

OMARI SABER
Ben Maamer Amine
Schmitz Arthur
Aubry Laélien

Institut Universitaire de Technologie de Blois
BUT Réseaux & Télécommunications

SAE 301 : Mettre en oeuvre un système de transmission



Enseignant

Samuell Calle

Sommaire

Introduction	3
1 La télévision Numérique Terrestre	4
1.1 Histoire de la TNT	4
1.2 Caractéristiques techniques de la TNT	8
2 Caractérisation d'une liaison TNT	17
2.1 Mesures avec testeur TNT	17
2.2 Simulation d'une antenne TNT type Yagi	21
3 Bilan de liaison d'une liaison TNT	23
3.1 Schéma d'une liaison TNT	23
3.2 Calcul du bilan de liaison	23
Conclusion	25
Bibliographie	26

Introduction

La Télévision Numérique Terrestre (TNT) est un système de transmission qui a révolutionné l'audiovisuel en France et dans le monde. Depuis ses débuts en 2005, la TNT a permis de proposer une qualité d'image et de son améliorée, ainsi qu'une plus grande variété de chaînes de télévision. Dans ce rapport, nous allons décrire l'histoire de la TNT, ses caractéristiques techniques et les différentes technologies utilisées pour la transmission des données. Nous allons également décrire les différentes étapes de la mise en œuvre d'un système de transmission TNT, incluant la simulation d'une antenne TNT, les mesures avec un testeur TNT et le bilan de liaison. Enfin, nous présenterons un schéma d'une liaison TNT et un calcul du bilan de liaison.

1 La télévision Numérique Terrestre

1.1 Histoire de la TNT

Ses débuts et définition des termes du sujets

La Télévision Numérique Terrestre (TNT) est un système de diffusion de télévision numérique utilisant le canal hertzien terrestre pour transmettre les programmes télévisés. Elle permet une meilleure qualité d'image et de son par rapport à la télévision analogique, ainsi qu'une utilisation plus efficace de la bande passante. La TNT a été déployée dans de nombreux pays pour remplacer progressivement la télévision analogique traditionnelle. Elle succède à La télévision analogique.

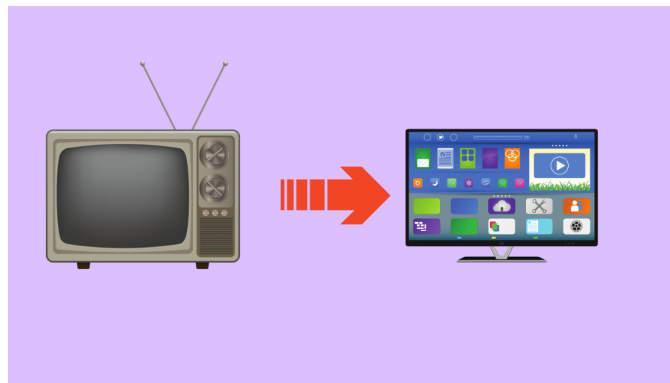


FIGURE 1 – Télévision analogique et télévision numérique

La télévision analogique est la technologie originale utilisée pour transmettre la vidéo et l'audio en utilisant des signaux analogiques sur des bandes de fréquences en général VHF¹ contrairement à la TNT qui elle utilise majoritairement l'UHF². Ces signaux représentent la luminosité, les couleurs et le son par l'amplitude, la phase et la fréquence d'un signal analogique. Cependant, les signaux analogiques varient sur une plage continue de valeurs, ce qui signifie que du bruit électronique et des interférences peuvent être introduits, entraînant une qualité d'image médiocre et sujette aux perturbations. La télévision numérique, utilise des signaux numériques qui offrent une qualité d'image constante jusqu'à ce que le signal devienne trop faible pour être reçu.

1. Très haute fréquence, Bande de fréquences comprises entre 30 MHz et 300 MHz

2. Ultra haute fréquence, La bande des ultra hautes fréquences est la bande du spectre radioélectrique comprise entre 300 MHz et 3 000 MHz

Explication de son rôle dans l'audiovisuel français et dans le monde

Avant de disposer de la TNT dans nos foyers, il est intéressant de revoir les débuts de façon très brève de la télévision dans le monde.

De nombreux principes de la télévision remontent aux travaux réalisés au XIXe siècle par des inventeurs européens et nord-américains. Le mot "télévision" a été créé pour la première fois en 1900 à l'occasion de l'Exposition universelle de Paris, en France, où s'est tenu le premier congrès international d'électricité. La télévision est un mot hybride, qui vient à la fois du grec et du latin. "Télé" signifie "loin" en grec, tandis que "vision" vient du latin "visio", qui signifie "vision" ou "vue". La recherche sur les systèmes de télévision s'est poursuivie au début du XXe siècle et, dans les années 1920, elle était déjà bien avancée des deux côtés de l'Atlantique.

La diffusion télévisée analogique a commencé dès 1928, lorsque la Federal Radio Commission a autorisé l'inventeur Charles Jenkins comme on le voit en Figure 2 à diffuser à partir de W3XX³, une station expérimentale dans la banlieue du Maryland à Washington, DC. Des images de silhouettes de films cinématographiques étaient régulièrement diffusées au grand public, à une résolution de seulement 48 lignes. Des stations expérimentales similaires ont diffusé des émissions tout au long du début des années 1930. En 1939, la filiale de RCA NBC (National Broadcasting Company) est devenue le premier réseau à introduire des émissions de télévision régulières, transmettant sa première émission télévisée des cérémonies d'ouverture de l'Exposition universelle de New York. Les premières émissions de la station ont été diffusées sur seulement 400 téléviseurs dans la région de New York, avec une audience de 5 000 à 8 000 personnes. Lenox Lohr, télédistribution (New York : McGraw Hill, 1940). La télévision n'était initialement disponible que pour quelques privilégiés, avec des téléviseurs allant de 200 \$ à 600 \$.



FIGURE 2 – Charles Jenkins devant l'un des premiers transmetteurs de télévision

3. Plus ancienne chaîne de télévision des États-Unis

Technologie couleur

Bien qu'elle ne soit devenue disponible que dans les années 1950 ou populaire avant les années 1960, la technologie de production de télévision couleur a été proposée dès 1904 et a été démontrée par John Logie Baird en 1928 avec la première « télévision » au monde comme on la voit en figure 3. Comme pour son système de télévision en noir et blanc, Baird a adopté la méthode mécanique, en utilisant un disque de balayage Nipkow à trois spirales comme on peut le voir en Figure, une pour chaque couleur primaire (rouge, vert et bleu). En 1940, les chercheurs de CBS, dirigés par l'ingénieur de télévision hongrois Peter Goldmark, ont utilisé les conceptions de Baird de 1928 pour développer un concept de télévision couleur mécanique capable de reproduire la couleur vue par un objectif de caméra.



