

La TNT

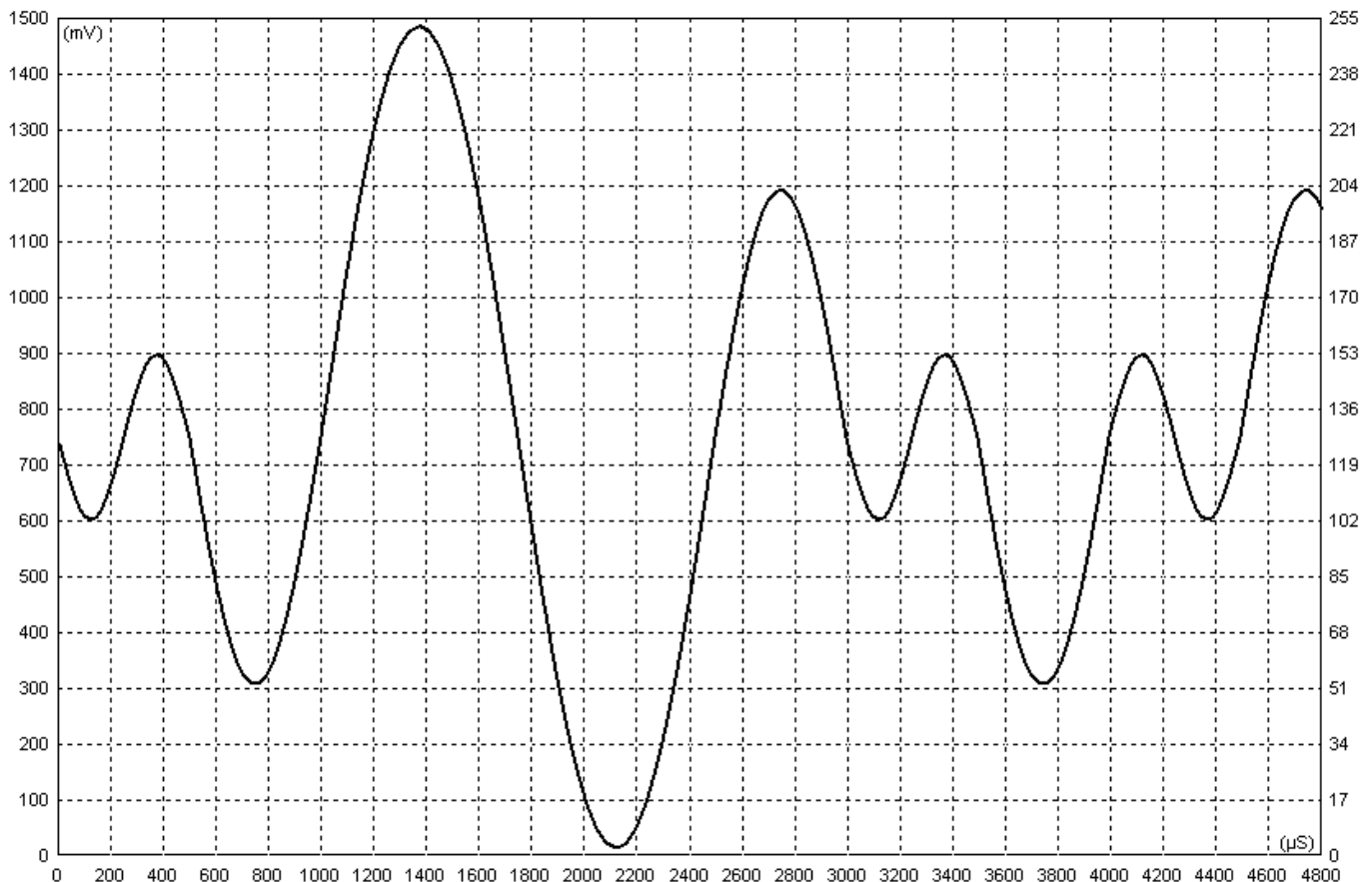
A - Principes généraux

La Télévision Numérique Terrestre ou TNT est un mode de diffusion terrestre de la télévision (c'est à dire que les émetteurs sont sur terre), dans lequel les signaux vidéo, audio et de données ont été numérisés, puis ordonnés dans un flux unique (on parle alors de multiplexage), avant d'être modulés puis diffusés, c'est à dire transportés jusqu'au téléspectateur via les ondes électromagnétiques. Elle a remplacé définitivement depuis mars 2011 la télévision analogique en France.

Cette évolution technique est comparable au passage du disque audio vinyle (analogique) au disque audio numérique (CD).

A1 - Signal analogique et signal numérique :

Signal analogique :



Dans le cas ci-dessus, le signal analogique peut avoir une valeur quelconque (entre 0 et 1,5V) à un instant donné.

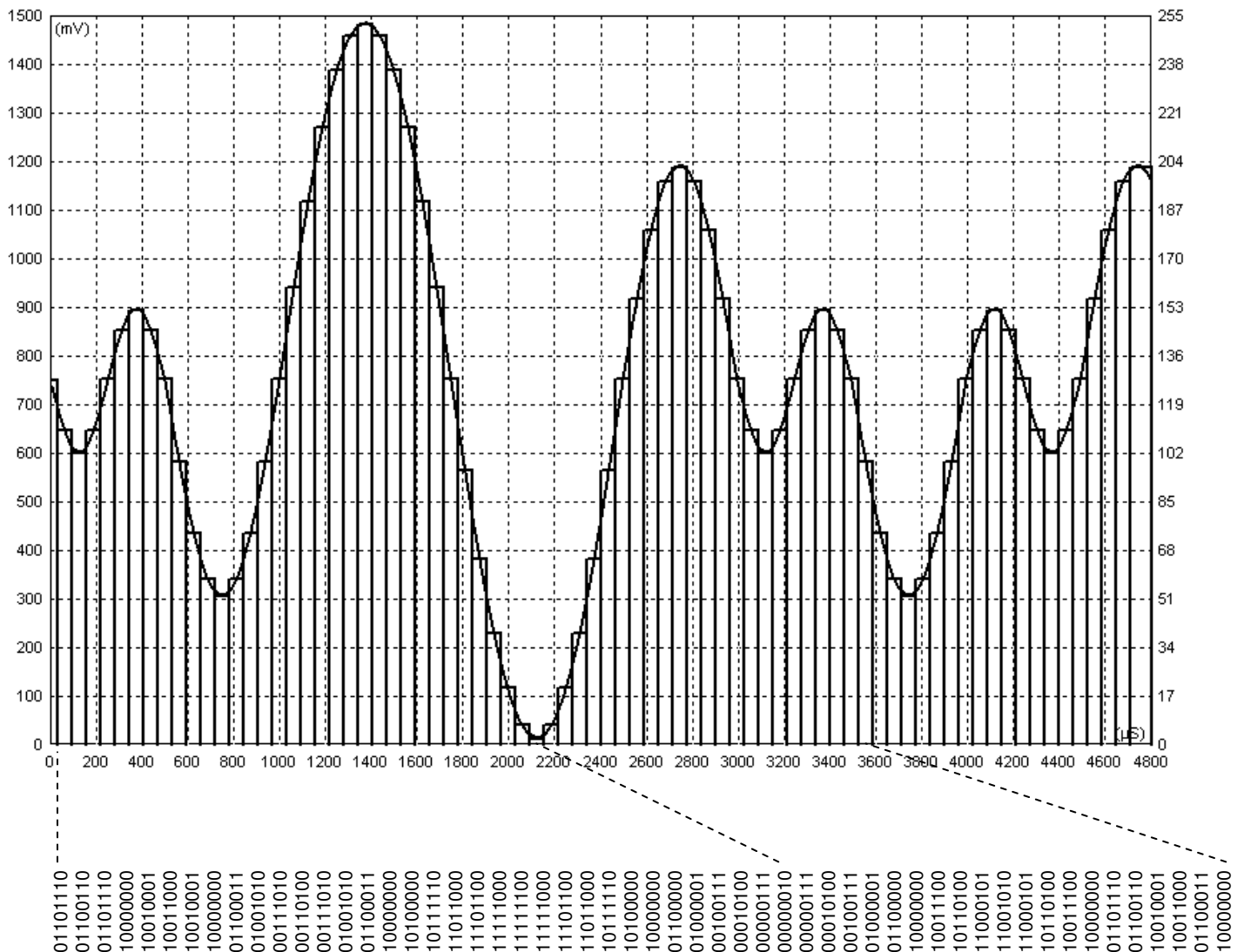
Signal numérique :

