

Bastien Labeste

Robin Kwiatkowski

Irwin Duprez-Bourgneuf

Quentin Chambelland

Saé 31- Transmissions

Les systèmes de diffusion de télévision

UCA/IUT/BUT 2/S3

Compte-rendu



Figure 1– Antenne d'émission, puy de Dôme

Le but de cette saé est d'étudier en théorie et en pratique les caractéristiques de la diffusion de la télévision par satellite et par faisceau hertzien.

1.Travail en séance 1 non encadrée - Préparation des TPs - (temps estimé : 3h)

1.1 Préparation du TP 1- La télévision numérique par satellite

Partie 1.2.1 Codage de canal TV numérique :

1)

D'après la figure 1.2, le bloc Reed-Solomon transforme 188 octets en 204 octets donc :

$$\text{Taux Reed-Solomon} = 188/204 \sim 0.92$$

Ensuite, le « code mère » convolutif est de taux 1/2 (chaque bit en entrée produit 2 bits en sortie).

--> le poinçonnage garde 3 bits sur 4 en sortie.

Donc, pour 4 bits en entrée du code convolutif : on obtient 8 bits à la sortie (taux 1/2), on supprime 2 bits (1 sur 4),

On en garde donc 6.

Le taux effectif du codage convolutif avec poinçonnage est donc = 4 (bits en entrée) / 6 (bits en sortie) = 2/3 ~ 0.67

Enfin, le taux global est le produit des 2 = $188/204 * 2/3 = 94/153 \sim 0.614$ soit 61.4%.

Partie 1.2.2 Codage convolutif :

1) Représentation d'un additionneur modulo 2 à 3 entrées :

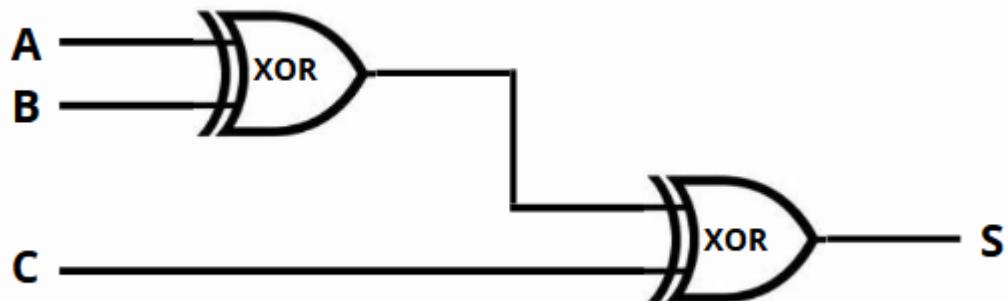


Table de vérité d'un additionneur modulo 2 à 3 entrées :

A	B	C	S
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

2)

1. Entrée = 0, état = (0,0)

$$\rightarrow X = 0 + 0 + 0 = 0,$$

$$\rightarrow Y = 0 + 0 = 0$$

$$\rightarrow (00)$$

2. Entrée = 1, état = (0,0)

$$\rightarrow X = 1 + 0 + 0 = 1,$$

$$\rightarrow Y = 1 + 0 = 0$$

$$\rightarrow (11)$$

...

15. Entrée = 1, état = (0,0)

$$\rightarrow X = 1 + 0 + 0 = 1,$$

$$\rightarrow Y = 1 + 0 = 0$$

$$\rightarrow (11)$$

Ainsi, on obtient à la fin :

$$(00)(11)(10)(00)(01)(10)(01)(11)(11)(10)(00)(10)(11)(00)(11)$$

3) (171)₈ :

$$(1) 8 \rightarrow (001)2$$

$$(7) 8 \rightarrow (111)2$$

$$\text{Soit } (171)_8 = (001\ 111\ 001)_2 = (1\ 111\ 001)_2$$

(133)₈ :

$$(1) 8 \rightarrow (001)2$$

$$(3) 8 \rightarrow (011)2$$

Soit $(133)_8 = (001\ 011\ 011)_2 = (1\ 011\ 011)_2$

4) $M = 8$ ce qui signifie qu'il va y avoir 8 bascules donc constraint length = 9
car $x_0 + 8$

Si on prend $(171)_8 = (1\ 111\ 001)_2$, en lisant de gauche à droite on obtient :

$b_8 = 0, b_7 = 0, b_6 = 1, b_5 = 1, b_4 = 1, b_3 = 1, b_2 = 0, b_1 = 0, b_0 = 1.$

Le polynôme qui correspond est donc :

$$G_1(D) = D^6 + D^5 + D^4 + D^3 + 1$$

Si on prend $(133)_8 = (1\ 011\ 011)_2$, en lisant de gauche à droite on obtient :

$b_8 = 0, b_7 = 0, b_6 = 1, b_5 = 0, b_4 = 1, b_3 = 1, b_2 = 0, b_1 = 1, b_0 = 1.$

Le polynôme qui correspond est donc :

$$G_2(D) = D^6 + D^4 + D^3 + D^1 + 1$$

Ainsi, on peut en conclure que la structure [171,133], $M=8$ désigne un code convolutif à 9 bits de contrainte : l'entrée x_0 plus 8 bits de mémoire avec :

- La première sortie (associée au polynôme 171) qui active les taps x_0, x_3, x_4, x_5, x_6
- La deuxième sortie (associée au polynôme 133) qui active les taps x_0, x_1, x_3, x_4, x_6

Chaque cycle générant deux bits de sortie, un pour chaque polynôme.