FIGURE 3 – Première télévision créée par l'ingénieur et inventeur Baird

Ce n'est réellement qu'en 1970 que la technologie couleur se démocratisera et coïncide par la même occasion avec le pourcentage de foyers français disposant de postes de télévisions, s'élevant ainsi à 70%.

En 1994, c'est un tournant dans le monde de la télévision, en effet il y eut la première transmission télévision numérique terrestre aux États-Unis pour le grand public. Ce n'est qu'en 2003 que la France attribue des fréquences pour la TNT et quelques années plus tard en 2005, il y eut réellement le déploiement de la TNT en France.

Ce développement de la TNT permet donc :

- Une qualité d'image et de son supérieure grâce à la compression de données numériques et à une meilleure utilisation de la bande passante.
- La possibilité de recevoir plusieurs programmes sur une seule fréquence, appelée multiplexage, permettant ainsi une utilisation plus efficace de la bande passante.
- Les personnes ayant des besoins de lecture spécifiques peuvent bénéficier de la possibilité de recevoir des services de télévision mobile (TV sur mobile ou sur tablette) pour une meilleure flexibilité de visualisation.
- L'intégration de données interactives, tels que les sous-titres, les guides des programmes, les services de vidéo à la demande, etc.
- La compatibilité avec les écrans haute définition.
- La possibilité de recevoir des signaux numériques de manière plus stable et moins sujette aux perturbations que les signaux analogiques.
- La possibilité de recevoir des programmes en différents formats, tels que la haute définition, la standard définition et les formats audio descriptifs pour les personnes malentendantes.
- Les personnes non-voyantes peuvent bénéficier de la possibilité de recevoir des sous-titres pour suivre les dialogues à l'écran.
- Ainsi qu'un bouquet de chaînes plus fournis, avec la création de nouvelles chaînes, tel que NRJ12, France 4, Direct 8 (maintenant C8), NT1 (maintenant TFX), W9, M6. Les chaînes d'informations continuent tel que BFMTV et CNews viendront quelques mois plus tard avec en même temps Gulli. Puis quelques années plus tard, en 2012, 6ter, Numéro 23, Chérie 25, l'équipe 21 et TF1 Series Films s'ajoutent au bouquet des chaînes présentes sur la TNT gratuite.













					
					
					
					
					

FIGURE 4 – Les 27 chaînes gratuites sur la TNT

1.2 Caractéristiques techniques de la TNT

Technologies DVB

Le groupe DVB (Digital Video Broadcaster) a été créé dans le but d'éviter l'apparition de différentes normes de télévision numérique incompatibles entre elles, comme cela a été le cas avec la télévision analogique. En effet d'innombrable normes créées par l'UIT⁴ existent pour la télévision analogique, et ce pour chaque pays/régions.

Normes analogiques :

Normes	Pays
A VHF	Royaumes-Uni
B VHF + UHF	Europe, Asie, Afrique et Australie
C VHF	Belgique, Italie, Hollande Luxembourg
D VHF + UHF	Australie, Outremer, Europe de l'Est, Chine
E VHF	France, Monaco, Vatican
F VHF	Belgique, Luxembourg
G VHF	Asie, Afrique
H UHF	Belgique, Pays de l'Est, Malte
I VHF + UHF	Irlande, Hong Kong, Macau, Falkland et Afrique du Sud
J VHF + UHF	Japon et Asie
K/K1 UHF	Australie, Outremer, Europe de l'Est, Chine
L VHF + UHF	France, Monaco, Luxembourg
M VHF + UHF	Amérique, Asie
N UHF	Amérique du Sud

L'objectif donc du groupe est de définir les standards de la télévision numérique. Bien qu'en Amérique, en Chine, Japon et Amérique du Sud, les normes de télévisions numériques sont différentes, comme on peut le voir sur la Figure5 .

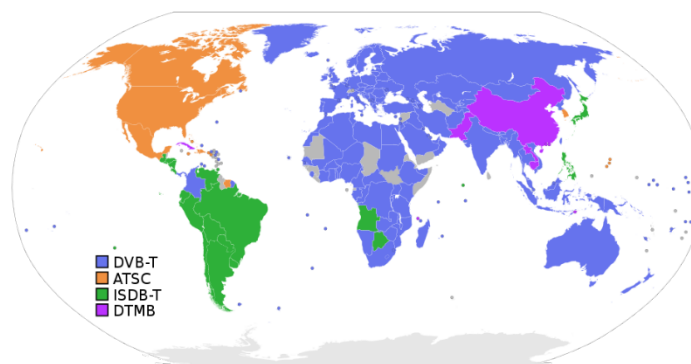


FIGURE 5 – Représentation mondiale des standards de la télévision numérique

4. Union internationale des télécommunications est l'agence des Nations unies pour le développement spécialisé dans les technologies de l'information et de la communication

Les différences entre les différentes normes sont assez minimes, la différence se fait surtout au niveau de la compression audio ainsi que la modulation, comme on peut le voir sur la Figure6.

Systems	ATSC 8-VSB	DVB-T COFDM	ISDB-T BST-OFDM
Source coding			
Video	Main Profile syntax of ISO/IEC 13818-2 (MPEG-2 - video)		
Audio	ATSC Standard A/52 (Dolby AC-3)	ISO/IEC 13818-2 (MPEG-2 – Layer II audio) and Dolby AC-3	ISO/IEC 13818-7 (MPEG-2 – AAC audio)
Transport Stream	ISO/IEC 13818-1 (MPEG-2 TS) transport stream		
Transmission system			
Channel coding			
Outer coding	R-S (207, 187, t = 10)	R-S (204, 188, t = 8)	
Outer interleaver	52 R-S block interleaver	12 R-S block interleaver	
Inner coding	Rate 2/3 trellis code	Punctured convolutional code: Rate: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 Constraint length = 7, Polynomials (octal) = 171, 133	
Inner interleaver	12 to 1 trellis code interleaver	Bit-wise interleaving and frequency interleaving	Bit-wise interleaving, frequency interleaving, and selectable time interleaving
Data randomization	16-bit PRBS	16-bit PRBS	16-bit PRBS
Modulation	8-VSB and 16-VSB	COFDM QPSK, 16QAM and 64QAM Hierarchical modulation: multi-resolution constellation (16QAM and 64 QAM) Guard interval: 1/32, 1/16, 1/8 & 1/4 of OFDM symbol 2 modes: 2k and 8k FFT	BST-OFDM with 13 frequency segments DQPSK, QPSK, 16QAM and 64QAM Hierarchical modulation: choice of three different modulations on each segment Guard interval: 1/32, 1/16, 1/8 & 1/4 of OFDM symbol 3 modes: 2k, 4k and 8k FFT

FIGURE 6 – Différence entre les standards de télévision numérique

Le consortium DVB est responsable de la définition des normes pour la codification et la transmission de contenus télévisuels. Les normes proposées par ce groupe doivent être ouvertes, c'est-à-dire accessibles à tous, interopérables, c'est-à-dire permettant à des appareils conformes au standard de fonctionner sans problème sur différents réseaux, et flexibles, c'est-à-dire basées sur le standard MPEG pour le transport de données.

