



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT TELECOMMUNICATION



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention

du DIPLOME d'INGENIEUR

*Spécialité : Télécommunication
Option : Radiocommunications (RC)*

Par: **MAMINIALA ANDRIAMIHAMINA To Vivien**

***OPTIMISATION DE LA COUVERTURE DE LA
VILLE D'ANTANANARIVO PAR LA TELEVISION
NUMERIQUE TERRESTRE***

Soutenu le vendredi 30 mai 2014 devant la Commission d'Examen composée de :

Président :

M. RAKOTOMALALA Mamy Alain

Examinateurs :

M. RADONAMANDIMBY Edmond Jean Pierre

M. RASAMOELINA Jacques Nirina

Mme RAMAFIARISONA Malalatiana Hajasoa

Directeur de mémoire :

M. ANDRIAMIASY Zidora

REMERCIEMENTS

« *Remets ta voie à l'Eternel et confie toi en lui* » Psaumes 37 : 5

Je tiens à remercier de tout mon cœur le Seigneur de m'avoir donné les forces et le courage pour mener à bien ce mémoire de fin d'études.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur ANDRIANARY Philippe Antoine, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.

Je tiens également à témoigner ma reconnaissance et ma gratitude les plus sincères à Monsieur ANDRIAMIASY Zidora, qui, en tant que Directeur de ce mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de sa réalisation.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur RAKOTOMALALA Mamy Alain, Chef de Département Télécommunications et aussi président de jury de cette soutenance de fin d'étude.

J'exprime également ma gratitude aux membres de jury qui ont voulu examiner ce travail :

- Monsieur RADONAMANDIMBY Edmond Jean Pierre
- Monsieur RASAMOELINA Jacques Nirina
- Madame RAMAFIARISONA Malalatiana Hajasoa

Je remercie également tous les Enseignants du département Télécommunication, sans qui je n'aurais pas pu arriver aux termes de mes études à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, ainsi que le corps Enseignant et Administratif de cette école.

Mes remerciements s'adressent également à la société « Gulfsat/Blueline » pour leur collaboration pendant la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je n'oublie pas mes parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience. J'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
TABLES DES MATIERES	ii
NOTATIONS ET ABREVIATIOS.....	vi
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : LA TELEVISION NUMERIQUE.....	2
1.1 Introduction.....	2
1.2 Historique de la télévision	2
1.3 Modes de diffusion	2
<i>1.3.1 La télévision numérique par satellite</i>	2
<i>1.3.2 La télévision numérique par câble</i>	3
<i>1.3.3 ADSL.....</i>	5
1.4 La télévision numérique terrestre ou TNT	6
<i>1.4.1 Définition</i>	6
<i>1.4.2 Concepts.....</i>	6
<i>1.4.3 Mode de réception.....</i>	12
1.5 Les normes de la TNT ou système DTTB	13
<i>1.5.1 ATSC ou système A.....</i>	13
<i>1.5.2 DVB-T/T2 ou système B</i>	14
<i>1.5.3 ISDB-T ou système C.....</i>	15
1.6 Conclusion	17
CHAPITRE 2 : LA NORME DVB-T	18
2.1 Introduction.....	18
2.2 Architecture de la norme DVB-T	18
<i>2.2.1 Présentation du système DVB-T.....</i>	18
<i>2.2.2 Adaptation MUX et brassage.....</i>	19
<i>2.2.3 Codage externe (Reed-Solomon) et entrelaceur externe</i>	20

<i>2.2.4 Codage interne</i>	22
<i>2.2.5 Entrelaceur interne.....</i>	23
<i>2.2.6 Constellations et mappage de signaux</i>	26
<i>2.2.7 Structure de trame OFDM</i>	27
<i>2.2.8 Signal de référence</i>	29
<i>2.2.9 TPS ou signal des paramètres de la transmission</i>	30
2.3 Implémentation aspect transmission.....	31
<i>2.3.1 Mode de fonctionnement</i>	31
<i>2.3.2 Choix des paramètres</i>	33
<i>2.3.3 Réseaux DVB-T</i>	35
2.4 Conclusion	36
CHAPITRE 3 : ANALYSE DE LA COUVERTURE DE LA TNT A ANTANANARIVO	37
3.1 Introduction.....	37
3.2 Planification d'un réseau.....	37
<i>3.2.1 Couverture pour une réception fixe et portable.....</i>	37
<i>3.2.2 Valeur du rapport signal sur bruit C/N requis pour une chaîne de transmission idéale</i>	38
<i>3.2.3 Rapport de protection.....</i>	38
<i>3.2.4 Les valeurs minimales requises à la réception.....</i>	39
<i>3.2.5 Quelques définitions</i>	44
3.3 La Couverture existante à Antananarivo	45
<i>3.3.1 La TNT actuelle à Antananarivo</i>	45
3.4 Conclusion	56
CHAPITRE 4 : OPTIMISATION DE LA COUVERTURE DE LA VILLE D'ANTANANARIVO ..	57
4.1 Introduction.....	57
4.2 Présentation de la norme DVB-T2	57
<i>4.2.2 Bande passante</i>	57
<i>4.2.3 Codage.....</i>	57
<i>4.2.4 Taille de la FFT ou nombre de porteuses OFDM</i>	58

<i>4.2.5 Type de modulation et longueur de l'intervalle de garde</i>	58
<i>4.2.6 Motifs des pilotes dispersés ou Scattered pilot patterns.....</i>	59
<i>4.2.7 Rotation de constellation</i>	61
<i>4.2.8 Entrelacement en temps ou Time interleaving</i>	62
<i>4.2.9 Extension de la bande passante.....</i>	62
<i>4.2.10 Autres</i>	62
<i>4.2.11 Signal sur bruit ou C/N</i>	63
<i>4.2.12 Débit net d'un multiplex DVB-T2</i>	66
<i>4.2.13 Méthode de planification</i>	66
4.3 Les variantes de solutions possibles pour la ville d'Antananarivo	67
<i>4.3.1 Scénario 1 : Réception portable : débit maximal.....</i>	68
<i>4.3.2 Scénario 2 : Réception portable : Extension de la zone de couverture au maximum.....</i>	68
<i>4.3.3 Scénario 3: Réception portable avec l'utilisation optimale du spectre</i>	69
4.4 Choix de la solution et simulation.....	69
<i>4.4.1 Paramètres requis à la simulation.....</i>	69
<i>4.4.2 Simulation pour une réception portable classe A</i>	71
<i>4.4.3 Simulation pour une réception portable de classe B</i>	72
4.5 Changements dans le réseau de transmission.....	76
<i>4.5.1 Caractéristiques du nouvel système</i>	76
4.6 Conclusion	77
CONCLUSION GENERALE	78
ANNEXE 1: MODULATION MULTIPORTEUSE	79
<i>Principe des modulations multi porteuses.</i>	79
<i>Principe de la modulation.....</i>	79
<i>Principe de la démodulation.....</i>	81
<i>Principes du modulateur et du démodulateur utilisant les transformées de Fourier discrètes</i>	82
ANNEXE 2 : OUTIL DE CALCUL REALISE AVEC MATLAB	85
<i>Fonction</i>	85

<i>Fonctionnement</i>	85
<i>Réalisation</i>	85
ANNEXE 3 : ICS DESIGNER	87
ANNEXE 4 : PRESENTATION DE L'ACCORD GE06	88
DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES	88
INSUFFISANCES DE LA TELEVISION ANALOGIQUE TERRESTRE	90
AVANTAGES DE LA TV NUMERIQUE	90
ACTEURS DE LA RADIODIFFUSION NUMERIQUE	91
PROFESSIONNELS DE LA RADIODIFFUSION NUMERIQUE	91
DEVELOPPEMENT DES CONTENUS DE PROGRAMMES	91
ENJEUX ECONOMIQUES	92
CADRE JURIDIQUE	92
VULGARISATION DES MOYENS DE RECEPTION	93
TELESPECTATEURS	93
ANNEXE 5 : ALGORITHME DE COMPRESSION VIDEO	94
H.263	94
MPEG	94
H.264	95
BIBLIOGRAPHIE	97
FICHE DE RENSEIGNEMENTS	99
RESUME	100
ABSTRACT	100