La numérisation de ce signal consiste à faire à **intervalles de temps réguliers** les opérations suivantes :

- Mesurer la valeur du signal (en volts)
- Convertir cette valeur en binaire (8 bits, 16 bits ou plus,)

Exemple pour 8 bits :

La TNT



Le signal numérique est donc une succession de 0 et de 1.

A2 - La télévision numérique :

En télévision numérique, les informations binaires du son et de l'image sont codées dans le format **MPEG**.

La norme **MPEG** est une Norme internationale qui traite de la compression, de la décompression, du traitement et de la représentation codée de l'image animée, du son et de leur combinaison.

Aujourd'hui, la transmission de la TNT se fait selon la norme **MPEG2** ou **MPEG4**.

La norme **MPEG2** a été utilisée dès le lancement de la TNT. Les chaînes ont diffusé dans un premier temps en définition standard (SD =720 x 576 lignes)

La norme **MPEG4**, utilisée ensuite par certaines chaînes, a permis de transmettre les émissions en haute définition. Ce nouveau standard HD 1920 x 1080 lignes (2 073 600 pixels) apporte un piqué 5 fois plus élevé que la définition standard (SD) en 720 x 576 lignes (414 720 pixels).

La TNT

A3 - Le DVB :

Le DVB (DVB = **D**igital **V**ideo **B**roadcasting) est une **norme européenne** de diffusion numérique pour la télévision, associée au format de compression MPEG-2. Le DVB utilise une transmission par paquets de données informatiques compressées.

Le **DVB-T** est l'application de la norme DVB aux transmissions terrestres. En France, ce système est utilisé par la TNT. La modulation **QAM** est utilisée.

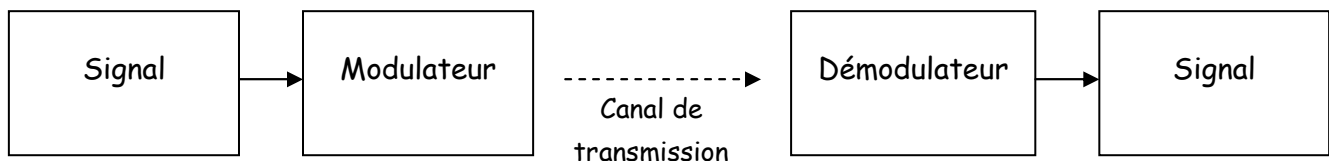
Le **DVB-S** est l'application de la norme DVB aux transmissions par satellite. La modulation **QPSK** est utilisée. Le lancement de la HD a entraîné l'arrivée d'un nouveau standard, le **DVB-S2** et d'un nouveau type de modulation, le **8PSK**.

B - La modulation

La modulation et la démodulation sont une étape dans la communication d'une information entre deux utilisateurs.

Par exemple, pour faire communiquer deux utilisateurs de courriels par une ligne téléphonique, un modulateur et un démodulateur sont nécessaires. La ligne téléphonique est le canal de transmission.

La modulation convertit les informations binaires issues des protocoles et des logiciels, en tension et courant dans la ligne. Le type de modulation employé doit être adapté d'une part au signal (dans ce cas numérique), aux performances demandées (taux d'erreur), et aux caractéristiques de la ligne.

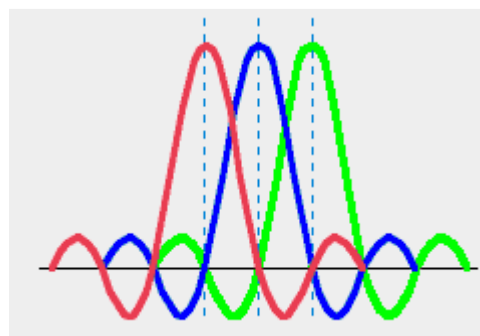


En TNT, le canal de transmission est un ensemble d'ondes électromagnétiques.

C - Principe de la modulation TNT terrestre - COFDM

La **COFDM** est une technique de modulation consistant à répartir le signal numérisé sur un grand nombre de porteuses orthogonales modulées individuellement à bas débit.

Outre une efficacité spectrale très proche de l'optimum, cette technique procure une excellente résistance au fading (évanouissement de fréquences).



Porteuses orthogonales

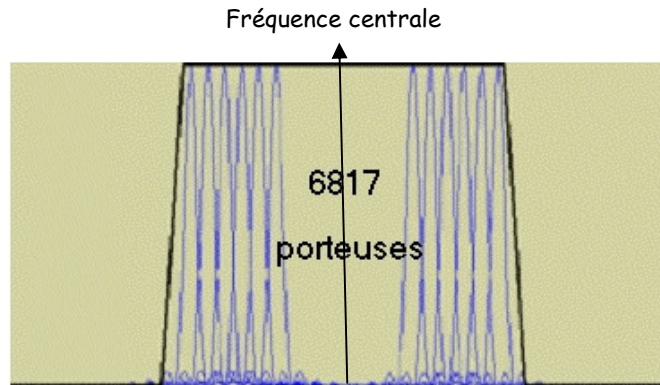
La TNT

Chaque porteuse est composée d'un nombre entier N de portions de sinusôides modulées en **QAM 64**.