1.2 Préparation du TP 2- La télévision numérique terrestre

Partie 2.2 Préparation :

1) 64-QAM --> $\log_2(64) = 6$

Il y a 6817 porteuses utiles par symbole OFDM.

Ainsi, un symbole OFDM = $6 * 6817 = 40902$ bits.

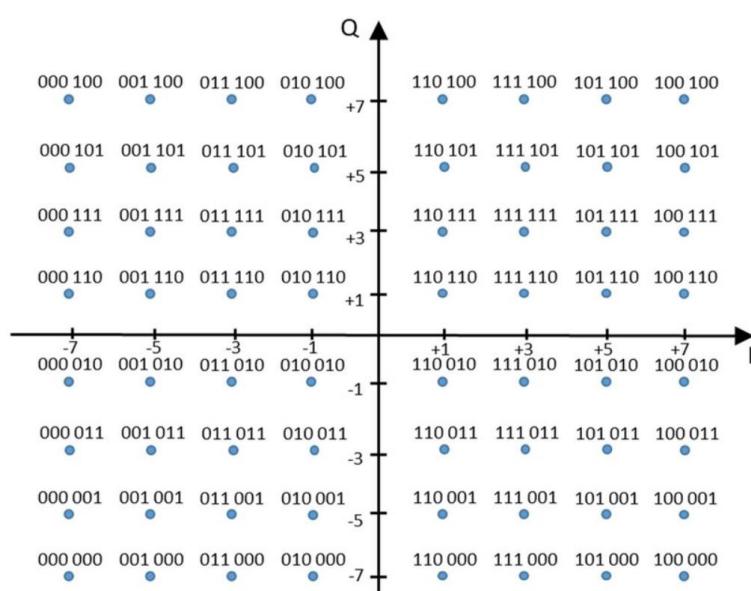
On sait aussi que chaque symbole OFDM dure 896 μ s donc :

Débit (bits/s) = $40902 / (896 * 10^{-6}s) \sim 45.66 * 10^6$ bits/s ~ 45.7 Mbit/s

On peut aussi trouver le temps correspondant à 1 bit :

Tbit = $(896 * 10^{-6}s) / 40902 \sim 2.19 * 10^{-8}s = 21.9$ ns

2) Diagramme de constellation du 64-QAM :



$$3) T_0 = 1/f_0 = 1/666 \times 10^6 \sim 1.50 \times 10^{-9} \text{ s}$$

Un symbole OFDM dure toujours 896 μs donc :

$$T_{\text{symbole}} = 896 \times 10^{-6} = 8.96 \times 10^{-4}$$

$$T_0 / T_{\text{symbole}} = 1.50 \times 10^{-9} / 8.96 \times 10^{-4} \sim 1.67 \times 10^{-6}$$

On peut en conclure que en 1 période de la porteuse, on peut transmettre 1.67×10^{-6} symbole.

4) On suppose I = 011 et Q = 100 ;

Puis, on associe chaque groupe de 3 bits à l'une des 8 amplitudes possibles (de -7 à +7) :

$$000 \rightarrow -7$$

$$001 \rightarrow -5$$

$$011 \rightarrow -3$$

$$010 \rightarrow -1$$

$$110 \rightarrow 1$$

$$111 \rightarrow 3$$

$$101 \rightarrow 5$$

$$100 \rightarrow 7$$

Avec ça on convertit I et Q pour obtenir leurs amplitudes :

$$I = -3$$

$$Q = 7$$

$$A_{\text{tot}} = \sqrt{I^2 + Q^2} = \sqrt{(-3)^2 + 7^2} = \sqrt{58} \sim 7.62$$

Ensuite, on peut mesurer l'angle θ par rapport à l'axe +I :