Il existe différents groupes DVB n'utilisant pas exactement la même modulation, qui sont :

- DVB-T : diffusion sur réseau terrestre, utilise le QAM⁵ comme modulation.
- DVB-S : diffusion sur satellite, utilise le QPSK⁶.
- DVB-C : diffusion sur réseau câblé utilise lui aussi le QAM.

La TNT en France, utilise le DVB-T pour la diffusion.

5. Modulation d'amplitude en quadrature est une forme de modulation d'une porteuse par modification de l'amplitude de la porteuse elle-même et d'une onde en quadrature selon l'information transportée par deux signaux d'entrée.

6. Modulation par changement de phase en quadrature.

Formations de compression, définition vidéo

Afin de transmettre des contenus audiovisuels tels que des films ou des émissions télévisées aux téléspectateurs, plusieurs étapes préliminaires sont nécessaires. Tout d'abord, les signaux électriques de type analogique générés par les caméras et les microphones sont convertis en signaux numériques (principe du PCM⁷). Ensuite, des données de commande et des données de « confort » sont ajoutées au flux de données numériques. Ces données de « confort » incluent des informations utiles pour le téléspectateur telles que le télétexte, tandis que les données de commande permettent de contrôler la transmission et la réception des données audiovisuelles.

Le flux de données numériques généré par ces étapes préliminaires est ensuite compressé pour être transmis sur le support choisi (câble, satellite, hertzien, etc.). Dans le cas de la Télévision Numérique Terrestre (TNT), qui utilise le support hertzien, la compression est d'autant plus importante étant donné que le débit de données est très limité. Pour la compression, les normes du groupe MPEG sont utilisées. Les normes de compression définies par MPEG, telles que MPEG-2 ou MPEG-4, permettent de transmettre des images de haute qualité avec un débit de données réduit.

MPEG (Motion Picture Expert Group) est un groupe de travail reconnu par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) qui a pour mission de définir des standards de compression pour les images animées. Les normes établies par MPEG, comme MPEG-2, MPEG-4, MPEG-7, et MPEG-21, ont pour objectif de réduire le débit des sources audiovisuelles tout en maintenant une qualité d'image acceptable. Il est important de noter que ces normes ne concernent que les images animées, les autres données audio et informations seront codées séparément et seront ensuite regroupées chez l'utilisateur final.

Dans le cas de la Télévision Numérique Terrestre, seuls les normes MPEG-2 et MPEG-4 sont utilisées pour la compression des images.

MPEG-2

Cette norme de compression vidéo est très utilisée pour les DVD-Vidéo et la diffusion télévisuelle numérique par câble ou satellite. La définition d'image varie de 576 x 420 points à 720 x 576 points, avec un débit de 25 images par seconde. La compression MPEG-2 permet d'inclure des données autres que la vidéo elle-même. On peut ajouter des informations quant au numéro du canal, le titre du programme et la langue voulue.

MPEG-4

MPEG-4 est une norme de compression d'images animées établie par le groupe de travail MPEG (Motion Picture Expert Group). Elle permet de réduire le débit des sources audiovisuelles tout en maintenant une qualité d'image acceptable.

7. Pulse Code Modulation, permet la représentation de façon numérique un signal analogique.

MPEG-4 utilise une technique de compression basée sur la notion de scènes et de séquences qui permet de coder des images animées de manière efficace. Il utilise des algorithmes de compression vidéo tels que le codage vidéo par prédiction et le codage vidéo par référence pour réduire les redondances dans les images animées. Il utilise également des algorithmes de compression audio tels que le codage audio par pertes et le codage audio par pertes partielles pour réduire les redondances dans les données audio.

MPEG-4 est utilisé dans les services de la Télévision Numérique Terrestre (TNT) pour la compression des images animées transmises. Il permet de transmettre des images de haute qualité avec un débit de données réduit, ce qui est essentiel pour les services de la TNT qui utilisent le support hertzien avec des débits de données très limités. Il permet également d'ajouter des fonctionnalités telles que la télévision interactive, la télévision mobile et la télévision à haute définition, qui ne sont pas disponibles avec les normes de compression précédentes. Il est utilisé depuis le 5 avril 2016 pour toutes les chaînes hormis LCI et France Info).

Compression audio

La compression audio pour la Télévision Numérique Terrestre (TNT) est un processus qui permet de réduire le débit des données audio tout en maintenant une qualité acceptable de l'audio. Il est utilisé conjointement avec la compression vidéo pour réduire la bande passante nécessaire pour la transmission des données audiovisuelles.

Il existe différents algorithmes de compression audio utilisés pour la TNT, tels que le codage audio par pertes et le codage audio par pertes partielles. Le codage audio par pertes est basé sur la suppression des informations audio qui sont considérées comme étant redondantes ou moins perceptibles pour l'oreille humaine. Le codage audio par pertes partielles, quant à lui, est basé sur la réduction de la résolution des données audio.

Un autre algorithme utilisé est le codage audio numérique à transformée de cepstrum linéaire (Linear Predictive Coding, ou LPC). Il consiste à utiliser des techniques de prédiction pour réduire les redondances dans les données audio. Enfin, l'algorithme de compression audio utilisé sur les systèmes de la TNT est généralement le Advanced Audio Coding (AAC) qui est un standard de codage audio défini par MPEG-2 et MPEG-4. Il utilise des techniques de codage par pertes pour réduire le débit des données audio tout en maintenant une qualité acceptable de l'audio.

Transmission TNT

Au début, la télévision analogique et numérique coexisteront, mais en 2011, les émissions analogiques seront arrêtées. Des ajustements de fréquences seront effectués pour éviter les interférences entre les deux systèmes. La plage d'émission sera limitée par rapport à la télévision analogique et seulement la bande de fréquence UHF sera utilisée. La télévision numérique permet de diffuser six programmes par canal, tandis que la télévision analogique n'en diffuse qu'un seul. Pour diffuser un programme télévisé numérique, il y a tout d'abord création de la source audiovisuelle, puis le codage numérique de la source, la compression de la source, le multiplexage, la diffusion et enfin la réception.