NOTATIONS ET ABREVIATIOS

1. Minuscules latines

$a_{e,w}$	bit number w of inner bit interleaver output stream e
$a_k(t)$	partie réel du signal modulant
$b_{e,do}$	output bit number do of demultiplexed bit stream number e of the inner interleaver demultiplexer
$b_{e,w}$	bit number w of inner bit interleaver input steam e
b_i	bit number i of the cell identifier
$b_k(t)$	partie imaginaire du signal modulant
$c(t)$	signal modulant
$c_k(t)$	signal modulant sous forme complexe
$c_{m,l,k}$	complex cell for frame m in OFDM symbol l at carrier k
d_{free}	convolutional code free distance
f_c	frequence central du signal d'émission
$g(x)$	Reed-Solomon code generator polynomial
$h(x)$	BCH code generator polynomial
i	priority stream index
j	branch index of the outer interleaver
k	carrier number index in each OFDM symbol
l	OFDM symbol number index in an OFDM frame
m	OFDM frame number index
m'	OFDM super-frame number index
$m(t)$	Signal à échantillonné
$m_e(t)$	Signal échantillonné
n	transport stream sync byte number
p	scattered pilot insertion index
$p(x)$	RS code field generator polynomial
r_i	code rate for priority level i
s_i	TPS bit index
t	number of bytes which can be corrected by the Reed-Solomon decoder
u	bit numbering index
v	number of bits per modulation symbol

w_k	value of reference PRBS sequence applicable to carrier k
x''_{di}	low priority input bit number di to the inner interleaver demultiplexer
x'_{di}	high priority input bit number di to the inner interleaver demultiplexer
x_{di}	input bit number di to the inner interleaver demultiplexer
y'_q	bit number q of intermediate vector of inner symbol interleaver
y_q	bit number q of output from inner symbol interleaver
z	complex modulation symbol

2.Majuscules latines

$A(e)$	output vector from inner bit interleaver e
$B(e)$	input vector to inner bit interleaver e
B	Bande passante
C/N	Carrier-to-Noise ratio
C'_k	Complex modulation for a reference signal at carrier k
$C'_{l,k}$	Complex modulation for a TPS signal at carrier k in symbol l
E_{med}	Champ médian minimal équivalent
E_{min}	Champ minimal équivalent
$F_{downlink}$	Fréquence descendant
$FECFRAME$	trame de 162000 ou 64800 bits après le codage LDPC
F_{uplink}	Fréquence montant
$G1, G2$	convolutional code Generator polynomials
$H(q)$	inner symbol interleaver permutation
$H_e(w)$	inner bit interleaver permutation
I	Interleaving depth of the outer convolutional interleaver
$I0,I1,I2,I3,I4,I5$	inner Interleavers
K	number of active carriers in the OFDM symbol
K_{bch}	number of bits of BCH uncoded Block
K_{ldpc}	number of bits of LDPC uncoded Block
K_{min}, K_{max}	carrier number of the lower and largest active carrier respectively in the OFDM signal
$LBTW$	Largeur de bande utile
M	convolutional interleaver branch depth for $j = 1$, $M = N/I$
N	length of error protected packet in bytes

N_{bch}	number of bits of BCH coded Block
N_{ldpc}	number of bits of LDPC coded Block
N_{max}	inner symbol interleaver block size
$P(n)$	interleaving Pattern of the inner symbol interleaver
$P_k(f)$	Power spectral density for carrier k
P_{smin}	Puissance minimale à l'entrée du récepteur
RS	Codage Reed Solomon
$S(t)$ et $m(t)$	signal modulé
T	elementary Time period
T_e	Période d'échantillonage
T_F	Time duration of a frame
T_f	Période d'une trame OFDM
T_s	duration of an OFDM symbol
T_U	Time duration of the useful (orthogonal) part of a symbol, without the guard interval
Y'	intermediate vector of inner symbol interleaver
Y	output vector from inner symbol interleaver

3.Minuscules grecs

α	constellation ratio which determines the QAM constellation for the modulation for hierarchical
δ	fonction de Dirac

4.Majuscules grecs

Δ	time duration of the guard interval
$\psi_{Te(t)}$	Peigne de Dirac de période T_e

5.Abréviations

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ATSC	Advanced Television Systems Committee
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem multiple error correction binary block code
BLR-8	Bande Latérale Résiduelle à 8 niveaux
BST	Band Segmented Transmission

C/I	Carrier over Interference ratio
C/N	Carrier over Noise ratio
CPC	Continual Pilot Carrier
DEMUX	Démultiplexeur
DTTB	Digital Terrestrial Television Broadcasting
DVB	Digital Video Broadcasting
DVB-C	DVB system for Cable broadcasting
DVB-S	DVB system for Satellite broadcasting
DVB-T	DVB system for Terrestrial broadcasting
ERP	Effective Radiated Power
FFT	Fast Fourier Transform
FIFO	First In First Out
HD	High Definition
HFC	Hybrid Fiber Coaxial
HP	High priority
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IP	Internet Protocol
IPTV	IP Television
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial
LDPC	Low Density Parity Check
LP	Low Priority
LTE	Long Term Evolution
MFN	Multiple Frequency Network
MPEG	Moving Picture Experts Group
MUX	Multiplexeur
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAL	Phase Alternating Line
PAPR	Peak Average Power Ratio
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PP	Pilot Pattern
PRBS	Pseudo Random Binary Sequence
PSK	Phase Shift Keying

QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Frequency
RFU	Réseau à Fréquence Unique
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Services
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SECAM	SEquentiel Couleur A Mémoire
SFN	Single Frequency Network
SPC	Scattered Pilot Carrier
TEB	Taux d'Erreur Binaire
TNT	Télévision Numérique Terrestre
TPS	Transmission Parameter Signaling
TVHD	Television High Definition
UIT	Union Internationale de la Télécommunication

INTRODUCTION

Le tout numérique devient un projet international. Avec la TNT, l'offre télévisuelle s'enrichit et se diversifie. La transition vers la télévision numérique, d'une part, apporte une meilleure qualité des images et du son grâce à la puissance des techniques de codage numérique, un large choix de chaînes par l'utilisation des multiplex et une bonne qualité de réception. D'autre part, son implémentation permet de libérer les plages de fréquences occupées par la télévision analogique où une seule bande de fréquences est allouée pour la diffusion d'une seule chaîne, cet effet permet aux autres services de la télécommunication de se développer.

Madagascar, un pays sub-saharien qui, d'après l'accord GE06 de Genève doit passer en tout numérique en Juin 2015. Ce passage implique l'extinction de la diffusion de la télévision traditionnelle dite analogique et la mise en place d'une diffusion numérique, la TNT. La TNT existe déjà à Madagascar, elle est diffusée par la société « Gulfsat/Blueline » depuis 2011, mais la couverture est encore limitée à l'échelle locale. Dans le cas de la ville d'Antananarivo les zones masquées sont encore nombreuses. C'est pour cette raison que nous avons orienté cette présentation sur l'optimisation de la couverture de la ville d'Antananarivo, nous allons apporter une solution en faisant une planification radio à l'aide d'un outil spécialisé. Pour bien cerner ce thème nous avons divisé l'ouvrage en quatre grandes parties.

En premier lieu, nous allons expliquer ce qu'on entend par la télévision numérique ; cette partie expose les types de diffusion numériques, le principe de la TNT et les normes utilisées pour la TNT par chaque pays.

La deuxième partie nous permet de donner les détails sur la norme DVB-T qu'on utilise en ce moment, on y voit l'architecture du DVB-T avec l'explication de chaque bloc et l'implémentation du système DVB-T où nous allons voir son fonctionnement et comment faire le choix des paramètres.

Pour la troisième partie, nous allons se focaliser sur l'étude et l'analyse du problème du réseau l'existant à Antananarivo afin de pouvoir trouver des solutions. Cette analyse se repose sur l'application d'une méthode de planification d'un réseau de diffusion.

Et dans la quatrième et dernière partie, nous allons donner des solutions pour améliorer la couverture de la ville d'Antananarivo, qui sont basées sur la norme DVB-T2 avec une simulation de la couverture. Des détails sur la norme DVB-T2 seront abordés, la différence entre le DVB-T et la DVB-T2 plus précisément.