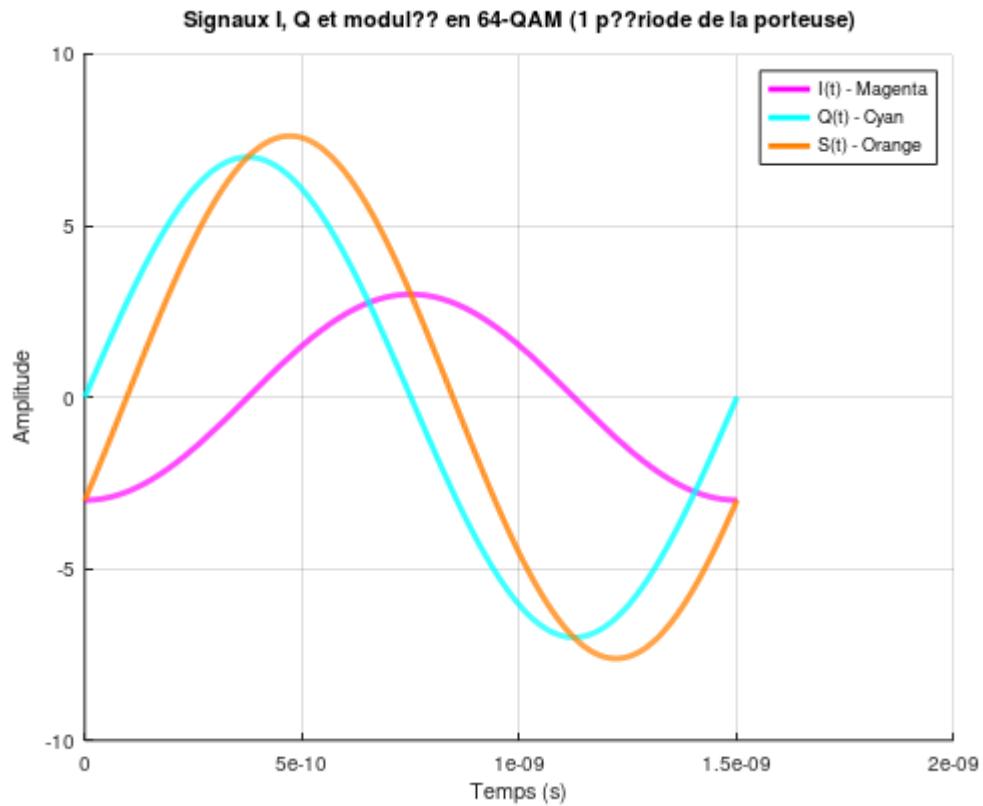
$$\tan(\theta) = Q/I = 7/(-3) \sim -2.33$$

Comme I est négatif et Q est positif, le point se situe dans le 2e quadrant : $\theta \sim 180^\circ - \arctan|7/3| \sim 180^\circ - 66.8^\circ = 113.2^\circ$

5) code Matlab :

```
1 f0 = 666e6; % Fréquence porteuse (666 MHz)
2 T0 = 1 / f0; % Période de la porteuse (1.50 ns)
3
4
5
6 t = linspace(0, T0, 1000);
7
8
9 I = -3 * cos(2 * pi * f0 * t);
10 Q = 7 * sin(2 * pi * f0 * t);
11
12 % Signal modulé combiné
13 S = I + Q;
14
15 % Tracé des signaux
16 figure;
17 hold on;
18 plot(t, I, 'm', 'linewidth', 2); % Signal I(t)
19 plot(t, Q, 'c', 'linewidth', 2); % Signal Q(t)
20 plot(t, S, 'color', [1, 0.5, 0], 'linewidth', 2); % Signal S(t)
21
22 % Perso du graphique
23 xlabel('Temps (s)');
24 ylabel('Amplitude');
25 title('Signaux I, Q et modulé en 64-QAM (1 période de la porteuse)');
26 legend('I(t) - Magenta', 'Q(t) - Cyan', 'S(t) - Orange', 'location', 'northeast');
27 grid on;
28 hold off;
```

Représentation des signaux :

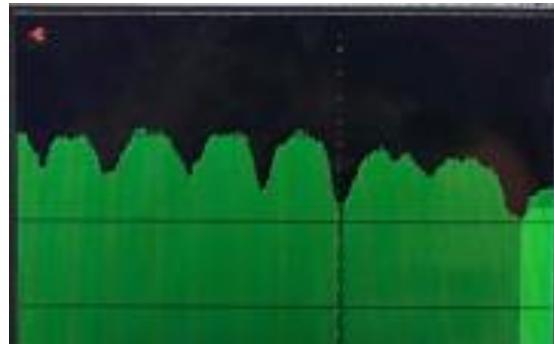


2.Travail séances 1 et 2 encadrées - (temps estimé : 6h)

2.1 Manipulation du TP 1- La télévision numérique par satellite

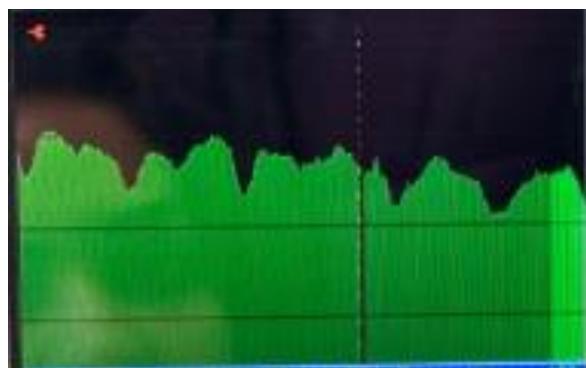
Partie 1.3.3 Etude des spectres :

3)



Le réglage de la tension du LNB permet de sélectionner la polarisation : 13 V pour la verticale et 18 V pour l'horizontale. Cela permet de capturer le bon ensemble de signaux et d'éviter les interférences.

4)



Le spectre se présente sous forme de pics correspondant aux porteuses. En passant de 13 V à 18 V, on observe une modification de l'intensité et parfois de la forme des pics, ce qui montre que la polarisation influence la réception du signal.

5) On constate que les chaînes analogiques se situent entre 10,7 et 11,7 GHz, tandis que les bouquets numériques commencent à 11,7 GHz. On en déduit que le traitement numérique démarre à partir de 11,7 GHz.