Canaux et fréquences

Les chaînes françaises, se retrouvent sur différents canaux de 23 à 47 et différentes fréquences allant de 470-694 MHz pour la TNT gratuite.

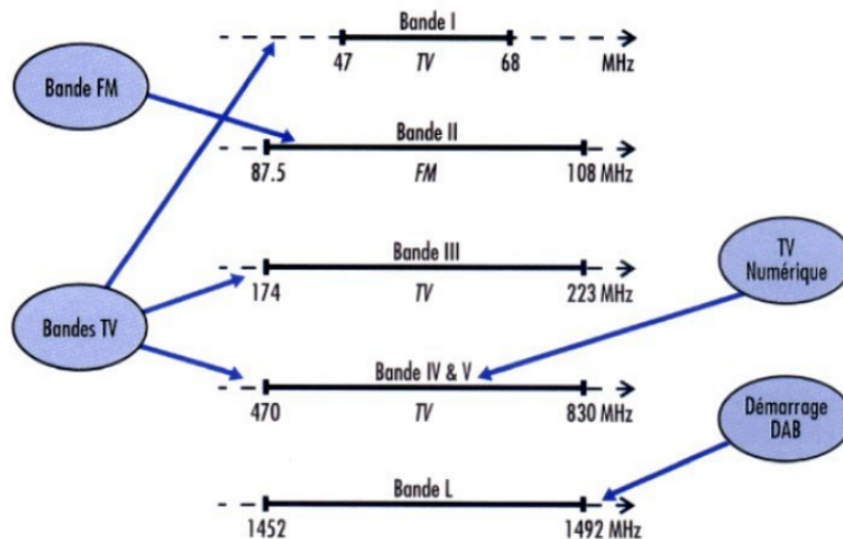


FIGURE 7 – Bande de Fréquences

On peut représenter ça sous forme de tableaux :

Chaînes	Canal	Fréquence (MHz)
TF1	23	490
France 2	26	514
France 3	26	514
Canal + (lorsque c'est en clair)	29	538
France 5	40	626
M6	40	626
Arte	40	626
C8	27	522
W9	40	626
TMC	23	490
TFX	23	490
NRJ12	23	490
LCP	26	514
France 4	23	490
BFMTV	27	522
CNews	27	522
Cstar	27	522
Gulli	27	522
TF1 series films	47	682
L'équipe 21	47	682
6Ter	40	626
RMC story	47	682
RMC découverte	47	682
Cherie 25	47	682
LCI	29	538
France Info	26	514

Modulation des données

La modulation est un processus utilisé pour transmettre des informations numériques ou analogiques sur des ondes électromagnétiques. En ce qui concerne la télévision numérique terrestre (TNT), la modulation utilisée est la modulation de fréquence d'amplitude (OFDM), qui est une technique de multiplexage de porteuse utilisée pour transmettre des données sur des canaux de transmission à bande passante réduite, tels que les lignes de transmission à haute fréquence ou les canaux de diffusion hertziens.

L'OFDM divise le spectre de fréquence disponible en plusieurs sous-porteuses, chacune modulée séparément avec des informations numériques, s'il on veut représenter ça sous forme de schéma, voir la Figure 8. Les sous-porteuses sont ensuite combinées pour former le signal de transmission final. Cette technique permet de réduire les effets de la dispersion de la fréquence et de l'interférence multipath (trajet multiple), qui sont des problèmes courants dans les systèmes de transmission à bande étroite.

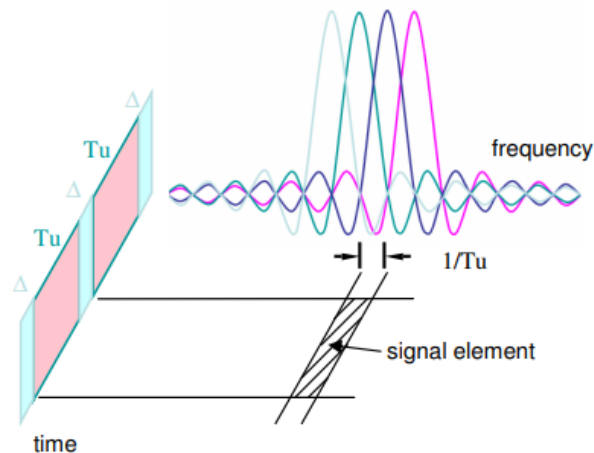


FIGURE 8 – Schéma de la représentation d'un signal OFDM

La norme de diffusion utilisée pour la TNT en France est DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), qui utilise une modulation OFDM avec une bande passante de 7 MHz et une fréquence de symbole de 3,579545 MHz. Le taux de données brut peut atteindre jusqu'à 27,5 Mbit/s, permettant la transmission de plusieurs chaînes de télévision de haute définition simultanément.

La technique de modulation utilisé en télévision numérique terrestre permet de transmettre des données sur des canaux de transmission à bande passante réduite avec une faible probabilité d'erreur et avec une efficacité spectrale élevée. Cela permet de maximiser le nombre de chaînes de télévision pouvant être transmises sur un seul canal de diffusion hertzien.

Multiplex

Le multiplex utilisé en TNT qui permet de séparer les chaînes ayant un même canal et même fréquence est appelé Multiplex logique (Multiplexage logique ou MPLP pour Multiplexage Physique Logique). Il permet de regrouper plusieurs chaînes de télévision numérique sur un même canal de transmission physique (canal physique). Ce qui est important pour la diffusion TNT c'est d'optimiser l'utilisation de la bande passante disponible pour maximiser le nombre de chaînes de télévision qui peuvent être transmises sur un seul canal physique.

Le MPLP utilise un schéma de multiplexage logique, où les données de chaque chaîne sont organisées en paquets de données appelés paquets logiques (PLPs pour Physical Layer Pipes) et sont transmises simultanément sur le même canal physique. Chaque paquet logique contient les informations nécessaires pour identifier la chaîne à laquelle il appartient, ainsi que les données de vidéo et audio pour cette chaîne.

Pour séparer les chaînes qui ont le même canal et la même fréquence, le MPLP utilise une technique l'OFDM qui consiste à utiliser des codes de diffusion différents pour chaque PLP de sorte qu'ils ne se recoupent pas et qu'ils peuvent être facilement séparés à la réception.