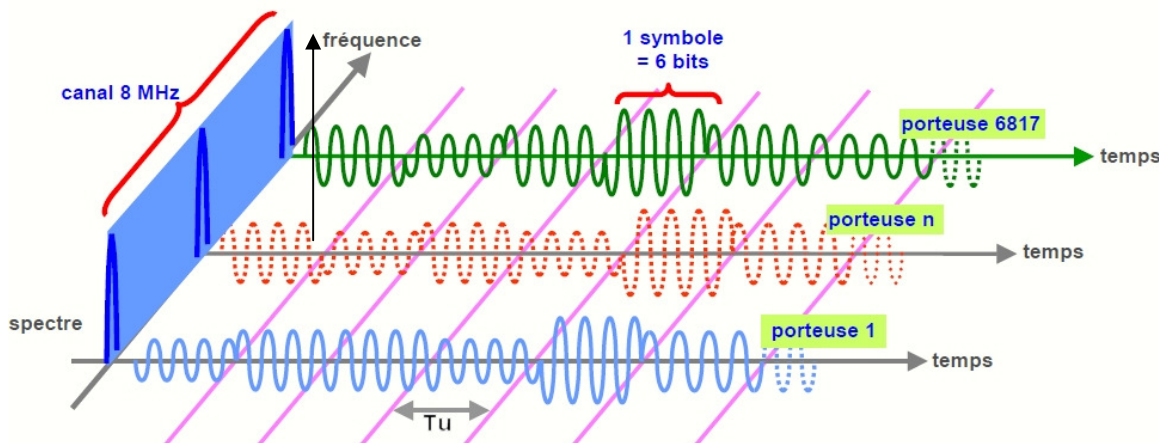
Le CSA a attribué en France des fréquences de transmissions (de ~450 à 850MHz ou canal de 21 à 69) pour les émissions de TNT.

A chaque canal correspond une **fréquence centrale** de transmission, par exemple 474 MHz pour le canal 21.

6817 porteuses orthogonales utiles sont réparties autour de la fréquence centrale

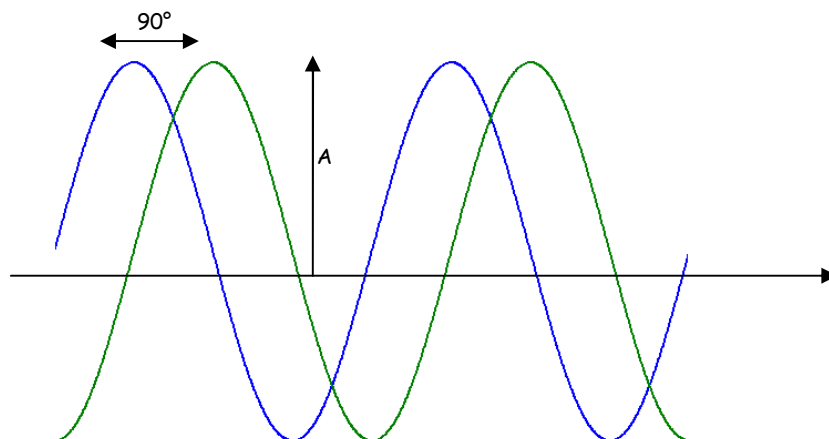


Chaque porteuse existe pendant une durée de temps T_u , les informations transportées par une porteuse (modulation **QAM**) varient donc en fonction du temps.



C1 - La modulation **QAM** (en anglais, **Quadrature Amplitude Modulation**)

Elle est largement employée par les modems pour leur permettre d'offrir des débits binaires élevés. La modulation **QAM** utilise deux ondes sinusoidales en quadrature :



La modulation **QAM** consiste à faire varier 2 grandeurs :