CHAPITRE 1

LA TELEVISION NUMERIQUE

1.1 Introduction

L'évolution de la technologie nous a permis la diffusion de la télévision numérique. Dans ce chapitre nous allons expliquer les différents supports de transmission de la diffusion numérique comme : le satellite, le faisceau hertzien, le câble et l'ADSL. Nous allons présenter le principe de la télévision numérique par voie hertzien ou la TNT, puis citer les normes existantes pour la TNT.

1.2 Historique de la télévision

1817 : découverte de la propriété qui engendrera la cellule photovoltaïque. Cellule qui permet de transformer la lumière en courant électrique.

1897 : mise au point du tube cathodique

1931 : René Barthélémy effectue en France la première transmission d'une image de 30 lignes.

1936 : retransmission des Jeux Olympiques en Allemagne. Plus de 150000 téléspectateurs assistent en direct à cet événement.

1951 : première émission public de télévision couleur

1969 : Vision en direct du premier pas de l'homme sur la lune.

1994 : première transmission numérique aux Etats Unis pour le grand public.

1998 : la Grande Bretagne lance ses chaînes de télévision numérique terrestre

1999 : apparition de la nouvelle norme MPEG-2

2000 : naissance des normes MPEG 4 et 7

2003 : attribution de fréquence pour la TNT en France

2005 : déploiement de la TNT en France

1.3 Modes de diffusion

La télévision numérique peut utiliser différents mode de diffusions : le satellite, le câble, l'ADSL et le faisceau hertzien.

1.3.1 *La télévision numérique par satellite*

La télévision par satellite impose l'utilisation d'une antenne spéciale, la parabole, permettant de capter les informations provenant d'un satellite.

Le satellite renvoie sur une grande surface de la terre, le signal qui lui est envoyé d'une station émettrice. La fréquence du signal de montée $17.3 < F_{uplink} < 18.1\text{GHz}$ est différente de celle du signal de descente $10.96 < F_{downlink} < 12.74\text{GHz}$. [3]

Chaque foyer reçoit directement le signal du satellite. Il y a nécessité d'avoir un appareil appelé démodulateur, qui fournit le signal utilisable directement par la télévision sur la prise périphérique. L'avantage de la télévision par satellite réside donc dans la possibilité de recevoir la télévision dans n'importe quelle région, ceci explique le développement de ce type de réception dans les régions montagneuses. [3]

Avantage [2]:

- Grand choix de chaînes
- Qualité optimale du son et de l'image
- Disponibilité des chaînes en HD
- Large couverture
- Liberté de choix du matériel

Inconvénient [2]:

- Combiner deux offres pour capter chaînes suisses et françaises
- Investissement en matériel et installation plus lourds
- Pas d'offre groupée tél/tv/internet
- Difficulté de connecter plusieurs téléviseurs
- Interactivité selon choix du matériel

1.3.2 La télévision numérique par câble

Les réseaux câblés reposent très majoritairement sur des architectures HFC (Hybrid Fiber Coaxial), c'est-à-dire sur l'utilisation de la fibre optique et du câble coaxial dans les derniers mètres avant d'arriver chez l'abonné. La largeur de bande passante de ces réseaux a généralement été étendue à 860 MHz qui est divisée en plusieurs canaux. [19]

Trois grands types de services sont disponibles sur les réseaux câblés : l'accès Internet haut débit, les offres de téléphonie (voix sur IP) et les offres de télévision, avec dans certains cas des services de vidéo à la demande. [19]

Les réseaux câblés permettent donc de diffuser en même temps la télévision en mode analogique et en mode numérique au prix d'une diminution du nombre de chaînes distinctes offertes.

La capacité totale des réseaux en voie descendante est en moyenne de 5 Gbps à 7 Gbps selon la norme employée.

Le nombre des canaux disponible est limité pour la télévision [19]:

- pour éviter les interférences, deux chaînes de télévision analogiques ne peuvent être diffusées sur des canaux adjacents ;
- des interférences sont également possibles entre les canaux utilisant la diffusion hertzienne et ceux utilisés pour la diffusion par câble ;
- les équipements de réseaux peuvent limiter la fraction de spectre réellement utilisable, c'est le cas notamment des amplificateurs d'ancienne génération qui peuvent ne pas couvrir pas la totalité de la bande de fréquences utilisée en télévision ;
- les réseaux câblés reprennent des signaux de télévision provenant de différentes sources (satellite, terrestre analogique/numérique) ce qui impacte le schéma d'agencement des réseaux ;
- les fréquences basses (jusqu'à 65 MHz) sont en général réservées à la voie montante ;
- des canaux (en fréquence haute) sont réservés à la voie descendante de l'accès Internet haut débit.

Avantages [2]:

Pas d'installation d'antenne

- Pas de connexion internet nécessaire
- Offres combinées téléphone, télévision et internet possible
- Grand choix de chaines
- Enregistrement sans magnétoscope (directement sur le décodeur)
- Interactivité (fonction pause, enregistrement)
- Guide électronique des programmes

Inconvénients [2]:

- Service après-vente aléatoire
- vidéo à la demande encore peu développée
- Prix élevé
- Un abonnement pour un poste de télévision

1.3.3 ADSL

L'ADSL est une technique de communication qui permet d'utiliser une ligne téléphonique d'abonné pour transmettre et recevoir des signaux numériques à des débits élevés, de manière indépendante du service téléphonique proprement dit. [19]

Les services de télévision distribués utilisent la technologie dite « d'encapsulation IP », technologie répandue sur Internet. On parle d'ailleurs couramment d'« IPTV ».

La distribution de l'IPTV s'appuie sur une architecture multicast (distribution point-multipoint) et non diffusion (caractéristique des réseaux hertziens terrestre et satellite).

Un multicast IP permet d'envoyer la même séquence à un groupe de machines avec un seul envoi. Le groupe de machines est dynamique (une station peut rejoindre ou quitter le groupe) et ouvert (émission possible vers un groupe de l'extérieur). Le multicast, conçu uniquement pour de la diffusion en streaming direct, réduit considérablement les besoins en bande passante (au moins d'un facteur 10 à 100) par rapport à l'unicast (distribution point à point), puisqu'il dispense de nombreux renvois, tout en assurant une qualité de service élevée. [19]

Les services de télévision distribués par ADSL requièrent un certain débit descendant, c'est-à-dire du réseau vers l'abonné, d'environ 1,5 à 5 Mbps selon les choix du fournisseur d'accès à internet, afin de garantir la qualité de l'image reçue par l'abonné. Or le débit descendant dont l'abonné possède décroît rapidement lorsque la distance de l'habitat de l'abonné à son nœud de raccordement augmente. [19]

L'utilisation du réseau téléphonique commuté pour distribuer des services de télévision fait basculer le monde de la télévision de l'univers de la diffusion vers celui du multicast. L'allocation maximale de bande passante à prévoir par le distributeur de chaînes correspond au nombre total de programmes offerts, multiplié par le débit moyen alloué à chacun. La question du débit disponible est donc centrale pour le développement des services sur ADSL. [19]

La qualité de la transmission va dépendre du soin apporté à l'encodage vidéo, actuellement au format MPEG-2. La compression est impérative pour ramener le flux numérique à des dimensions admissibles pour une transmission par ADSL. Les chaînes de télévision acceptent comme satisfaisant un débit qui peut être de 2.5 ou 3 Mbps pour une offre de télévision payante, en compression MPEG-2, avec des variations en fonction du type de contenu : un film intimiste ou un « talk-show », parce qu'ils comportent peu d'action, consomment relativement peu de bande passante alors qu'un film d'action ou une retransmission sportive sont au contraire très exigeants en largeur de bande passante. En MPEG-4, le débit est ramené à 1.5 Mbps. De plus, il faut ajouter

les données de contrôle associées à la transmission sur le haut débit, ce qui peut représenter 20% en plus. [19]

Les besoins en débit pourraient cependant augmenter à moyen terme du fait notamment de la volonté des opérateurs de généraliser la télévision haute définition (8 Mbps minimum sont alors nécessaires pour faire passer une seule chaîne en MPEG-4) et leur souhait éventuel de distribuer plusieurs chaînes simultanément. Parallèlement, les performances en termes de compression devraient s'améliorer. [19]

Avantage [2]:

- Pas d'installation d'antenne
- Grand choix de chaînes
- Offres combinées télévision, internet et téléphone
- Enregistrement sans magnétoscope (directement sur le décodeur)
- Interactivité (pause, enregistrement)
- Guide électronique des programmes
- vidéo à la demande
- Plusieurs postes possibles sur le même abonnement

Inconvénients [2]:

- Débit insuffisant sur certaines lignes
- Prix élevé
- câblage important dû aux distances entre prise téléphone et téléviseur

1.4 La télévision numérique terrestre ou TNT

1.4.1 *Définition*

La Télévision Numérique Terrestre ou TNT est un mode de diffusion terrestre de la télévision dans lequel les signaux vidéo, audio et de données ont été numérisés, puis ordonnés dans un flux unique avant d'être modulés puis diffusés, c'est-à-dire transportés jusqu'au téléspectateur via les ondes électromagnétiques. [4]

1.4.2 *Concepts*

Ce modèle est divisé en trois blocs : le codage source et la compression des sources numériques vidéo et audio, le service multiplex et transport des programmes et le système de transmission RF.