6) 40MHz

Partie 1.3.4 Mesure de rapport signal à bruit :

1) Le rapport signal à bruit compare la puissance du signal utile au bruit ambiant. Un rapport élevé signifie que le signal se distingue bien du bruit.

3) C/N signifie « Carrier-to-Noise », c'est-à-dire le rapport entre la porteuse et le bruit, exprimé en décibels (dB).

4) En mesurant la valeur de C/N sur trois bouquets, on remarque que les valeurs restent dans une plage indiquant une bonne qualité de réception, malgré quelques variations dues aux conditions de réception :

Bouquet 1 : 10967 MHz --> 12,2 dB

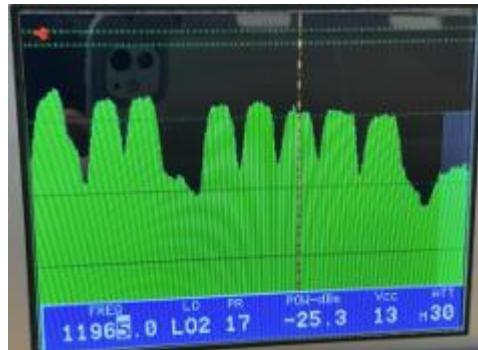
Bouquet 2 : 10997MHz --> 10,7 dB

Bouquet 3 : 11057 MHz --> 11,7 dB

Partie 1.3.5 Mesure de puissance :

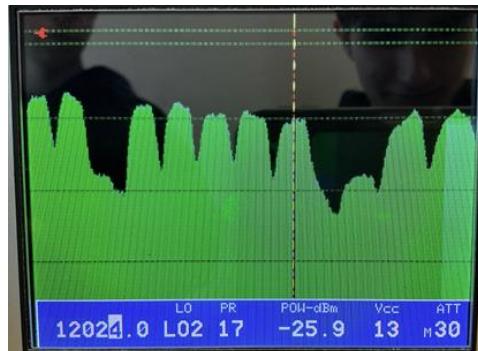
1)

Bouquet 1 :



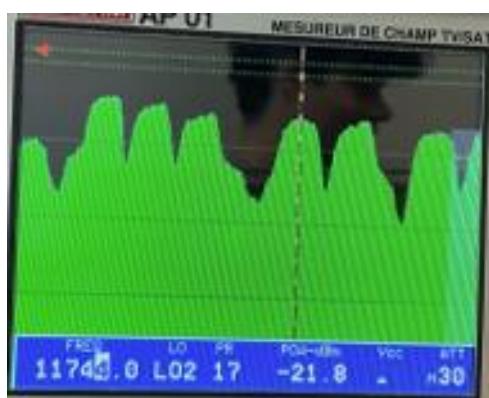
- Fréquence centrale : 11965 MHz
- Puissance : -25,3 dBm
- Fréquence minimale (fmin) : 11952 MHz
- Fréquence maximale (fmax) : 11974 MHz
- Largeur de bande : 23 MHz

Bouquet 2 :



- Fréquence centrale : 12024 MHz
- Puissance : -25,9 dBm
- fmin : 12012 MHz
- fmax : 12032 MHz
- Largeur de bande : 20 MHz

Bouquet 3 :



- Fréquence centrale : 11744 MHz
- Puissance : -22 dBm
- fmin : 11731 MHz
- fmax : 11752 MHz
- Largeur de bande : 21 MHz

2)

On constate que la puissance du troisième bouquet (-22 dBm) est légèrement plus élevée que celles des deux autres (-25,3 et -25,9 dBm). De plus, les largeurs de bande mesurées (20 à 23 MHz) sont cohérentes avec les valeurs habituelles pour un transpondeur satellite. Enfin, de légères variations de puissance et de largeur de bande peuvent s'expliquer par la configuration du satellite, la polarisation ou encore le pointage de la parabole.

Partie 1.3.6 Mesure du taux d'erreur :

1) Mesures pour 3 autres bouquets numériques :

Bouquet 1 :

- **Fréquence centrale** : 12.482 GHz
- **CH BER** : 6.10×10^{-5}
- **pV BER** : 0×10^{-8}
- **RU** : 0

Bouquet 2 :

- **Fréquence centrale** : 12.560 GHz
- **CH BER** : 4.85×10^{-4}
- **pV BER** : 0×10^{-8}
- **RU** : 0

Bouquet 3 :

- **Fréquence centrale** : 12.620 GHz
- **CH BER** : 5.33×10^{-5}
- **pV BER** : 0×10^{-8}
- **RU** : 0

○

2) Analyse et conclusion :

On remarque que le **bouquet 2 (12.560 GHz)** affiche un **CH BER plus élevé (4.85×10^{-4})** par rapport aux deux autres. Cela indique une plus forte présence d'erreurs avant correction, probablement due à des perturbations du signal, telles qu'une atténuation plus marquée ou des interférences.

Cependant, après passage par les **décodeurs de Viterbi et de Reed-Solomon, toutes les erreurs sont corrigées**, comme le montrent le **pV BER à 0×10^{-8}** et le **RU à 0** sur l'ensemble des bouquets.