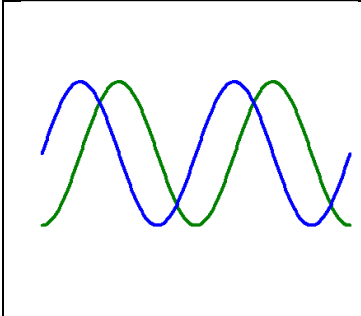
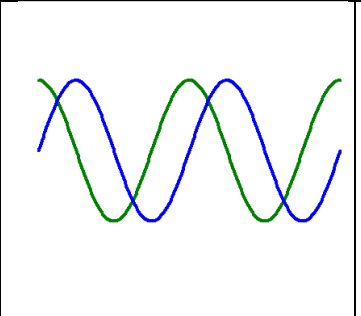
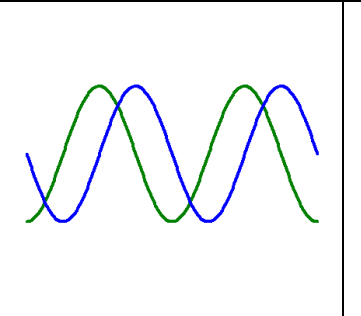
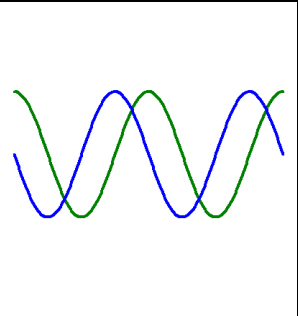
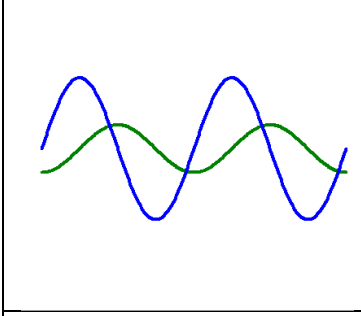
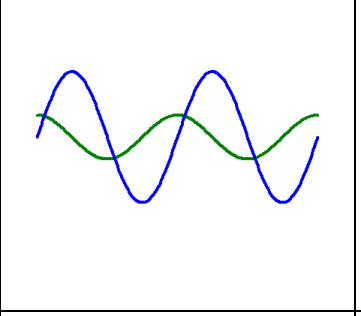
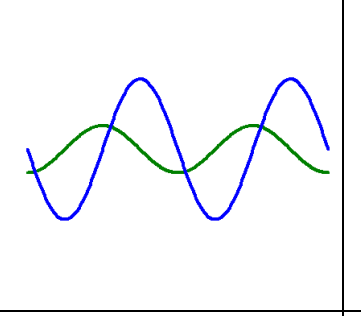
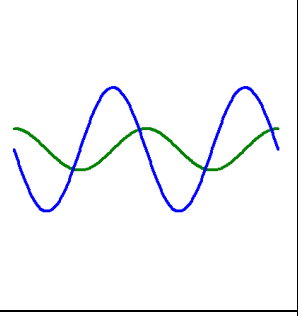
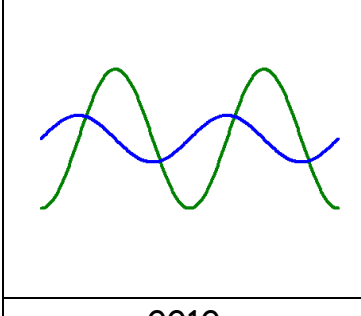
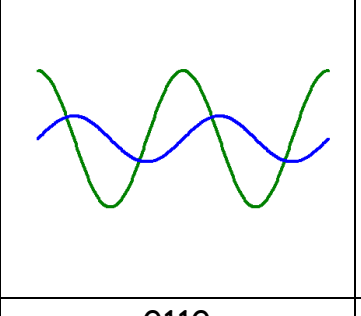
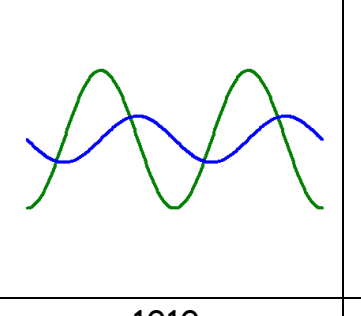
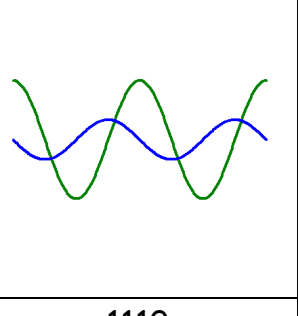
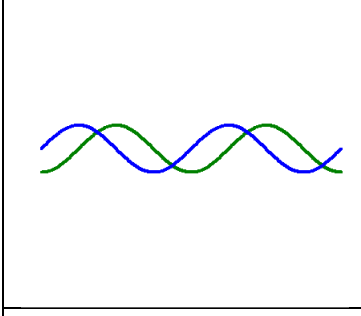
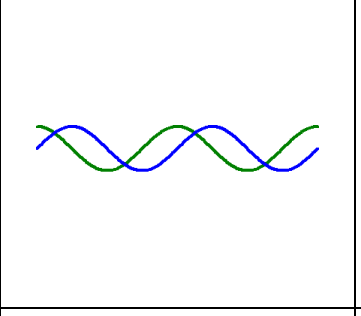
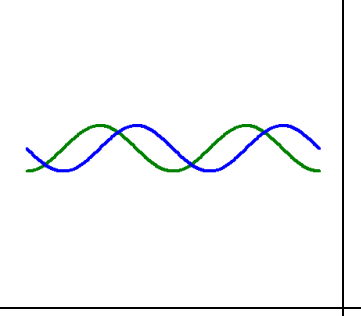
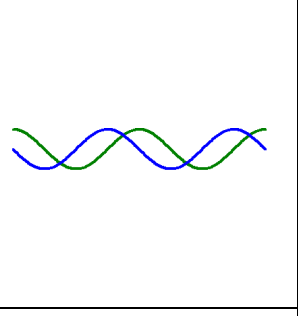
La TNT

- La phase de chaque onde
- L'amplitude A de chaque onde

Exemple : on donne les valeurs de 0 ou 180° à la phase de chaque onde et leur amplitude peut avoir pour valeur A ou A/2.

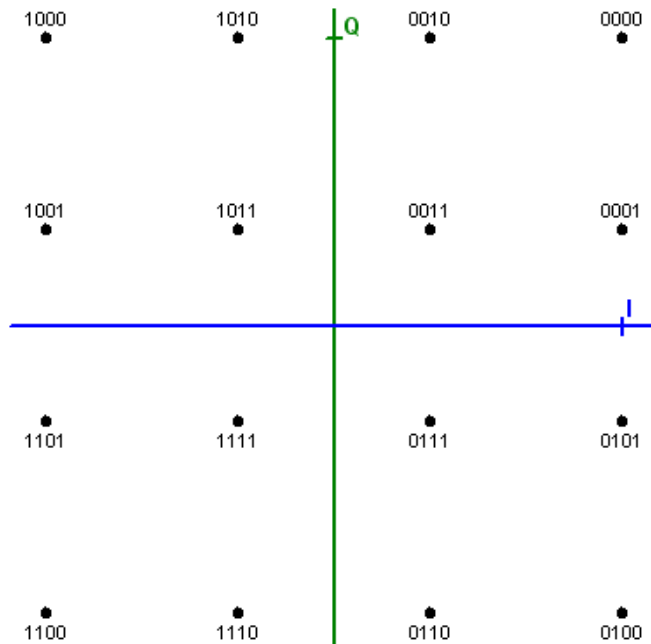
On obtient ainsi 16 combinaisons possibles, soit un codage sur 4 bits. Cette modulation s'appelle QAM 16 :

Modulation QAM 16 DVB-T

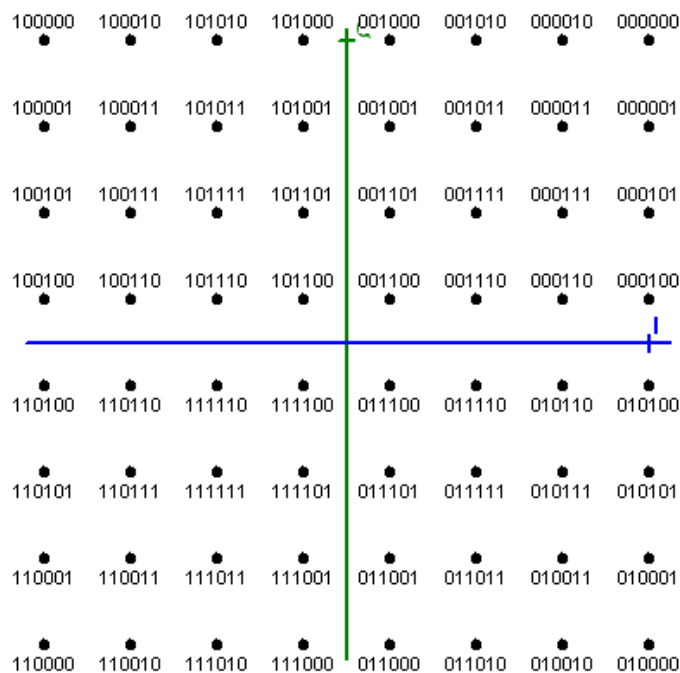
			
0000	0100	1000	1100
			
0001	0101	1001	1101
			
0010	0110	1010	1110
			
0011	0111	1011	1111

La TNT

L'ensemble des combinaisons d'amplitudes et de phases vu sur un diagramme en (x, y), est appelé constellation QAM :