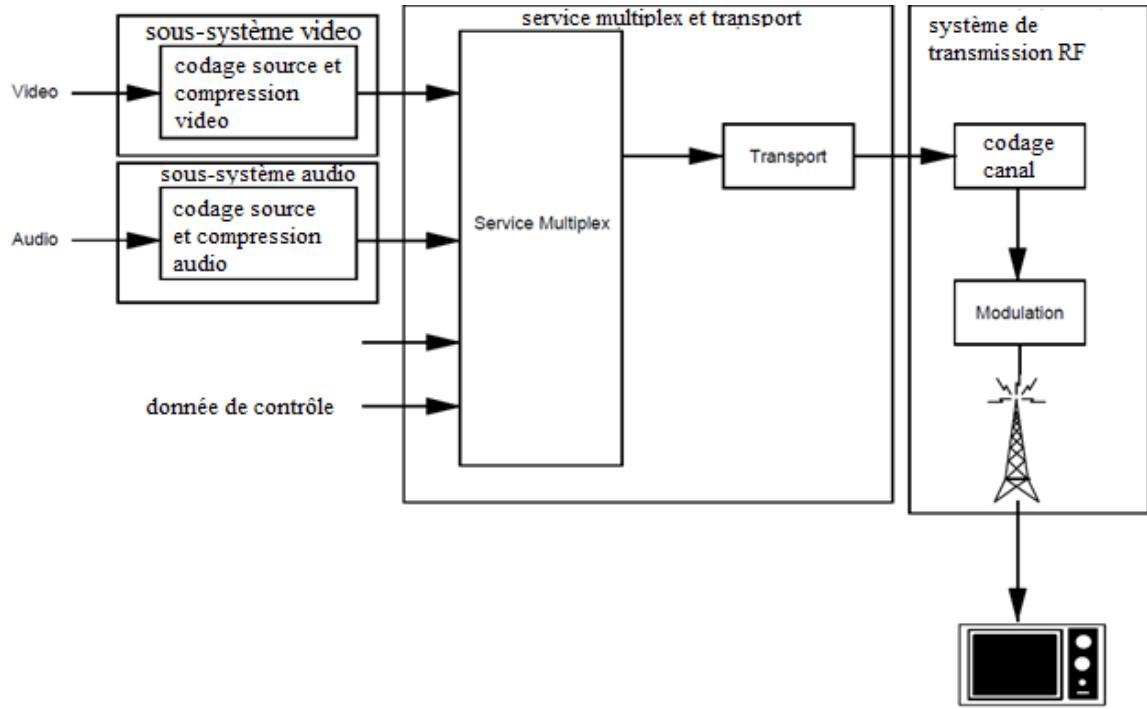


Figure 1.01 : Modèle DTTB de l'UIT-R

La numérisation

Le signal électrique de la caméra est numérisé : cela consiste à sélectionner des points à intervalle régulier sur la courbe et à coder leur position en binaire. [4]

Un signal digital ou numérique est un signal défini seulement pour un certain nombre d'instants que l'on choisit de préférence périodique. La valeur du signal pour chacun de ces instants ne peut prendre elle-même que des valeurs discrètes. Pour obtenir un signal digital à partir d'un signal analogique, on procède en deux étapes :

- Etape d'échantillonnage

Pendant cette étape, on va échantillonner le signal analogique avec une période d'échantillonnage T_e . On obtient un signal échantillonné défini seulement aux instants kT_e . [6]

Expression du signal échantillonné :

$$me(t) = m(t) \cdot \psi T_e(t) \quad (1.01)$$

Avec:

$$\psi T_e(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - k T_e) \quad (1.02)$$

D'où

$$m_e(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} m(k T_e) \delta(t - k T_e) \quad (1.03)$$

- Etape de quantification

Pendant cette étape, dite aussi étape de codage, on va discréteriser la valeur du signal, pour cela on va les ramener aux valeurs discrètes possibles. Pour cela, on peut procéder de deux façons différentes [6]:

- par troncature, on prend la valeur discrète immédiatement inférieure.
- par arrondi, on prend la valeur discrète la plus proche.

Le codage source et la compression

Le codage de source vise à la concision maximale du message, afin de minimiser les ressources nécessaires à la transmission (temps, puissance, bande passante, surface de stockage, etc.). Ce codage peut donc, pour diminuer le coût de la transmission, substituer un message aussi court que possible au message émis par la source, dans la mesure où cette substitution est réversible. Le codage canal est limité par le premier théorème de Shannon : *pour toute source discrète il existe un code dont la longueur moyenne est arbitrairement proche de l'entropie.* [7]

La compression consiste à réduire la taille physique de blocs d'informations. Elle est très utile pour plusieurs applications informatiques. Les différents algorithmes de compression sont basés sur 3 critères [18]:

- Le taux de compression : c'est le rapport de la taille du fichier compressé sur la taille du fichier initial.
- La qualité de compression : sans ou avec pertes (avec le pourcentage de perte).
- La vitesse de compression et de décompression.

Un compresseur utilise un algorithme qui sert à optimiser les données en fonction du type de données à compresser ; un décompresseur est donc nécessaire pour reconstruire les données grâce à l'algorithme dual de celui utilisé pour la compression. [18]

La méthode de compression dépend du type de données à compresser car une image ou un fichier audio ne représentent pas le même type de données. [18]

Comme le poids des images numérisées est trop important, il est nécessaire de les compresser et de ne faire voyager que les codes qui ont changés. Comme le signal a été découpé en une série de codes, il est possible d'envoyer uniquement ceux qui ont changé par rapport à l'image précédente. Concrètement, sur une bande de 8 Mhz, là où on pouvait ne diffuser qu'un programme analogique, on va pouvoir diffuser simultanément 5 ou 6 programmes numériques. [4]

Le multiplexage

Certains programmes sont plus difficiles à compresser que d'autres. Leurs images sont plus compliquées à décrire et prennent plus de place, à l'inverse des dessins animés où le décor change peu et seuls les personnages bougent. Donc il faudra équilibrer les chaînes pour éviter les engorgements et bien les agencer intelligemment en fonction de leurs usages du débit au cours de la journée. [4]

Les programmes compressés vont pouvoir voyager ensemble par petits morceaux sur la même bande de 8 Mhz, là où ils trouvent de la place. Au final, toute la bande sera occupée, et les 5 ou 6 programmes qui voyageront ensemble sur la même bande formeront un multiplex. [4]

Multiplexage des signaux numériques

Quelle que soit la solution adoptée pour le codage, soit par voie ou commun, son résultat est une suite binaire. L'étape suivante consiste en général à fournir un train à plus grand débit par multiplexage temporel de plusieurs trains numériques. Pour former ce train, deux approches sont possibles [8]:

- Multiplexage tramé

Le multiplexage par répartition dans le temps de N signaux numériques de durées élémentaires t est réalisé en affectant à chaque impulsion incidente un intervalle de temps bien, déterminé d'une durée voisine de $\frac{1}{N}$ et en entrelaçant les impulsions ainsi réduites en largeur.

Le problème essentiel qui se pose dans ce type ce multiplex est la distribution du rythme. [8]

- Multiplexage non tramé - Commutation de paquets adressés

Lorsque l'on utilise un support de transmission pour lequel la notion de bande passante est essentielle, il est intéressant d'utiliser au mieux ce support.