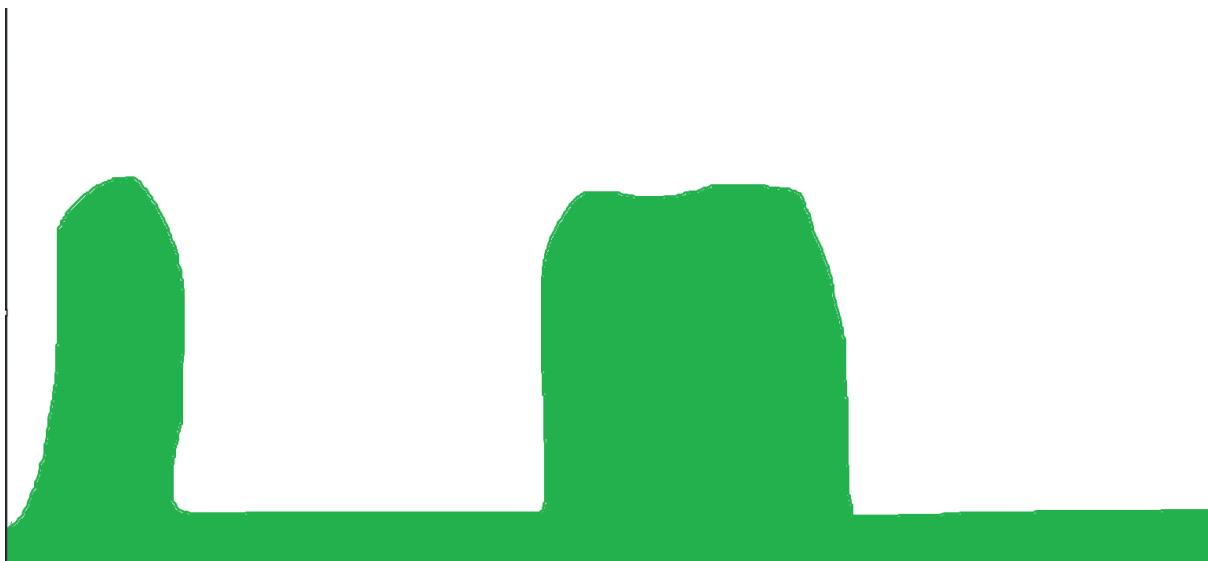
Ainsi, malgré des différences dans le taux d'erreur brut (**CH BER**), la correction d'erreurs permet d'obtenir un **signal final sans altération**, garantissant une réception optimale des chaînes de télévision.

2.2 Manipulation du TP 2- La télévision numérique terrestre

Partie 2.3.2 Etudes des spectres :

1) On observe que le mesureur détecte automatiquement la bande UHF, qui s'étend de 470 MHz à 694 MHz (dans la norme TNT actuelle).

2)



3) En zoomant sur le spectre d'un bouquet numérique, on mesure une largeur d'environ 10 MHz. Cette valeur est supérieure à la largeur théorique de 8 MHz, ce qui peut s'expliquer par les caractéristiques des filtres de transmission et les marges techniques intégrées dans le système.

Partie 2.3.3 Etude des canaux (p. 36) :

2) On constate qu'il y a 4 paramètres disponibles dans le menu, mais seulement 2 nous intéressent :

1. Recherche canal : permet d'effectuer la recherche d'un canal donné.
2. Table C. : correspond au plan de fréquences de référence.

Partie 2.3.4 Mesure de rapport signal à bruit C/N (p. 23) :

1) Le rapport signal sur bruit (SNR ou C/N) correspond à la mesure de la puissance du signal utile comparée à celle du bruit dans un système de communication. Il s'exprime en décibels (dB).

5)

- Bouquet à 648,00 MHz : C/N = 28,2 dB

- Bouquet à 506,00 MHz : C/N = 35,8 dB
- Bouquet à 482,00 MHz : C/N = 34,6 dB

Plus le C/N est élevé, meilleure est la qualité du signal. Ici, le meilleur canal est celui à 506,00 MHz (35,8 dB). On constate aussi que le C/N varie selon la fréquence.

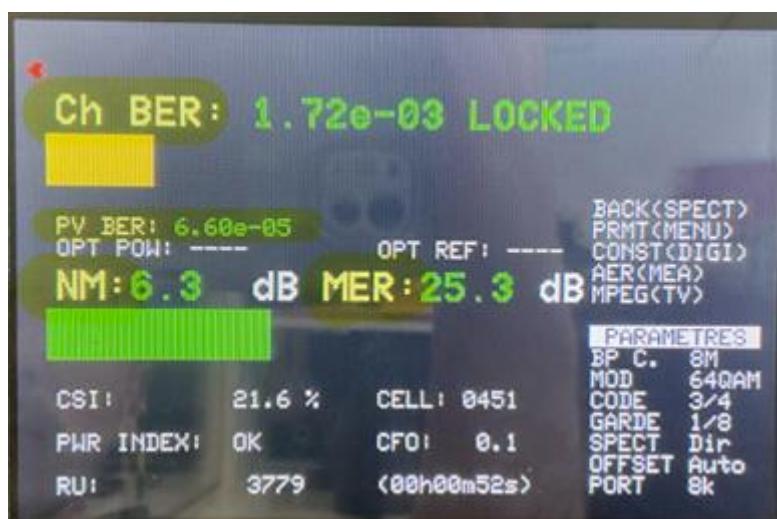
6)

- **Bouquet à 648,00 MHz** : C/N = 27,1 dB
- **Bouquet à 506,00 MHz** : C/N = 33,8 dB
- **Bouquet à 482,00 MHz** : C/N = 34,4 dB

Les valeurs sont légèrement différentes de celles obtenues en mode manuel, mais restent cohérentes. Elles montrent une bonne qualité de réception pour chaque fréquence mesurée.