Il est important de noter que le MPLP est utilisé en conjonction avec d'autres techniques de multiplexage comme le multiplexage de transport (MPEG-2 TS) et la modulation de fréquence d'amplitude (OFDM) pour permettre la transmission de plusieurs chaînes de télévision numérique sur un seul canal physique. En utilisant ces différentes techniques, il est possible d'optimiser l'utilisation de la bande passante disponible pour maximiser le nombre de chaînes de télévision qui peuvent être transmises sur un seul canal physique. Et comme on peut le voir en Figure 9 le multiplex est représenté de cette manière

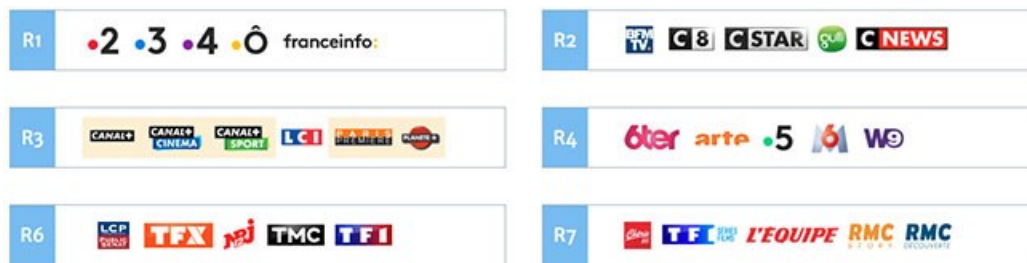


FIGURE 9 – Multiplex des chaînes en France

Chaînes chiffrées

Le chiffage des chaînes sur la télévision numérique terrestre (TNT) est utilisé pour protéger les chaînes de télévision contre la réception non autorisée. Il est utilisé pour protéger les droits d'auteur et pour garantir que seuls les abonnés payants peuvent accéder aux chaînes chiffrées.

La norme de chiffage utilisée pour la TNT en France est la norme de chiffage Conditional Access System (CAS) appelée Nagravision⁸. Ce système de chiffage utilise une technique de chiffage à clé publique pour protéger les données de chaque chaîne.

Avant la diffusion, les données de chaque chaîne sont chiffrées à l'aide d'une clé de chiffage qui est générée par un système de gestion de droits d'accès (DRM pour Digital Rights Management). Cette clé de chiffage est ensuite utilisée pour chiffrer les données de chaque chaîne de télévision avant la transmission.

A la réception, un décodeur de télévision numérique est utilisé pour décoder les données chiffrées. Ce décodeur contient une puce de déchiffrement qui est utilisée pour déchiffrer les données chiffrées en utilisant une clé de déchiffrement qui est générée à partir d'une clé de chiffage qui est transmise par le système de gestion de droits d'accès (DRM). Cette clé de déchiffrement est utilisée pour déchiffrer les données chiffrées et pour décoder les données de chaque chaîne de télévision.

8. Compagnie qui développe des systèmes d'accès conditionnels (ou chiffrés) pour le câble et la télévision

Il est important de noter que les clés de chiffage et de déchiffage sont mises à jour régulièrement pour maintenir la sécurité du système de chiffage, ce qui n'était pas le cas il y a quelques années, les clés de chiffage étaient changées tous les mois. Cela permet de prévenir les attaques de piratage et de garantir que seuls les abonnés payants peuvent accéder aux chaînes chiffrées. Voici un schéma en Figure 10 de chiffage :

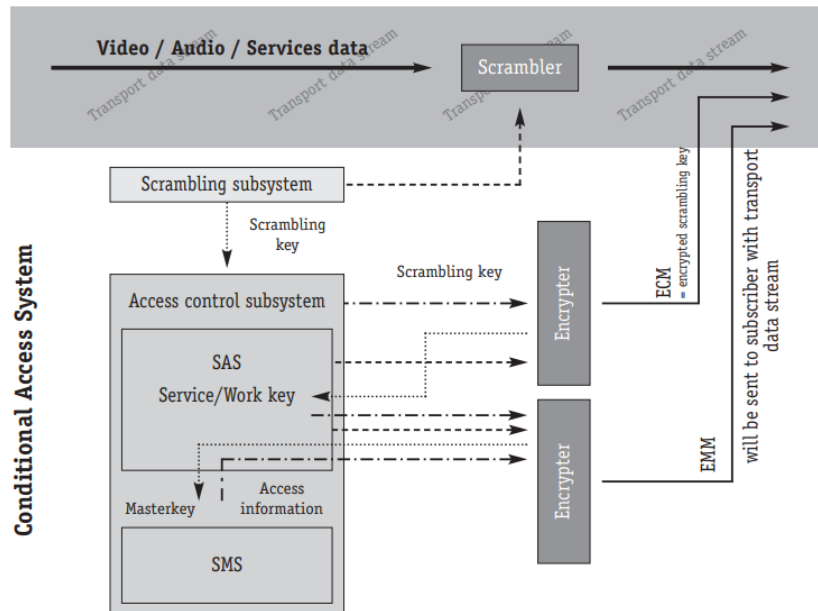


FIGURE 10 – Schéma de chiffage d'une transmission

2 Caractérisation d'une liaison TNT

Nous avons eu au cours de cette SAE, des TP pour pouvoir faire des mesures sur différents types d'antennes et ainsi réaliser différentes mesures lors de la réception de la TNT, nous avons pu aussi faire une simulation d'une antenne TNT type Yagi.

2.1 Mesures avec testeur TNT

Tests des différentes antennes

Malheureusement, lors de nos différents tests sur différents types d'antennes, les tests se sont révélés infructueux notamment sur l'antenne panneau et la parabole, il n'y a que l'antenne de type Yagi avec laquelle nous avons pu réaliser des tests.



FIGURE 11 – Antenne Panneau

Une antenne panneau est une antenne extérieure qui est utilisée pour recevoir des signaux de télévision numérique terrestre (TNT). Elle est généralement constituée d'un panneau plat qui est orienté vers la source de transmission. Ces antennes sont conçues pour recevoir des signaux de différentes fréquences, y compris les fréquences UHF et VHF utilisées pour la transmission de la télévision numérique.



FIGURE 12 – Parabole

Une parabole est une antenne de télévision qui est utilisée pour recevoir des signaux de télévision numérique terrestre (TNT). Elle est généralement constituée d'un miroir en forme de parabole qui est orienté vers la source de transmission. Le fonctionnement de cette antenne repose sur le principe de la focalisation : les ondes électromagnétiques qui viennent de la source de transmission sont réfléchies par le miroir en forme de parabole vers un point focal, où se trouve le récepteur. Cette forme de miroir permet de concentrer les ondes électromagnétiques dans un point précis, ce qui améliore la réception des signaux.