Ceci revient à réaliser un multiplexage auto-adaptatif à la quantité d'information à acheminer.

Dans ce type de multiplexage, une communication donnée n'a pas d'intervalle de temps affecté en propre, elle s'insère dans le flot des autres communications acheminées sur le support dès qu'elle trouve un intervalle de temps libre. [8]

Pour pouvoir être multiplexés, les signaux numériques doivent être synchronisés, c'est à dire que leurs instants significatifs doivent avoir une relation de phase voulue. Lorsque le signal de rythme restitué s'accompagne d'une modulation de phase parasite, il y a de la gigue ou « Jitter ».

Il faut donc s'affranchir des variations du temps de propagation et de la gigue et positionner les impulsions : ces fonctions sont réalisées dans une mémoire tampon ; celle-ci sert également à permettre l'insertion des bits de remplissage. [8]

Pour obtenir un multiplexage sans pertes d'information, deux procédés sont possibles :

- Multiplexage synchrone

Le réseau est synchronisé sur une même horloge. Le multiplexage est simple à réaliser mais la distribution du rythme pose des problèmes délicats lorsqu'il s'agit d'un réseau universel couvrant une grande étendue géographique. [8]

- Multiplexage asynchrone

Ou plus exactement, multiplexage de signaux « Plésiochrones ».

Les signaux numériques plésiochrones sont tels que leurs instants significatifs se présentent à la même cadence nominale, toute variation de cette cadence étant maintenue dans des limites spécifiées. [8]

Le codage canal

Le codage de canal vise quant à lui à la protection du message contre les perturbations du canal de transmission. Il sert à détecter et corriger l'erreur pendant la transmission. Si les perturbations engendrées induisent une qualité de restitution incompatible avec les spécifications fixées, le codage de canal se propose de transformer le message de manière à en augmenter la sûreté de transmission. Le principe du codage canal est d'ajouter des bits de redondances aux bits d'information pour que le décodeur arrive à détecter et corriger les erreurs. [7]

Théorème de Shannon : *il est possible de transmettre sans erreurs si le débit d'information est inférieur à la capacité du canal.* [7]

Il existe deux familles de codage canal le code en bloc et le code convolutif.

La modulation

La modulation a pour objectif d'adapter le signal à émettre au canal de transmission. Cette opération consiste à modifier un ou plusieurs paramètres d'une onde porteuse centrée sur la bande de fréquence du canal. [9]

$$S(t) = A \cos (\omega_0 t + \varphi_0) \quad (1.04)$$

Principes de la modulation numérique

Le message à transmettre est issu d'une source binaire.

Le signal modulant, obtenu après codage, est un signal en bande de base, éventuellement complexe, qui s'écrit sous la forme [9]:

$$c(t) = \sum_k c_k \cdot g(t - kT) = c_k(t) = a_k(t) + j b_k(t) \quad (1.05)$$

La fonction $g(t)$ est une forme d'onde qui est prise en considération dans l'intervalle $[0, T]$ [puisque t doit vérifier la relation : $kT \leq t < (k+1)T$].

Si les $c_k(t)$ sont réels, la modulation est dite unidimensionnelle, et s'ils sont complexes la modulation est dite bidimensionnelle. [9]

Le signal modulé peut s'écrire :

$$m(t) = \sum_k a_k(t) \cos(\varpi_0 + \varphi_0) - \sum_k b_k(t) \sin(\varpi_0 + \varphi_0) \quad (1.06)$$

Le signal $a(t) = \sum_k a_k(t)$ module en amplitude la porteuse $\cos(\varpi_0 + \varphi_0)$ et le signal $b(t) = \sum_k b_k(t)$ module la porteuse en quadrature $\sin(\varpi_0 + \varphi_0)$.

Les deux signaux $a(t)$ et $b(t)$ sont aussi appelés « trains modulants » et s'écrivent $a(t) = \sum_k a_k \cdot g(t - kT)$ et $b(t) = \sum_k b_k \cdot g(t - kT)$

Les symboles a_k et b_k prennent respectivement leurs valeurs dans l'alphabet (A_1, A_2, \dots, A_M) et dans l'alphabet (B_1, B_2, \dots, B_M).

Les différents types de modulations sont définis par les alphabets décrits ici dessus et par la fonction $g(t)$.

A chaque symbole émis correspond un signal élémentaire de la forme :

$$m_k(t) = a_k \cdot g(t - kT) \cdot \cos(\varpi_0 + \varphi_0) - b_k \cdot g(t - kT) \cdot \sin(\varpi_0 + \varphi_0) \quad (1.07)$$

qui peut être représentés dans un espace à deux dimensions.

Le signal modulé $m(t)$ véhicule des informations distinctes à travers $a_k(t)$ et $b_k(t)$ qui sont deux signaux en bande de base appelés respectivement composante en phase (I en anglais) et composante en quadrature (Q en anglais). [9]

1.4.3 Mode de réception

Il existe actuellement trois modes possibles :

Réception fixe [4]

Elle fonctionne simplement à l'aide d'une antenne de toit conventionnelle.

Elle ne nécessite aucune intervention requise sur l'antenne dans 75% de cas.

Seule l'acquisition d'un adaptateur est nécessaire.

Réception portable [4]

C'est la possibilité de recevoir les programmes numériques par une antenne intérieure posée sur le téléviseur voir intégré à ce dernier.

Elle permet de s'affranchir du câblage.

Elle doit toucher 40% de la population à terme.

Elle est facilitée par la présence d'émetteurs en périphérie.

Réception mobile [4]

C'est la possibilité de recevoir les programmes en se déplaçant.

Elle est difficile avec la TNT qui favorise le nombre de programmes.

1.5 Les normes de la TNT ou système DTTB

1.5.1 ATSC ou système A

La norme de télévision numérique ATSC a été élaborée aux Etats-Unis d'Amérique par l'Advanced Television Systems Committee.

Le système ATSC a été conçu pour transmettre des images et un son de haute qualité (TVHD), ainsi que des données auxiliaires, dans un canal unique de 6 MHz. Ce système a été développé pour les besoins de la radiodiffusion de Terre. Il est capable de transmettre de façon fiable, 19,4 Mbit/s de données dans un canal de Terre de 6 MHz. [5]

Pour la radiodiffusion de Terre, le système permet d'adoindre un émetteur numérique supplémentaire à chaque émetteur analogique existant ayant une couverture comparable avec un minimum de perturbation du service analogique existant, s'agissant de la couverture en superficie et en population. Cette possibilité est réalisée, et même dépassée, car les caractéristiques de transmission RF du système sont choisies avec soin pour le contexte de l'environnement analogique. [5]

Il est possible d'obtenir plusieurs qualités d'image avec 18 formats vidéo (haute définition ou définition normalisée, progressive ou entrelacée et plusieurs fréquences d'image). Grandes possibilités de mettre en œuvre des services à base de données, en exploitant la capacité résiduelle instantanée de transmission de données du système. Celui-ci peut fonctionner en réception fixe (et éventuellement de type «portatif»). [5]

Le système est des plus efficaces. Il est capable de fonctionner dans des conditions variées. Le système est conçu pour résister à de nombreuses formes de brouillage: brouillage causé par les services existants de télévision analogique, bruit blanc, bruit impulsif, bruit de phase, ondes entretenues et réflexions passives ou trajets multiples. Il se distingue aussi par une bonne efficacité spectrale et par une grande facilité de planification des fréquences. [5]

La modulation utilisée est la modulation à bande latérale résiduelle à huit niveaux (BLR-8) appliquée à une porteuse unique. La mise en œuvre est faite dans la version à un seul émetteur, mais le fonctionnement est fiable également avec répéteur dans le canal et réémetteur de remplissage. [5]

Bien que développé et testé avec des canaux de 6 MHz, le système peut être adapté à d'autres largeurs de canal 6, 7 ou 8 MHz, avec une adaptation correspondante de la capacité en données. [5]

1.5.2 DVB-T/T2 ou système B

Le système DVB-T a été développé par un consortium européen formé d'organisations des secteurs public et privé, le Digital Vidéo Broadcasting Project.

La spécification DVB-T fait partie d'une famille de spécifications qui s'étend également à l'exploitation par satellite (DVB-S) et par câble (DVB-C). Ces spécifications prévoient la distribution d'images numériques et du son numérique ainsi que le transport des futurs services multimédias.