En augmentant le nombre de valeurs d'amplitudes et de phases, on peut augmenter le nombre de bits à transporter pour deux ondes en quadrature. Ainsi, si l'on code sur 6 bits, on obtient $2^6 = 64$ combinaisons possibles d'où la constellation QAM 64 :



C2 - La modulation COFDM en France

En France, le CSA a défini :

- Modulation = QAM 64(6 bits)
- 6817 porteuses utiles
- durée d'un symbole OFDM = $896 \mu\text{s}$
- largeur du canal : 8MHz

La TNT

Le débit binaire est de $6817 \times 6(\text{bits}) = 40902$ bits en $896 \mu\text{s}$ soit environ 45 mégabits par seconde.

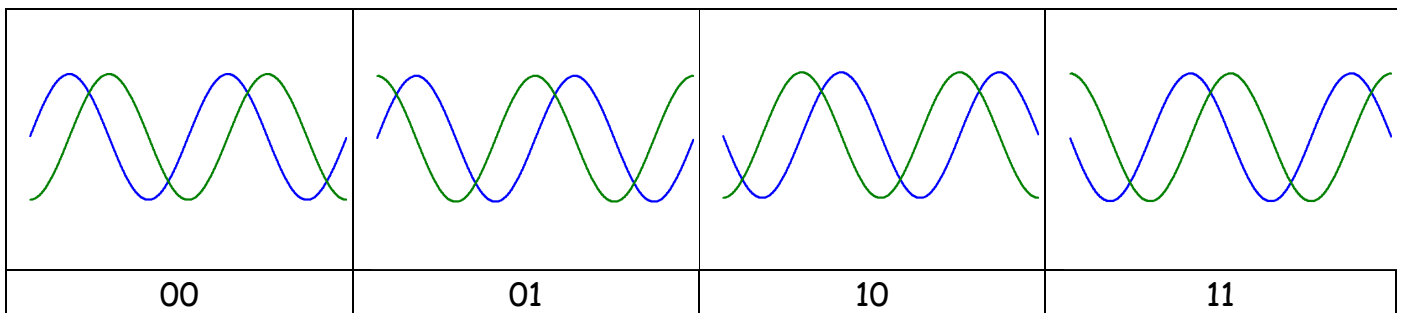
Un intervalle de garde (durée pendant laquelle aucune information n'est transmise, espace blanc) est inséré entre les symboles OFDM afin de s'affranchir des échos apparaissant lors de la transmission.

D - Principe de la modulation TNT satellite

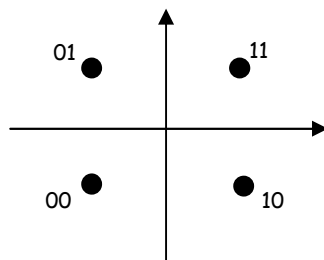
La modulation **QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying)** est utilisée. La modulation QPSK est très utilisée dans les transmissions satellites car elle permet d'obtenir un signal peu sensible aux interférences tout en conservant un débit correct.

Ces caractéristiques sont importantes, les signaux transmis par le satellite devant parcourir 36000km (satellite géostationnaire).

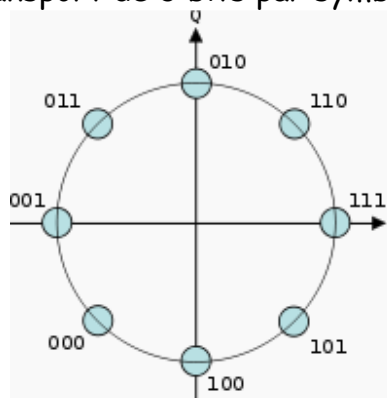
La modulation **QPSK** utilise deux ondes sinusoïdales en quadrature. La variation de leur propre phase de 0 ou 180° permet de transporter 2 bits :



Ces 4 symboles peuvent être représentés sous la forme d'un diagramme de constellation :



La modulation **8PSK** utilise le transport de 3 bits par symbole :



E - Correction des erreurs

Comme les transmissions sont du type « broadcast », le récepteur ne peut pas envoyer un message à l'émetteur pour dire :

« Je n'ai pas reçu le dernier message, pouvez-vous le retransmettre ? »

C'est pour cela qu'on utilise le **FEC (Forward Error Correction)**.

Il s'agit d'informations de correction d'erreurs diffusées en complément des informations signal. Elles permettent au récepteur de reconstituer le flot de bits si des pertes ou dégradation se produisent lors de la chaîne de diffusion.

Les circuits FEC correcteurs d'erreurs :

Les FEC utilisés avec la modulation OFDM sont composés de plusieurs systèmes de corrections d'erreurs dont 2 principaux :

- Le code de **VITERBI**
- Le codage **REED SOLOMON**

E1 - Le code de VITERBI

Le Code de Viterbi (Code Rate) est symbolisé par une fraction.

C'est un code convolutif qui permet de lier un bit à un ou plusieurs bits précédents de sorte à pouvoir retrouver sa valeur en cas de problème.

La fraction définit, dans un débit symbole donné, le rapport entre les données signal et les informations de corrections d'erreurs.

Exemple 2/3 :

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

E2 - Le codage de REED SOLOMON

Il s'agit là d'un rajout d'informations d'origine mathématique lors de la diffusion.