FIGURE 13 – Antenne Râteau/Yagi

Une antenne râteau ou Yagi est une antenne directionnelle utilisée pour recevoir des signaux de télévision numérique terrestre (TNT). Elle est composée d'un certain nombre d'éléments résonants qui sont disposés de manière à maximiser la réception d'un signal spécifique en provenance d'une direction particulière. Ces éléments incluent généralement un élément d'entrée (dipôle), un ou plusieurs éléments réflecteurs et un ou plusieurs éléments directeurs. L'élément d'entrée est responsable de la capture du signal tandis que les éléments réflecteurs et directeurs agissent comme des amplificateurs de signal en dirigeant le signal capturé vers l'élément d'entrée. L'antenne Yagi est généralement utilisée lorsque la source de transmission est à une certaine distance de l'emplacement de l'antenne et que le signal est faible. Ce type d'antenne est particulièrement utile pour capter des signaux provenant d'une direction spécifique, comme un émetteur de télévision situé à plusieurs kilomètres.

Analyse spectrale du signal TNT (canaux, fréquence, chaînes)

Avec l'outil HD Ranger, qui peut mesurer des valeurs telles que la fréquence de la porteuse, le taux d'erreur de transmission, le niveau de signal, la qualité du signal, et le diagramme de constellation qui permet de visualiser la distribution des symboles modulés sur un plan complexe. Ces mesures permettent de vérifier que la transmission respecte les normes techniques et de détecter les éventuels problèmes de transmission. Nous avons pu relever et faire une analyse spectrale que l'on va détailler.

Voici l'installation de l'antenne Yagi tourné vers le diffuseur TNT le plus proche, l'antenne relié par un câble cuivre à notre HD ranger pour pouvoir faire une mesure complète de ce que l'antenne reçoit :



FIGURE 14 – Installation de l'antenne Yagi

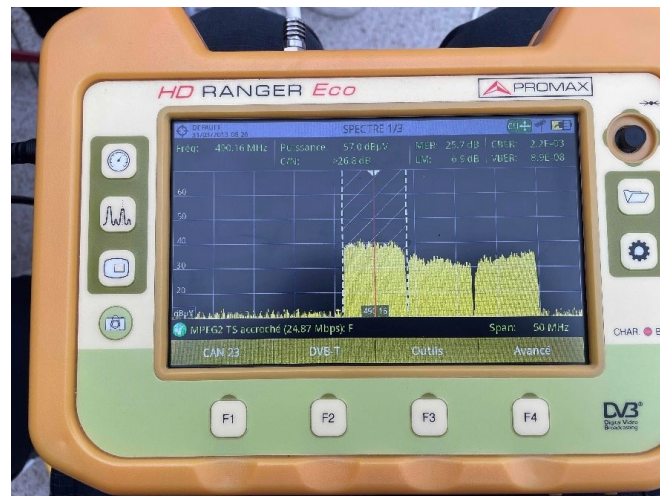


FIGURE 15 – Relève des valeurs avec l'HD Ranger

Comme on peut le voir, on sélectionne les canaux représentés en jaunes sur le HD ranger, l'HD ranger nous donne la fréquence, ici de 490MHz, comme on l'a spécifié plus haut dans le rapport, la bande de fréquence TNT est 470 à 694MHz, on peut voir que cela coïncide. On aperçoit notamment le standard de diffusion pour la TNT « DVB-T », le canal ici sélectionné est le 23. Le format de compression est le MPEG2 avec un débit de 24,87Mbps, cela rejoint encore une fois la théorie énoncée plus haut dans le rapport. De même qu'on peut relever la puissance ici de $57\text{dB}\mu\text{V}$ que l'on peut classer selon l'échelle de Nueffer⁹ donc la qualité de réception « excellente », une réception parfaite aurait été $> 60\text{dB}\mu\text{V}$.



FIGURE 16 – Relève des valeurs avec l'HD Ranger

Ici on a sélectionné la chaîne « L'équipe 21 » situé sur le canal 37, on peut notamment noter le type de format de compression MPEG-4 avec un format de définition de 1920x1080p en format 16 :9, le débit audio est de 127kbps, la qualité audio est donc plutôt bonne.

⁹. Échelle pour la qualité de réception en télévision terrestre, auteur français vulgarisateur de la technologie vidéo

Diagramme de constellation

La télévision numérique terrestre (TNT) utilise un système de transmission appelé "diagramme de constellation" pour envoyer des données de télévision à travers l'air à des récepteurs. Le diagramme de constellation est un graphique qui montre comment les données sont codées et modulées avant d'être transmises.

Tout d'abord, les données de télévision sont d'abord codées à l'aide d'un codeur de source, qui réduit la quantité de données nécessaires pour représenter l'image et le son. Ces données codées sont ensuite modulées en utilisant un modulateur, qui les transforme en un signal électrique qui peut être transmis par une antenne. Ensuite le signal modulé est ensuite représenté graphiquement sur un diagramme de constellation, qui est en fait un graphique à deux dimensions. Le signal modulé est représenté par un point sur ce graphique, et la position de ce point dépend de la façon dont les données ont été modulées. Il y a un autre paramètre qui est utilisé pour représenter les données sur le diagramme de constellation, c'est la phase. La phase est la position angulaire du signal dans le diagramme de constellation. Cette information est nécessaire pour décoder les données à la réception.

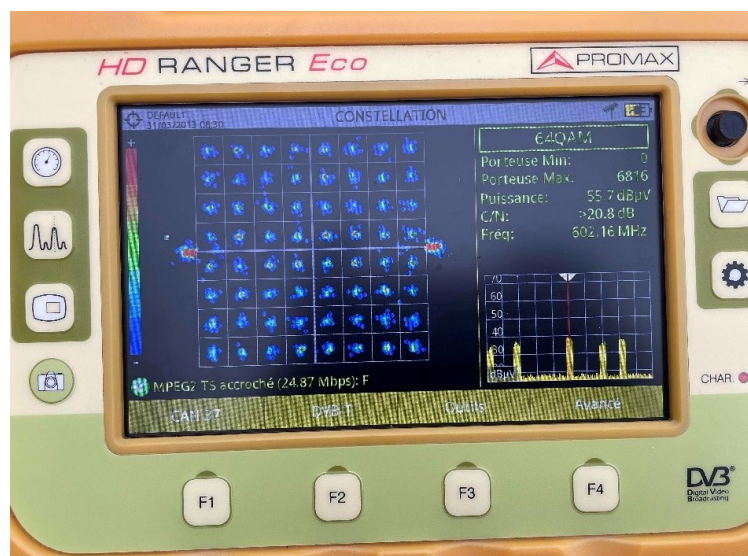


FIGURE 17 – Diagramme de constellation

On peut relever ici que la modulation est sur le 64 QAM, il y a notamment 6816 porteuses réparties autour de la fréquence centrale, en théorie il y en a normalement 6817. On peut noter quelques dégradations sur les côtés du diagramme sur l'axe des abscisses, mais dans la totalité, chaque point est positionné sur des points précis bien qu'il y ait du bruit autour d'eux.