Pour la télévision de Terre, le système a été conçu pour fonctionner dans le spectre d'ondes décimétriques attribué actuellement aux transmissions télévisuelles analogiques PAL et SECAM.

Bien que développé pour des canaux de 8 MHz, il peut être adapté à d'autres largeurs de canal (8, 7 ou 6 MHz), avec une adaptation correspondante de la capacité en données. Le débit binaire net disponible dans un canal de 8 MHz est compris entre 4,98 et 31,67 Mbit/s, selon le choix des paramètres de codage du canal, des types de modulation et de la durée de l'intervalle de garde.

Le système a été conçu avec une souplesse de fonctionnement intrinsèque qui lui permet de s'adapter à tous les types de canal. Il accepte non seulement des canaux à caractéristiques gaussiennes, mais aussi des canaux de type Rice et Rayleigh. Il peut résister à de fortes distorsions causées par le phénomène statique et dynamique de trajets multiples à longs temps de propagation. Le système résiste bien aussi aux brouillages causés par des signaux retardés, échos dus aux réflexions sur le terrain ou sur les bâtiments ou par des signaux provenant d'émetteurs éloignés dans les réseaux RFU. [5]

Dans le fonctionnement du système, on peut sélectionner un certain nombre de caractéristiques qui permettent l'exploitation avec une large gamme de rapports C/N et de comportements des canaux. La réception est possible en mode fixe, portatif ou mobile, moyennant un compromis sur le débit binaire utilisable. Cet ensemble de paramètres permet aux radiodiffuseurs de choisir un mode approprié à l'application projetée. On peut avoir recours à un mode moins résistant, avec un débit de données plus élevé, si des canaux à fréquences entrelacées sont prévus dans la planification du service. Les modes moins résistants, qui permettent les plus grandes charges utiles, peuvent être utilisés pour la réception fixe et dans les cas où un canal dégagé est disponible pour la radiodiffusion télévisuelle numérique. [5]

On utilise dans ce système un grand nombre de porteuses par canal, modulées en parallèle selon le procédé FFT. Cette méthode, appelée multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence ou OFDM est susceptible de deux modes de fonctionnement: un «mode 2k» appliquant une FTT 2k

et un «mode 8k» qui nécessite une FTT 8k. Le système permet de choisir entre différents niveaux de modulation QAM et différents débits de code interne; il permet aussi l'emploi d'un codage et d'une modulation hiérarchiques des canaux à deux niveaux. Par ailleurs, les symboles transmis sont séparés par un intervalle de garde dont on peut choisir la largeur, d'où la possibilité pour le système de fonctionner dans différentes configurations de réseau, par exemple les grands RFU et les réseaux à un seul émetteur. Le «mode 2k» se prête bien à l'exploitation à un seul émetteur et dans les petits RFU avec émetteurs peu éloignés les uns des autres. On peut recourir au «mode 8k» dans les réseaux à un seul émetteur et dans les réseaux RFU, grands et petits. [5]

1.5.3 ISDB-T ou système C

Le Système ISDB-T a été développé par l'Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) du Japon.

La radiodiffusion numérique à intégration des services, RNIS, est un nouveau mode de radiodiffusion conçu pour fournir des services audio, vidéo et multimédias. Le système a été mis au point pour la radiodiffusion de Terre (RNIS-T) et la radiodiffusion par satellite (RNIS-S). Il intègre systématiquement plusieurs types de contenus numériques dont chacun peut inclure le vidéo multiprogramme, la télévision à faible définition, jusqu'à la TVHD, l'audio multiprogramme, des graphiques, des textes, etc. [5]

Comme le concept RNIS s'étend à une variété de services, le système doit satisfaire à un grand nombre d'exigences qui peuvent différer d'un service à un autre. Par exemple, on a besoin d'une grande capacité de transmission en TVHD, alors qu'une grande disponibilité de service (ou fiabilité de transmission) est requise dans les services de données tels que la remise d'une «clé» pour l'accès conditionnel, le téléchargement de logiciels, etc. Pour permettre l'intégration d'exigences de service différentes, le système de transmission offre toute une gamme de procédés de modulation et de protection contre les erreurs; ceux-ci peuvent être sélectionnés et combinés de façon souple pour satisfaire à chaque exigence des services intégrés. [5]

Pour la radiodiffusion de Terre, le système a été conçu avec suffisamment de souplesse pour transmettre des programmes télévisuels et sonores numériques et pour offrir des services multimédias qui intégreront plusieurs types d'informations numériques: vidéo, audio, textes et programmes informatiques. Il vise également à assurer une réception stable sur des récepteurs mobiles compacts, légers et peu coûteux, en plus des récepteurs intégrés qui sont typiquement utilisés dans les foyers. [5]

La méthode de modulation mise en œuvre dans le système est la méthode dite de transmission

OFDM avec segmentation de bande, dans laquelle on utilise un ensemble de blocs de fréquences de base communs appelés segments BST. Chaque segment a une largeur de bande qui correspond à 1/14 de l'espacement des canaux de la télévision de Terre (6, 7 ou 8 MHz selon la région). Par exemple, dans un canal de 6 MHz, un segment occupe $6/14$ MHz = 428,6 kHz de spectre et sept segments occupent $6 \times 7/14 = 3$ MHz. [5]

S'ajoutant aux propriétés de la modulation OFDM, le Système BST-OFDM offre des possibilités de transmission hiérarchique, par le recours à différents procédés de modulation des porteuses et à différents débits de codage interne appliqués aux segments BST. [5]

Chaque segment de données peut être transmis avec son propre procédé de protection contre les erreurs (débits de codage pour le code interne, profondeur de l'entrelacement temporel) et son propre type de modulation (4-PSK, 4D-PSK, 16-PSK ou 64-QAM). Dans ces conditions, chaque segment peut satisfaire aux exigences diverses des services. Il est possible d'associer plusieurs segments de façon souple pour fournir un service à large bande. On obtient une transmission hiérarchique en envoyant des groupes de segments OFDM avec des paramètres de transmission différents. Un seul canal de Terre permet d'avoir jusqu'à trois couches de service (trois groupes de segments différents). Il est possible de réaliser la réception partielle des services fournis dans le canal de transmission en utilisant un récepteur à bande étroite, dont la bande passante correspond à un seul segment OFDM. [5]

Treize segments spectraux OFDM sont actifs dans un canal de télévision de Terre. La largeur de bande utile: $LBTV \times 13/14$, est égale à 5,57 MHz pour un canal dont $LBTV = 6$, à 6,50 MHz pour un canal de 7 MHz, et à 7,43 MHz pour un canal de 8 MHz.

Le système a été développé et testé avec des canaux de 6 MHz, mais il peut être adapté à d'autres largeurs de bande de canal, avec une modification correspondante de la capacité de données. Pour un segment de 428,6 kHz dans un canal de 6 MHz, le débit binaire net est compris entre 280,85 et 1 787,28 kbit/s. Dans un canal DTTB de 5,57 MHz, le débit des données est compris entre 3,65 et 23,23 Mbit/s. [5]

Le système a été conçu pour permettre la réception de type fixe, portatif ou mobile à différents débits de données et avec différents degrés de «robustesse». Il est prévu également pour fonctionner dans des réseaux RFU.

1.6 Conclusion

La télévision numérique utilise le même support de transmission que la télévision analogique, elle peut être aussi diffusée par le support de transmission numérique comme l'ADSL. Le concept de la télévision numérique terrestre est que les signaux vidéo et audio à transmettre sont tous numérisés et sont transmis dans une chaîne de transmission numérique avec des blocs supplémentaires. Quelques normes ont été élaborées pour faire la diffusion, ces normes ont toutes leurs spécificités. Nous allons voir en détails la norme européenne « DVB-T » dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 2

LA NORME DVB-T

2.1 Introduction

La norme DVB-T est une norme pour faire une diffusion de la TNT, c'est la norme choisie par la société Gulfsat/Blueline. Dans ce chapitre comme le titre indique, nous allons présenter l'architecture de cette norme, suivie par les critères pour le choix des paramètres du système.