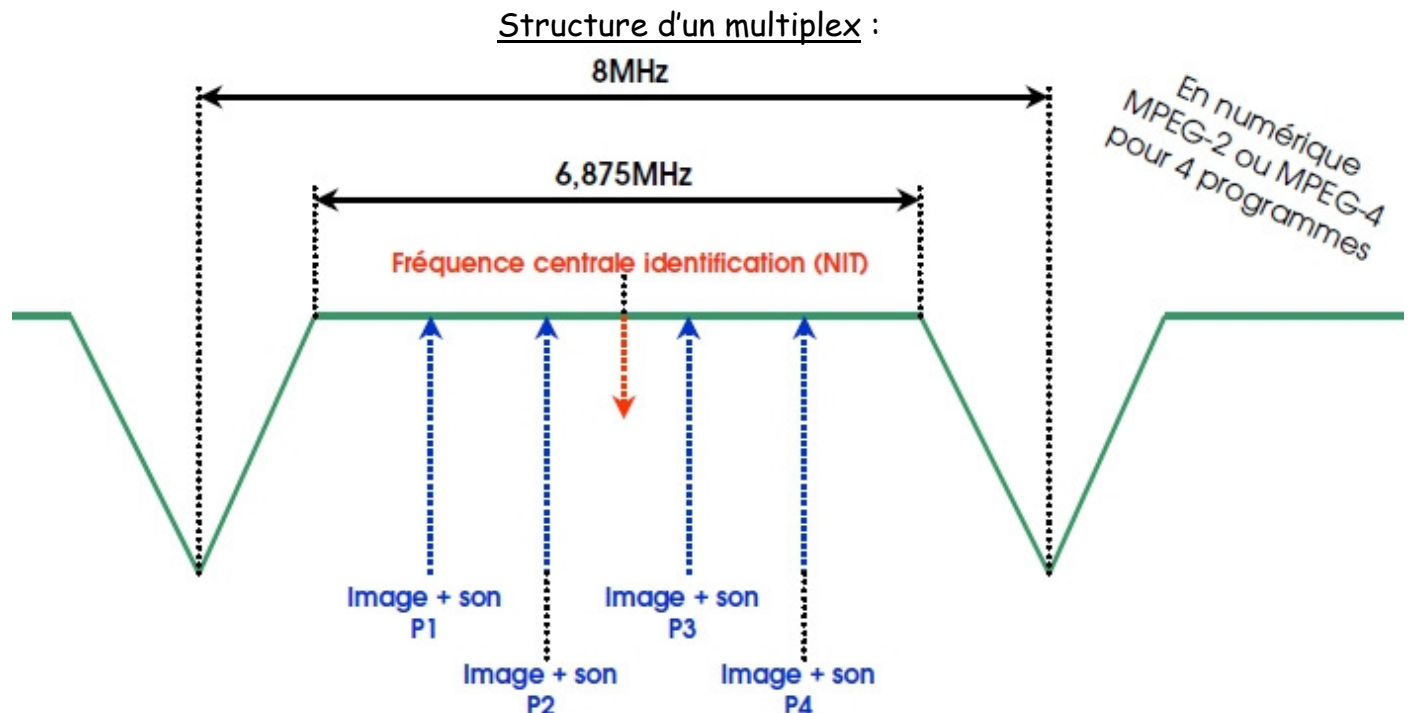
Une protection supplémentaire est réalisée par l'entrelacement des flux de données pour éviter qu'un bruit intempestif ne vienne interrompre le flux.

* Voir le document annexe pour les matheux...

La TNT

F - La diffusion de la TNT terrestre

La modulation COFDM autorise un débit d'environ 45 mégabits par seconde. Ce débit permet de transmettre par multiplexage 5 à 6 chaînes SD.



Les multiplexes sont nommés R1, R2, R3, R4, R5, R6 :

R1	R2	R3	R4	R5	R6
France 2	i>télé	Canal + HD	M6	TF1 HD	TF1
France 3	BFM TV	Canal + cinéma	W9	France 2 HD	LCI
France 5	Direct 8	Canal + sport	Paris première	M6 HD	Eurosport
France Ô	Gulli	Planète	NT1	-	NRJ 12
LCP	Virgin 17	TPS Star	Arte HD	-	TMC
Chaîne locale**	France 4	-	-	-	TF6
-	-	-	-	-	Arte

G - La diffusion de la TNT par satellite

C'est le dispositif technique qui est censé permettre à 5% de la population de recevoir les programmes de la TNT gratuite avant l'arrêt de la diffusion analogique.

Cette offre nécessite tout de même l'achat d'un terminal et d'une carte de décryptage.

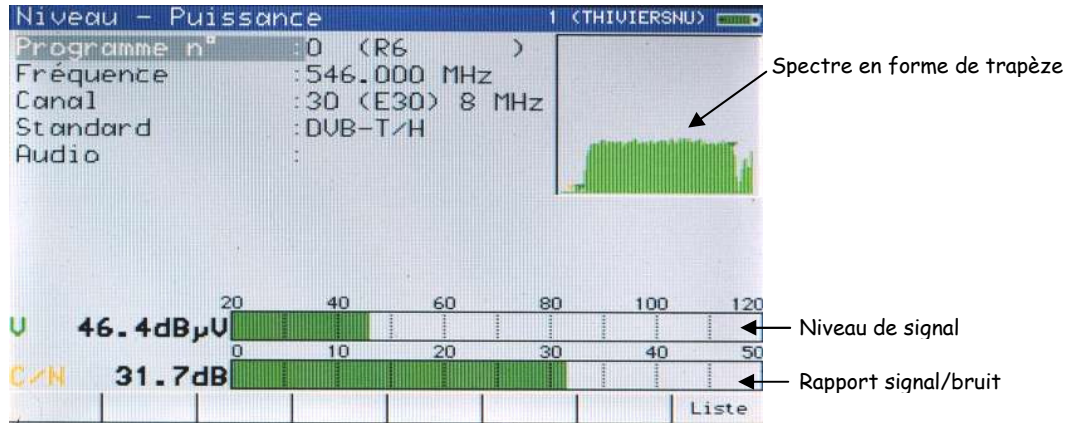
La TNT gratuite par satellite est diffusée par **Astra 1** et **Atlantic Bird 3**.

La TNT

H - Les mesures à faire en TNT terrestre

H1 - Pointage de l'antenne

Le pointage se fait en recherchant le maximum de niveau du signal et en vérifiant que la forme du spectre de chaque multiplex possède bien une forme caractéristique trapézoïdale.



Pour donner un ordre de grandeur, ci-dessous un tableau appelé « échelle de Nueffer », du nom d'un auteur vulgarisateur en télévision :

Niveau	Observations signal numérique
> 60 dBμV	Satisfaisant
55 dBμV	Satisfaisant
50 dBμV	Minimum recommandé
45 dBμV	Minimum souhaitable
40 dBμV	Niveau acceptable
35 dBμV	Dysfonctionnement possibles en limite, mosaïque, gels
30 dBμV	Dysfonctionnements avérés
25 dBμV	Écran noir
20 dBμV	Écran noir
15 dBμV	Écran noir

Si le niveau du signal à proximité de l'antenne (1 à 3 mètres) se situe autour de 30, 35dBμV, il est souvent nécessaire d'ajouter un amplificateur d'antenne. En dessous de ce seuil, l'ajout d'un amplificateur n'apportera rien car le signal sera noyé dans le bruit.