2.2 Simulation d'une antenne TNT type Yagi

Logiciel de simulation

Pour cette partie simulation, on utilisera le logiciel MMANA-GAL (Multi-MicroNAA for Amateur-GAL) qui est un logiciel de conception et de simulation d'antenne. Il permet de créer des modèles d'antennes en 3D, de les simuler pour évaluer leur performance et de générer des instructions pour la construction physique de l'antenne. Il prend par la même occasion en charge une variété de types d'antennes, y compris les antennes verticales, les antennes dipôles, les antennes Yagi, les antennes de boucle. Le logiciel utilise la méthode de simulation numérique de différence finie de temps (FDTD) pour simuler les propriétés électromagnétiques des antennes, y compris le diagramme de rayonnement, la réflexion et la transmission, le gain, la polarisation, la résistance de rayonnement, etc.

Dans notre cas, on l'utilisera pour générer une antenne de type Yagi.

Résultats de simulation

Nous avons utilisé le logiciel MMANA-GAL pour simuler une version simplifiée d'une antenne Yagi. Sur la Figure18 que nous pouvons voir, il y a un petit point rouge qui représente le point d'alimentation de l'antenne, c'est-à-dire la source d'énergie qui l'alimente.

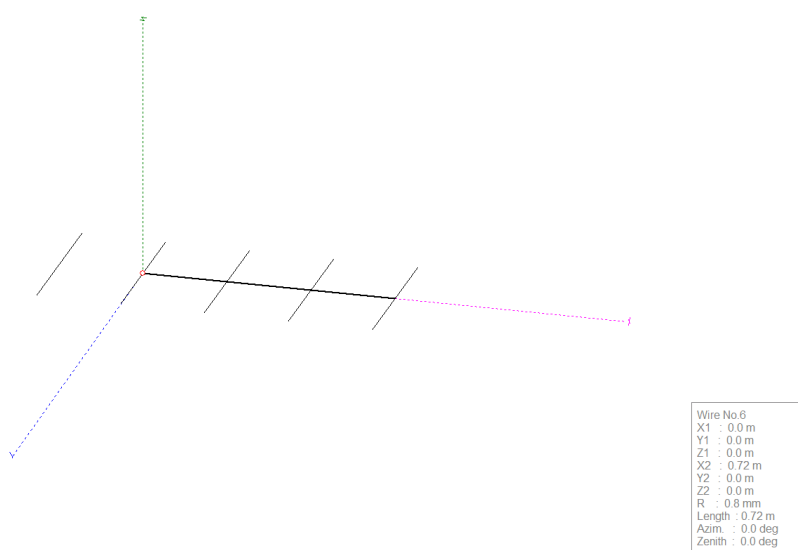


FIGURE 18 – Modélisation d'une antenne Yagi

Les différents résultats que nous avons obtenus ont été pris sur une fréquence de 400 MHz. L'étude sera portée dans un espace vide sans frottement ni perte soit des conditions purement théoriques.

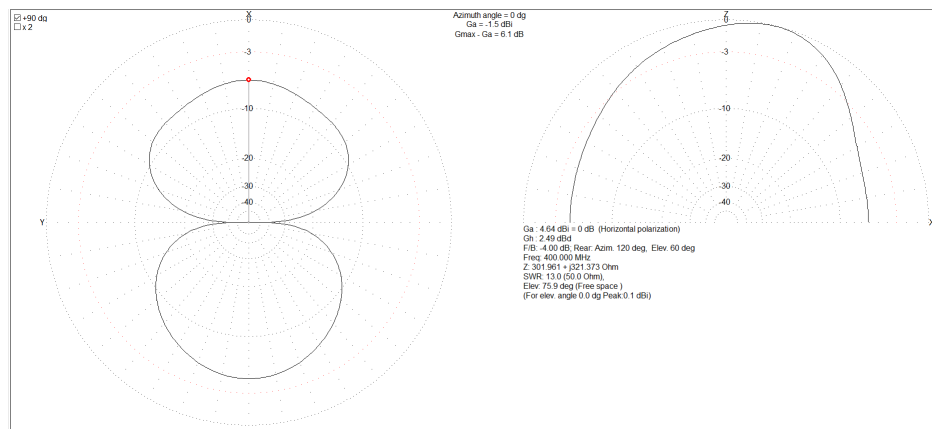


FIGURE 19 – Résultat du rayonnement de l'antenne

Voici les résultats obtenus en Figure19. On remarque une forme ronde en forme de « donuts » voir Figure20 avec une répartition presque égale dans l'espace dû au condition théorique. On remarque une difformité à l'avant grâce à la forme de l'antenne Yagi qui se concentre là où elle est pointée.

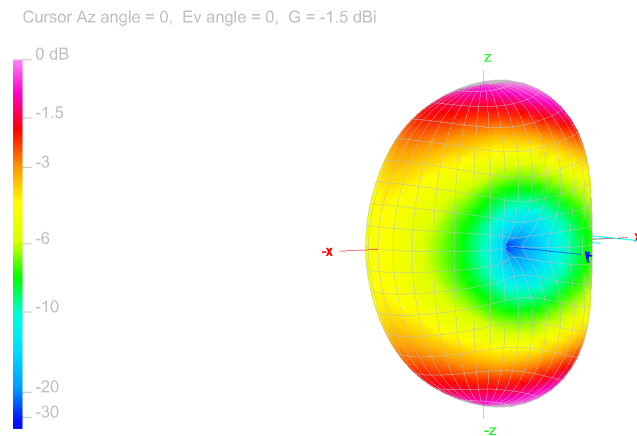


FIGURE 20 – Résultat en 3D du rayonnement de l'antenne

3 Bilan de liaison d'une liaison TNT

3.1 Schéma d'une liaison TNT

Voici le schéma d'une liaison d'une antenne cliente à un relais antenne opérateur :

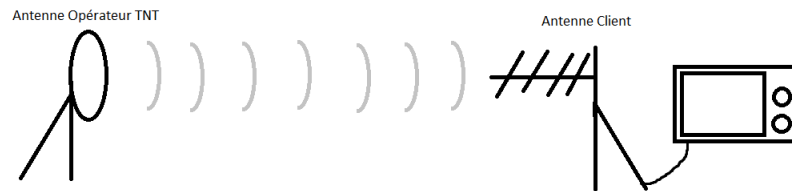


FIGURE 21 – Schéma de liaison d'une antenne cliente à un relais antenne opérateur