Partie 2.3.5 Mesures numériques (p. 43) :

4)



- Ch BER : Taux d'erreur binaire avant correction.
- pV BER : Taux d'erreur binaire après la correction Viterbi.

- NM (Noise Margin) : Marge de bruit, correspondant à la réserve de qualité du signal avant que des erreurs ne commencent à apparaître.
- MER (Modulation Error Ratio) : Indicateur global de la qualité du signal, qui tient compte du bruit et des interférences.

5)



Diagramme entier



1/4 du diagramme

En affichant le diagramme complet puis un quart du diagramme, on observe une dispersion notable des points par rapport à leur position théorique. Cela met en évidence le bruit et les perturbations du canal. Malgré cette dispersion, l'indicateur de qualité globale du signal (CSi) reste

satisfaisant, ce qui montre que les mécanismes de correction d'erreurs compensent efficacement les perturbations.

6) Pour démoduler une chaîne de TV, il a fallu passer sur un autre appareil, l'analyseur DVB de poche **H30Flex**. Après sélection de la fréquence **754 MHz** correspondant au multiplex de TF1, la synchronisation sur la porteuse a permis la démodulation et l'affichage du signal vidéo.

7) Il a notamment été possible de regarder la chaîne **TF1** sur la fréquence **754 MHz**, au programme "**Journal télévisé de 20h**" (car l'heure de l'analyseur DVB de poche **H30Flex** était à **20h13**).

3 Caractéristiques (étude sur documents via internet, bibliothèque) - (temps estimé : 3h)

3.1 Historique Replacer la télévision dans l'histoire, inventeur, première utilisation, analogique, numérique, etc ...

La télévision est le fruit de plusieurs décennies de recherches et d'innovations, menées par des scientifiques et des ingénieurs à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle.

Dès les années 1880, l'Allemand Paul Gottlieb Nipkow dépose un brevet pour un « disque de Nipkow » qui permet de scanner mécaniquement une image en lignes ; c'est la première ébauche d'un système de télévision mécanique. Vers 1900, le terme « télévision » est utilisé pour la première

fois lors d'une exposition universelle à Paris pour désigner l'idée d'une transmission d'images à distance.

Les premiers pas (1920–1930)

Dans les années 1920, plusieurs inventeurs approfondissent la piste de la télévision mécanique. Le Britannique John Logie Baird réalise en 1925 la première démonstration publique d'une image télévisée avec son système à disque rotatif. Parallèlement, aux États-Unis, Charles Francis Jenkins effectue des démonstrations similaires. Ces procédés, bien que révolutionnaires pour l'époque, restent contraignants : la définition de l'image est faible et le dispositif très encombrant.

L'avènement de la télévision électronique

Le véritable saut technologique se produit lorsque la télévision électronique supplante la télévision mécanique. Dans les années 1920 et 1930, le Russe Vladimir Zworykin développe l'Iconoscope, un tube cathodique capable de convertir l'image en signal électrique. Aux États-Unis, Philo Farnsworth met au point une caméra entièrement électronique. Ces avancées donnent naissance à la télévision électronique, qui offre une meilleure définition et une plus grande stabilité d'image.

Premières diffusions et standardisation

Au milieu des années 1930, les premières diffusions régulières en noir et blanc voient le jour. En 1936, la BBC (Royaume-Uni) lance un service public de télévision basé sur une technologie électronique. Très vite, d'autres pays suivent : la France, l'Allemagne et les États-Unis développent leurs propres réseaux de diffusion. Durant la Seconde Guerre mondiale, la progression de la télévision est ralentie, mais reprend rapidement à partir de 1945, favorisant une démocratisation progressive dans les foyers.

De l'analogique à la couleur

Jusqu'aux années 1950, la télévision demeure strictement analogique et en noir et blanc. La norme NTSC (National Television System Committee) est adoptée en 1941 aux États-Unis. Par la suite, différents pays adoptent d'autres standards comme le PAL (Phase Alternation by Line) et le SECAM (Séquentiel Couleur À Mémoire) au milieu des années 1960. Ainsi, la couleur fait son apparition progressivement : d'abord aux États-Unis en 1953 (NTSC couleur), puis en Europe à partir de la fin des années 1960 (PAL en Allemagne et au Royaume-Uni, SECAM en France).

Popularisation et essor mondial

Dans les années 1960 et 1970, la télévision connaît un essor fulgurant dans le monde entier. Les récepteurs deviennent plus abordables, la puissance des émetteurs augmente, et la télévision s'impose comme principal média de divertissement et d'information. Les programmes se diversifient, passant des variétés et journaux télévisés aux séries de fiction, et le nombre de chaînes explose. Les événements planétaires, tels que la conquête spatiale ou les Jeux olympiques, sont retransmis en direct, marquant l'imaginaire collectif.