Pour augmenter le niveau du signal, on peut :

- Elever l'antenne
- Utiliser une antenne ayant un gain plus important (utiliser une antenne comportant un nombre plus important d'éléments) :

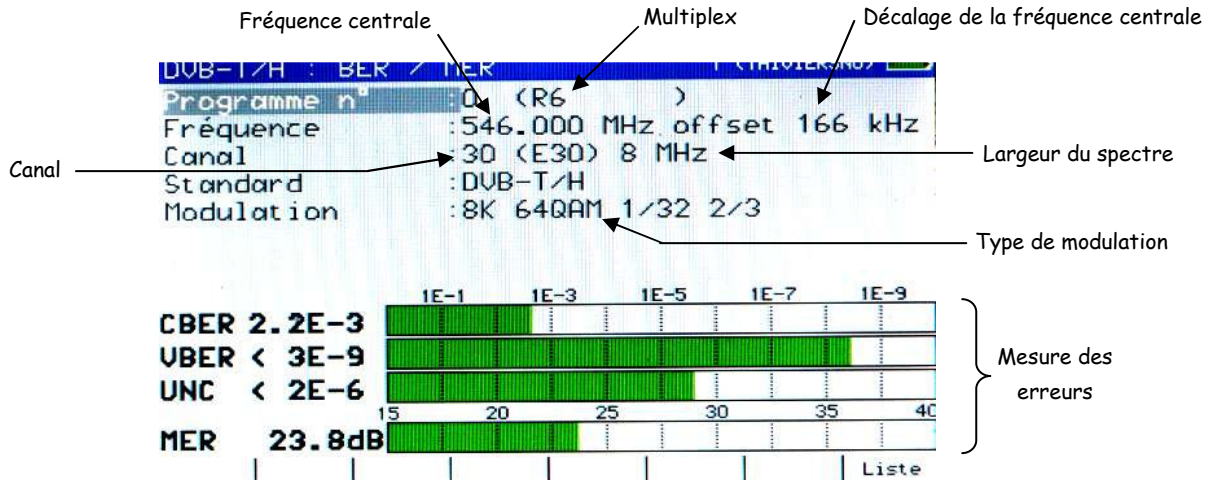
Elemente				
Elements	16	24	28	41
Eléments				
Gewinn max.				
Max. Gain	dB	11	13	13
Gain max.				16,5

(source : antennes WISI)

La TNT

H2 - Mesures des erreurs dues au canal de transmission

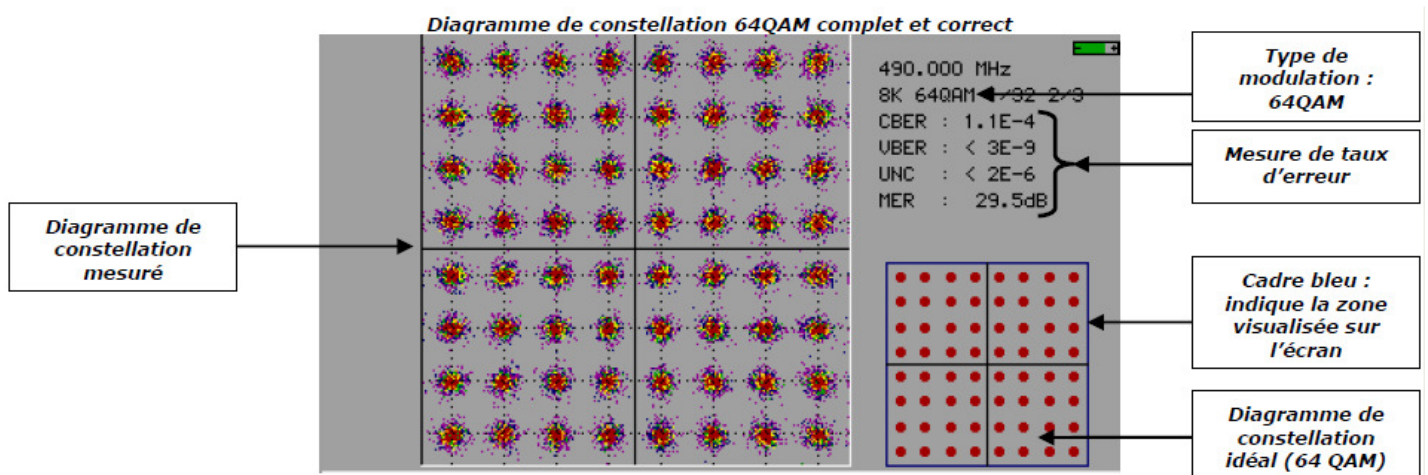
Le mesureur de champ panoramique donne une indication sur les erreurs :



- **CBER** : mesure faite avant les systèmes de correction. Elle est directement liée à la qualité de la transmission et varie à la moindre modification.
Il doit être inférieur à 10⁻³
- **UBER** : mesure effectuée après le décodeur de Viterbi.
Ordre de grandeur : 1.00 E-4 à 1.00 E-8
- **UNC** : nombre de paquets perdus après le décodeur de Reed Solomon :
Il doit être pratiquement nul (< 1.00 E-6) pour que le signal utile ne soit pas dégradé.
- **MER** (taux d'erreur de modulation) : mesure de C/N en démodulation numérique :
Il doit être au minimum de 26dB.

H3 - Affichage de la constellation

Certains mesureurs de champ permettent l'affichage de la constellation. Ce diagramme donne de précieuses indications sur la qualité de la transmission :



(source de l'image : SEFRAM)

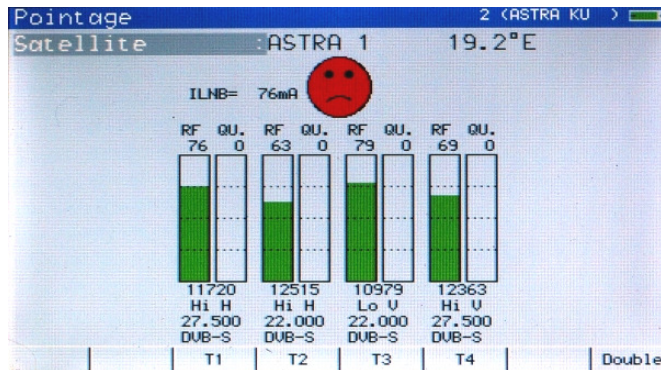
La TNT

I - Les mesures à faire en TNT satellite

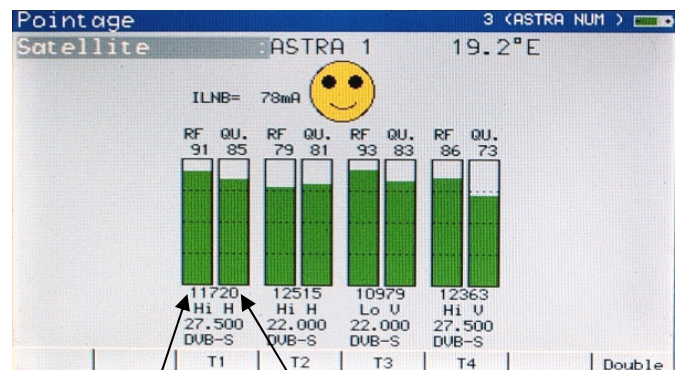
I1 - Pointage de la parabole

Le pointage se fait en utilisant un mesureur de champ panoramique et en évaluant au moins 4 transpondeurs (* voir document annexe) :

