux niveaux de puissance les plus élevés (P_{eMAX} et P_{eMOY}) est due aux variations du gain en puissance et de phase suivant le niveau appliqué, ce qui dégrade la linéarité :

$$EVM = 2,4\%.$$

modulation numérique de type M-QAM

La constellation IQ est nettement moins déformée et le niveau de gain reste quasi constant. Une amélioration est à noter à la fois sur le rendement en puissance ajoutée qui passe de 12,9% à 18,2% et sur la linéarité (EVM) qui passe de 2,4% à 0,9%.

Le DVB Résumé

Paramètre	Câble DVB-C	Satellite DVB-S	Terrestre DVB-T
modulation	QAM 16 à 64	QPSK	OFDM 2K ou 8K QAM 4, 16 ou 64
Roll-off	0,15	0,35	Intervalle de Garde 1/32,1/16,1/8,1/2
Largeur du canal MHz	8 (7)	26 à 36	8 ou 7
Seuil C/N dB		4,1 à 8,4	3 à 20
Débit Mb/s	25,2 à 38,1	23,7 à 41,5	5 à 32