2.2 Architecture de la norme DVB-T

2.2.1 Présentation du système DVB-T

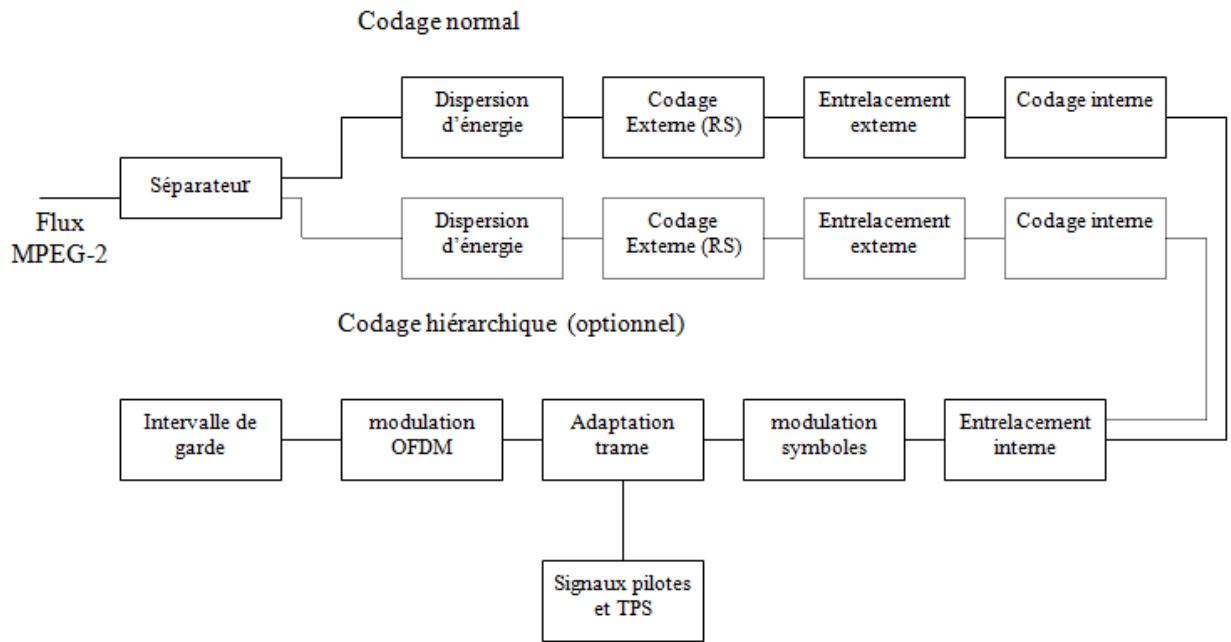


Figure 2.01 : Synoptique de la chaîne d'émission DVB-T

Le système est constitué par des blocs pour la meilleure adaptation du signal TV large bande de la sortie MPEG-2 du transport vers les caractéristiques du canal terrestre. Les processus suivants sont appliqués :

- Adaptation des flux multiplex et brassage Codeur externe (Reed-Solomon) ou outer coding
- Entrelaceur externe (entrelaceur convolutionnel)
- Codeur interne (Code convolutionnel poinçonné)
- Entrelaceur interne

- Mappage et modulation
- Transmission OFDM

Pour assurer le compromis entre la topologie du réseau et l'efficacité spectrale, un intervalle de garde est spécifié. Cela permet au système de supporter différentes configurations du réseau comme le réseau mono-fréquence avec un seul émetteur.

Deux modes de fonctionnement sont utilisés, mode 2K et mode 8K. Le mode 2K est adapté pour la transmission à un seul émetteur et un petit réseau mono-fréquence avec distance de transmission limitée.

Le système permet d'utiliser différent niveau de la modulation MAQ et différent rapport de codage interne pour avoir le compromis entre le débit et la puissance du signal. Le système offre aussi deux niveaux hiérarchiques de codage canal et de modulation qui inclut une constellation uniforme ou multi-résolution.

Dans la figure 2.01 schéma bloc du système DVB-T, deux flux de transport MPEG-2 indépendants représentés par les pointillés, dénommé flux de haute priorité et de basse priorité sont appliqués à l'entrée du mapper et du modulateur selon leur correspondant port d'entrées.

Pour garantir que les signaux émis par ces systèmes hiérarchique soit reçu par un simple récepteur la nature hiérarchique est limitée par un codage canal et une modulation hiérarchique.

2.2.2 Adaptation MUX et brassage

Il peut arriver que le train binaire MPEG-2 contienne une longue suite de 0 ou de 1. Cela peut gêner la récupération du rythme à la réception. Pour rendre le train binaire aléatoire, un brassage est réalisé par une séquence pseudo aléatoire (PRBS). [10]

Le polynôme générateur de cette séquence est $1+X^{14}+X^{15}$. Le générateur est composé de 15 registres à décalage. A chaque top d'horloge, on fait la somme (OU exclusif) des 14^{ème} et 15^{ème} registres, le bit résultant étant rebouclé sur le premier registre, après décalage vers la droite de tous les registres (voir Figure 2.02). Une séquence d'initialisation est nécessaire, celle spécifiée par la norme DVB est : 100101010000000. [10]

Chaque bit ainsi calculé est ensuite ajouté (OU exclusif) à un bit des données en entrée, ce qui revient à ajouter, à chaque mot de 15 bits des données d'entrée, un mot de la séquence pseudo aléatoire. Le flux d'entrée est ainsi rendu statistiquement quasi aléatoire. [10]

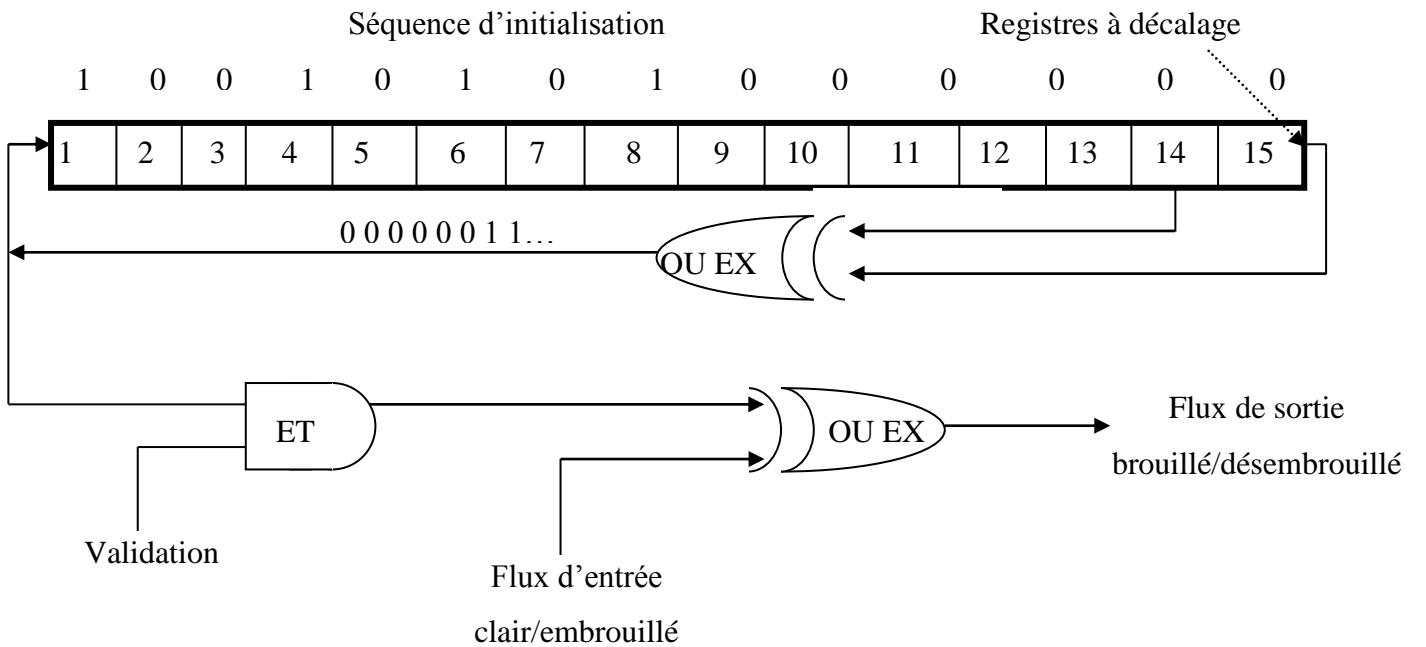


Figure 2.02 : Schéma de l'embrouilleur/désembrouilleur

2.2.3 Codage externe (Reed-Solomon) et entrelaceur externe

Le code RS (204, 188, 8) dérivé du code original Reed-Solomon RS (255, 239, 8), est appliqué sur chacun des trames brassés (188 octets) de la figure 2.03 pour générer une trame protégée contre les erreurs (voir figure 2.04). Le codage Reed-Solomon est aussi appliqué à la trame de synchronisation. [10]