3.2 Calcul du bilan de liaison

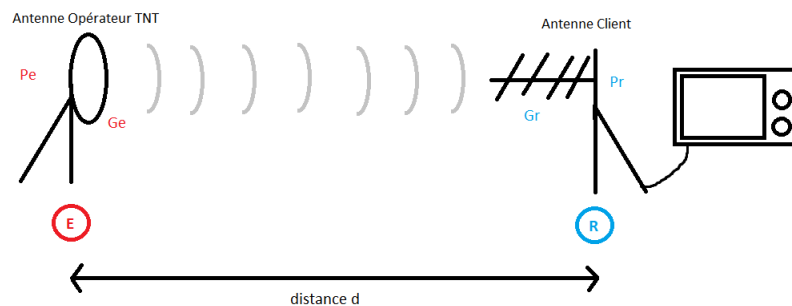


FIGURE 22 – Schéma du bilan de liaison d'une liaison TNT

Avant de se lancer dans le calcul du bilan de liaison, il peut être bon de dégrossir le bilan de liaison, c'est-à-dire d'estimer par le calcul quel sera le signal émis ou reçu. Notre but ici sera de trouver la puissance émise de l'émetteur P_e . Ce calcul s'entend en propagation en vision directe sans obstacle, même réfléchissant. Les calculs se font directement en décibels. Nous reprendrons différents éléments vus ci-dessus pour compléter les valeurs.

L'antenne Opérateur TNT que l'on appellera E pour émetteur émet des ondes hertziennes que l'antenne Client que l'on appellera R pour récepteur.

La puissance d'émission s'exprime en dBw ou dBm, c'est à dire en décibels par rapport au Watt ou par rapport au milliwatt, au vu des puissances que nous pratiquons, nous parlerons en dBm. La puissance en dBm est égale à dix fois le logarithme de la puissance en milliwatts : $P_e(dBm) = 10 \times \log(P_e(mW))$. Nous utiliserons les valeurs obtenues avec le HD RANGER lors des différentes mesures effectuées. Nous arrondirons à 60dBm la puissance reçue.

Le gain des antennes G_e et G_r sont les similaires et sont obtenus via la simulation sur le logiciel MMANAGAL. Nous obtenons un gain de 6.1 dB.

Pour finir nous parlerons de l'atténuation de propagation qui est l'atténuation de l'onde due à son expansion dans l'espace, cette atténuation dépend de la distance et de la fréquence, elle est donnée en décibels par la formule $A(dB) = 20 \times \log(\frac{4 \times \pi \times d}{\lambda})$, où d est la distance entre les antennes et $\lambda = \frac{c}{f}$.

Donc, sachant que la fréquence f est égale à 400MHz alors $\lambda = \frac{299792458}{400000000} = 0,749481145$.

Et $A(dB) = 20 \times \log(\frac{4 \times \pi \times d}{\lambda}) = 84.48898305dB$, on arrondit à 84.5dB.

Soit : $P_r(dBm) = P_e(dBm) + G_e(dB) - A(dB) + G_r(dB)$

$60 = P_e(dBm) + 60 - 84.5 + 6.1 = P_e(dBm) - 7.4$

Donc la puissance émise selon les critères choisis est de 67.4dBm environ.

Conclusion

En conclusion, la Télévision Numérique Terrestre (TNT) est un système de transmission qui a considérablement amélioré la qualité de l'image et du son pour les téléspectateurs en France et dans le monde. En utilisant des technologies comme les normes DVB et les formes de compression, la TNT a également permis d'augmenter le nombre de chaînes disponibles. La mise en œuvre d'un système de transmission TNT nécessite une attention particulière aux détails, comme la simulation d'une antenne, les mesures avec un testeur TNT et le calcul du bilan de liaison. En somme, la TNT est un système de transmission fiable, efficace et qui a considérablement amélioré l'expérience télévisuelle pour les téléspectateurs.

Avec la norme DVB-T2 prévue pour 2024, la TNT va continuer à évoluer pour offrir une meilleure qualité d'image et une plus grande flexibilité en termes de services. Cependant, elle doit faire face à une concurrence croissante de l'IPTV, qui offre des avantages tels que la possibilité de regarder des programmes en différé ou de profiter de services interactifs. Il sera intéressant de voir comment la TNT évolue pour maintenir sa pertinence face à cette concurrence croissante.

Bibliographie

La Télévision Numérique Terrestre :

- https://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9l%C3%A9vision_num%C3%A9rique_terrestre_en_France
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Digital_Video_Broadcasting
- <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5735314>
- <https://www.arcep.fr/actualites/actualites-et-communiqués/detail/n/audiovisuel-et-tnt-291021.html>
- <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/134000210.pdf>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Bandes_de_fr%C3%A9quences_de_la_t%C3%A9l%C3%A9vision_terrestre
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiplexing
- <https://www.recevoirlatnt.fr/particuliers/quest-ce-que-la-tnt/la-mise-en-place-de-la-tnt-en-france>
- https://lafibre.info/images/sat/201005_tnt_par_jean-philippe_muller.pdf

Caractérisation d'une liaison TNT :

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Qualit%C3%A9_de_r%C3%A9ception_en_t%C3%A9l%C3%A9vision_terrestre#:text=La%20qualit%C3%A9%20de%20r%C3%A9ception%20en,%C3%A9quipements%20exploit%C3%A9s%20pour%20la%20d%C3%A9moduler.

Table des figures

1	Télévision analogique et télévision numérique	4
2	Charles Jenkins devant l'un des premiers transmetteurs de télévision	5
3	Première télévision créée par l'ingénieur et inventeur Baird	6
4	Les 27 chaînes gratuites sur la TNT	7
5	Représentation mondial des standards de la télévision numérique	8
6	Différence entre les standards de télévision numérique	9
7	Bande de Fréquences	12
8	Schéma de la représentation d'un signal OFDM	14
9	Multiplex des chaînes en France	15
10	Schéma de chiffage d'une transmission	16
11	Antenne Panneau	17
12	Parabole	17
13	Antenne Râteau/Yagi	18
14	Installation de l'antenne Yagi	18
15	Relève des valeurs avec l'HD Ranger	19
16	Relève des valeurs avec l'HD Ranger	19
17	Diagramme de constellation	20
18	Modélisation d'une antenne Yagi	21
19	Résultat du rayonnement de l'antenne	22
20	Résultat en 3D du rayonnement de l'antenne	22
21	Schéma de liaison d'une antenne cliente à un relais antenne opérateur	23
22	Schéma du bilan de liaison d'une liaison TNT	23