Pointage incorrect



Pointage correct

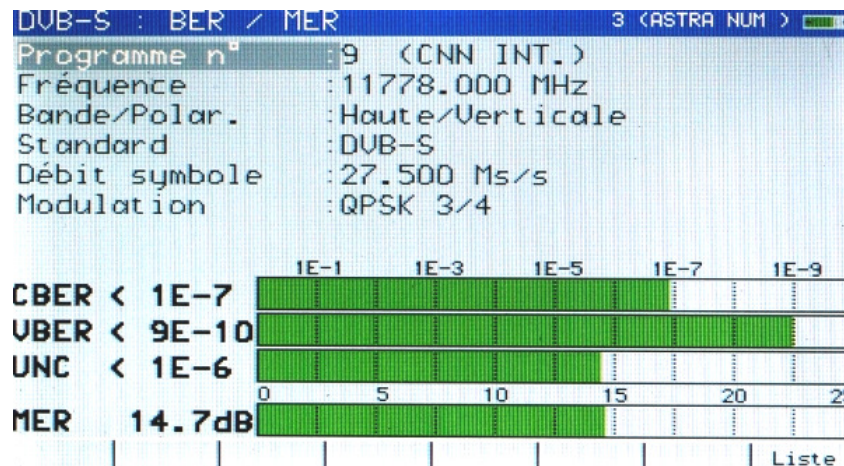


Niveau du signal

Qualité du signal

I2 - Mesures des erreurs dues au canal de transmission

Le mesureur de champ panoramique donne une indication sur les erreurs :

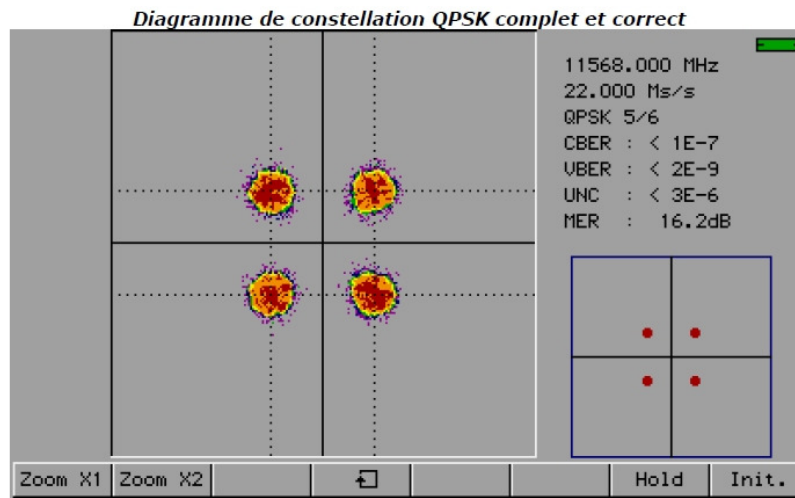


- **CBER** (taux d'erreur avant la correction de Viterbi) :
il doit être inférieur à $1.00 \text{ E-}10$ (soit une information perdue pour 10 milliards d'informations transmises).
- **VBER** (taux d'erreur après la correction de Viterbi) :
il doit être inférieur à $1.00 \text{ E-}10$ (soit une information perdue pour 10 milliards d'informations transmises).
- **UNC** (nombre de paquets perdus) doit être nul.
- **MER** (taux d'erreur de modulation) doit être supérieur à 8dB

La TNT

I3 - Affichage de la constellation

Certains mesureurs de champ permettent l'affichage de la constellation. Ce diagramme donne de précieuses indications sur la qualité de la transmission :



(source de l'image : SEFRAM)

La TNT

Documents annexes

Le codage de REED SOLOMON

Imaginons un bloc de 6 octets de long et que l'on transmet: 02 09 12 05 07 08

On ajoute deux octets de redondance.

Le premier est la somme des 6 octets (=43)

Le deuxième est la somme pondérée des 6 octets :

chaque octet est multiplié par son rang : $2*1 + 09*2 + 12*3 + 5*4 + 7*5 + 8*6$ soit 159.

A la sortie du codeur le bloc devient : 02 09 12 05 07 08 43 159

Suite à une perturbation , le récepteur reçoit le bloc : 02 09 12 08 07 08 43 159

Le décodeur fait la somme simple $02+09+12+08+07+08 = 46$

et la somme pondérée $2*1 + 9*2+12*3+8*4+7*5+8*6 = 171$

La différence des sommes simples (46 - 43) donne la valeur de l'erreur (=3)

et la différence des sommes pondérées divisée par l'erreur est égale à au rang de l'erreur $((171-159)/3=4)$. Il faut donc retirer 3 à l'octet de rang 4

Sans erreur de transmission, la différence des sommes simples et sommes pondérées est nulle dans les 2 cas

Transpondeur satellite

Un transpondeur satellite comme un multiplex de la TNT peut contenir plusieurs programmes TV. Ces différents programmes doivent se partager la ressource de ce transpondeur ou multiplex.

Exemple : transpondeur de France TV disponible sur AB3 qui diffuse les chaînes publiques de la TNT.

Débit max du transpondeur :

Le transpondeur est sur la fréquence 11591Mhz Vertical, Symbol rate de 19636, FEC 2/3

Le débit max de ce transpondeur (comme pour le multiplex TNT) est de : $19636 \times 2 \times 2/3 \times 188/204 = 24,127 \text{ Mb/s}$

Le coefficient 188/204 est lié à l'utilisation de l'encodage Reed Solomon

Nombre de services transmis sur ce transpondeur:

6 services : France2, France3, France4, France5, Arte, LCP.

Associés à ces services, on trouve 7 canaux audio à 192kb/s (1 canal par chaîne, sauf Arte qui à 2 canaux).

Le total de débit pris par les canaux audio est de $7 \times 192 \text{ kb/s} = 1.344 \text{ Mb/s}$

On considère également autour de 700 kb/s de données annexes (tables DVB , EPG ...)

transmises dans le multiplex.

Il reste donc pour la vidéo des 6 chaînes : $24.1 - 1.3 - 0.7 = 22 \text{ Mb/s}$ environ