Vers le numérique

Malgré de constantes améliorations, la télévision analogique reste sujette aux interférences, au bruit et aux limites de la bande passante. À partir des années 1990, les progrès de la compression numérique (en particulier les standards MPEG) et des algorithmes de correction d'erreurs ouvrent la voie

à la télévision numérique (DVB en Europe, ATSC aux États-Unis, ISDB au Japon). Les premiers signaux numériques terrestres sont expérimentés dans les années 1990, puis se généralisent dans les années 2000. La TNT (télévision numérique terrestre) remplace peu à peu l'analogique, offrant une meilleure qualité d'image, un plus grand choix de chaînes et de services interactifs.

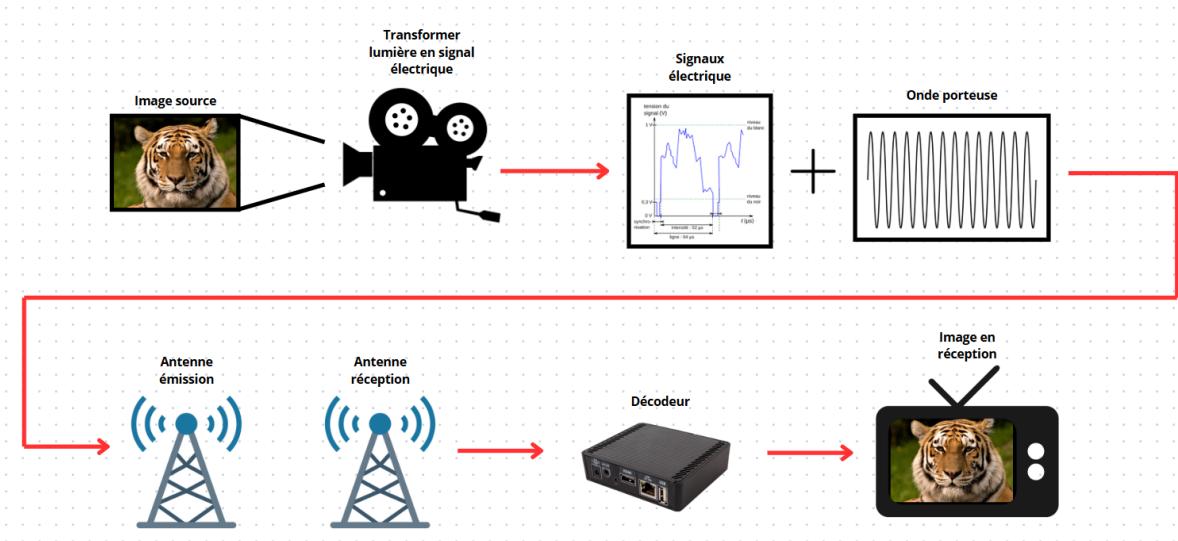
La télévision aujourd’hui et demain

Aujourd’hui, la télévision se diffuse non seulement par voie terrestre (TNT), mais aussi par satellite, câble ou internet (IPTV). Les récepteurs sont de plus en plus sophistiqués : écrans plats, écrans OLED, formats haute définition (HD), ultra haute définition (4K et 8K). Parallèlement, la télévision connectée et les services de streaming en ligne redéfinissent la consommation de contenus audiovisuels, marquant une nouvelle révolution dans l’histoire de la télévision. De la petite lucarne monochrome à la vidéo à la demande en ultra-haute définition, la télévision n’a cessé d’évoluer, influencée par les avancées technologiques et les besoins culturels de chaque époque.

3.2 Télévision analogique Schéma, principe physique, première diffusion, standard, type de modulation, etc ...

La télévision analogique, apparue au milieu des années 1930, a constitué la première forme de diffusion télévisuelle exploitable à large échelle et a longtemps dominé le paysage audiovisuel.

Elle repose sur un signal continu dans lequel la caméra convertit l'image en une tension proportionnelle à la luminosité (et ultérieurement à la couleur), tension ensuite modulée pour être transmise par ondes hertziennes.



Dans les premiers temps, la télévision électronique supplante rapidement les dispositifs mécaniques grâce au tube cathodique et à l'iconoscope mis au point par des pionniers comme Vladimir Zworykin et Philo Farnsworth.

Les premières diffusions régulières en noir et blanc débutent en 1936 au Royaume-Uni, avant de s'étendre dans différents pays après la Seconde Guerre mondiale.

Les standards analogiques se multiplient : aux États-Unis, la norme NTSC définit dès 1941 les spécifications pour un signal à 525 lignes et 30 images par seconde ; en Europe, les systèmes PAL et SECAM sont adoptés à partir des années 1960 pour la télévision couleur, la différence portant principalement sur la façon de coder la chrominance.

Sur le plan technique, la vidéo est émise en modulation d'amplitude avec une bande latérale résiduelle (VSB) afin d'économiser la largeur de bande, tandis que le son est diffusé en modulation de fréquence.

Les évolutions vers la couleur se font sans rompre la compatibilité avec les récepteurs noir et blanc, mais la qualité d'image reste sujette aux parasites et la télédiffusion souffre parfois d'images fantômes ou de variations de teinte.

Malgré ces contraintes, la télévision analogique se révèle être un outil majeur de diffusion d'informations et de divertissements à l'échelle mondiale. Elle conserve longtemps une place prépondérante, avant de céder progressivement le terrain à la télévision numérique, dont la diffusion plus robuste et la possibilité de compresser le signal permettent une meilleure qualité d'image et la mise à disposition de nombreux services interactifs.

3.3 Télévision numérique Schéma, principe physique, première diffusion, standard, type de modulation, différences avec l'analogique etc ...

La télévision numérique, apparue dans les années 1990, représente une avancée majeure par rapport à la télévision analogique. Contrairement à cette dernière, où l'image et le son sont transmis sous forme de signaux continus, la télévision numérique convertit ces informations en données binaires, ce qui permet une meilleure qualité de transmission et une utilisation optimisée du spectre radio.

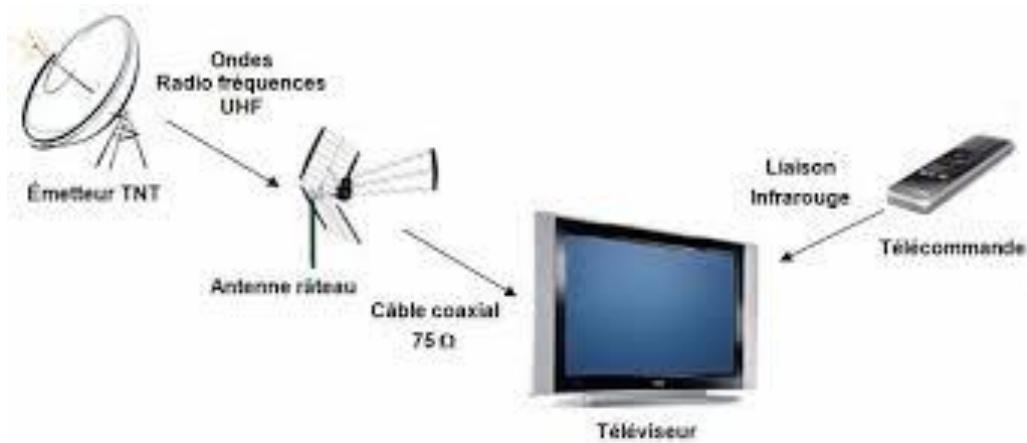
Différents standards :

- **DVB-T** (Europe, Afrique, Océanie) : Utilise la modulation COFDM et est destiné à la télévision numérique terrestre.
- **DVB-T2** (Europe, Afrique, Asie) : Une version améliorée du DVB-T avec une meilleure capacité de transmission.
- **ATSC** (Amérique du Nord) : Basé sur la modulation 8-VSB, utilisé aux États-Unis, au Canada et en Corée du Sud.
- **ATSC 3.0** (Amérique du Nord) : Modulation OFDM, prend en charge la 4K, le HDR, l'audio immersif et la transmission IP native.
- **ISDB-T** (Japon, Brésil) : Modulation BST-OFDM, optimisé pour la réception mobile (One-Seg).
- **DTMB** (Chine, Hong Kong, Macao) : Modulation TDS-OFDM, intégrant des technologies de différents standards mondiaux.

Principe de transmission numérique

La transmission numérique repose sur plusieurs étapes techniques :

1. **Échantillonnage** : Le signal analogique est converti en une série d'échantillons numériques.
2. **Codage et compression** : L'information est compressée (souvent selon la norme MPEG) pour réduire la taille des données à transmettre. Des métadonnées, comme les sous-titres ou le guide des programmes, peuvent être ajoutées.
3. **Correction d'erreurs** : Un codage spécifique est appliqué pour améliorer la résistance aux perturbations et éviter les pertes de données.
4. **Multiplexage** : Plusieurs chaînes sont regroupées sur une même fréquence, optimisant ainsi l'utilisation du spectre.
5. **Modulation** : La transmission se fait via des techniques avancées comme l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), qui répartit le signal sur plusieurs sous-porteuses pour améliorer sa résistance aux interférences et aux échos.
6. **Réception** : Le signal est capté par une antenne et décodé par un tuner intégré aux téléviseurs récents ou par un décodeur externe pour les anciens modèles.



Avantages de la télévision numérique

- **Meilleure qualité d'image et de son** : Prise en charge de la HD et de la 4K, réduction des parasites.

- **Utilisation optimisée du spectre** : Possibilité de diffuser plusieurs chaînes sur la même bande de fréquence.
- **Résistance aux interférences** : Une meilleure robustesse face aux obstacles et aux perturbations électromagnétiques.
- **Fonctionnalités supplémentaires** : Télétexte enrichi, sous-titres, services interactifs et possibilité d'intégration avec les nouvelles technologies (IPTV, HDR, etc.).
- **Compatibilité avec les nouvelles générations de téléviseurs** : Adaptation aux standards évolutifs et intégration de technologies comme le streaming IP.

Cette transition vers la télévision numérique a permis d'enrichir l'offre audiovisuelle, d'améliorer la gestion des fréquences et de répondre aux exigences croissantes en matière de qualité et de connectivité multimédia.