Polynôme génératrice du code : $g(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1)(x + \lambda^2)\dots(x + \lambda^{15})$ avec $\lambda = 02_{HEX}$

Le trame MPEG-2 est complété par 51 octets tous mis à zéro « 0 » avant son entrée à l'encodeur RS (255, 239, 8). Après le codage RS les bits ajoutés sont écarté pour avoir mot de code de N=204 octets. [10]

D'après le concept de l'entrelacement sur la figure 2.06, un entrelaceur convolutionnel de longueur I=12 doit être appliqué à la trame codée (voir figure 2.04). Le résultat est représenté sur la figure 2.05. [10]

L'entrelaceur est composé de 12 registres FIFO. Chaque octet du flux, présenté cycliquement à l'une des 12 branches de l'entrelaceur, est décalé en sortie de $17 \times j$ positions, où j est l'indice de la branche. Ainsi, l'octet de synchronisation n'est pas décalé, le 2ème est décalé de 17 positions, le

3ème de 34 positions... le 12ème de $17 \times 11 = 187$ positions, et on recommence un cycle : le 13ème n'est pas décalé, le 14ème est décalé de 17 position...

A la réception, l'opération inverse décale les octets de $(11 - j) \times 17$ positions, ce qui a pour effet de remettre les octets dans le bon ordre, avec un décalage global de $(j + 11 - j) \times 17 = 187$ positions. La Figure 2.06 donne un aperçu de l'opération. [10]

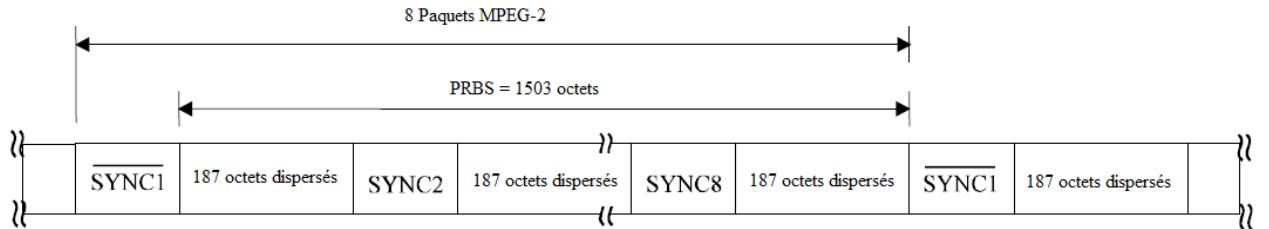


Figure 2.03 : Paquets brassés

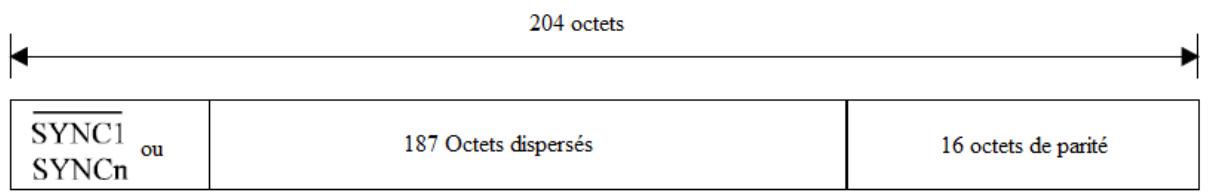


Figure 2.04 : Reed-Solomon RS(204,188,8) paquet codé

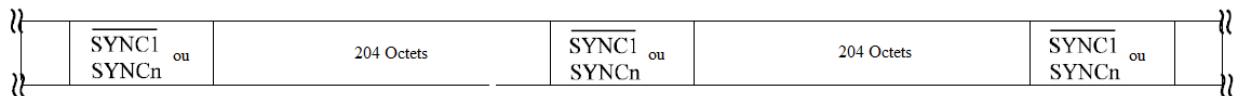


Figure 2.05 : Structure de données après entrelacement externe de profondeur $I=12$

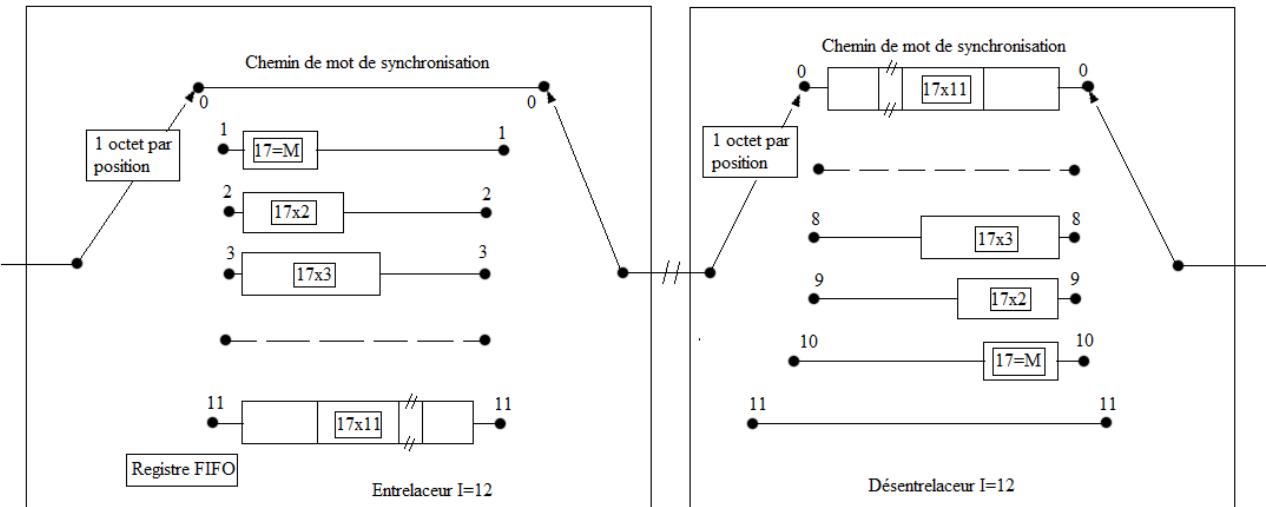


Figure 2.06 : Concept de l'entrelaceur et desentrelaceur

2.2.4 Codage interne

Le système peut utiliser des codes convolutifs poinçonnés basé sur le code convolutif à rendement $\frac{1}{2}$ avec 64 états, pour pouvoir choisir le meilleur niveau de correction d'erreur d'un service ou de données. Les polynômes génératrices pour le code convolutif sont $G_1 = 171_{(OCT)}$ pour la sortie X et $G_2 = 133_{(OCT)}$ pour la sortie Y (voir figure 2.07). [10]

Dans le cas où deux niveau hiérarchique de transmission, chacun des deux codeurs canal parallèle peut avoir son propre rendement. Le système peut supporter les poinçonnages : $\frac{2}{3}, \frac{3}{4}, \frac{5}{6}$ et $\frac{7}{8}$. Les codes convolutifs poinçonnés qu'on peut utiliser sont présentés sur le tableau 2.01

Rendement de code	Table de poinçonnage	Sequence à la sortie
$\frac{1}{2}$	X:1 Y:1	$X_1 Y_1$
$\frac{2}{3}$	X:10 Y:11	$X_1 Y_1 Y_2$
$\frac{3}{4}$	X:101 Y:110	$X_1 Y_1 Y_2 X_3$
$\frac{5}{6}$	X:10101 Y:11010	$X_1 Y_1 Y_2 X_3 Y_4 X_5$
$\frac{7}{8}$	X:1000101 Y:1111010	$X_1 Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 X_5 Y_6 X_7$

Tableau 2.01: Table de poinçonnage et séquence de transmission après conversion parallèle série des rendements possibles

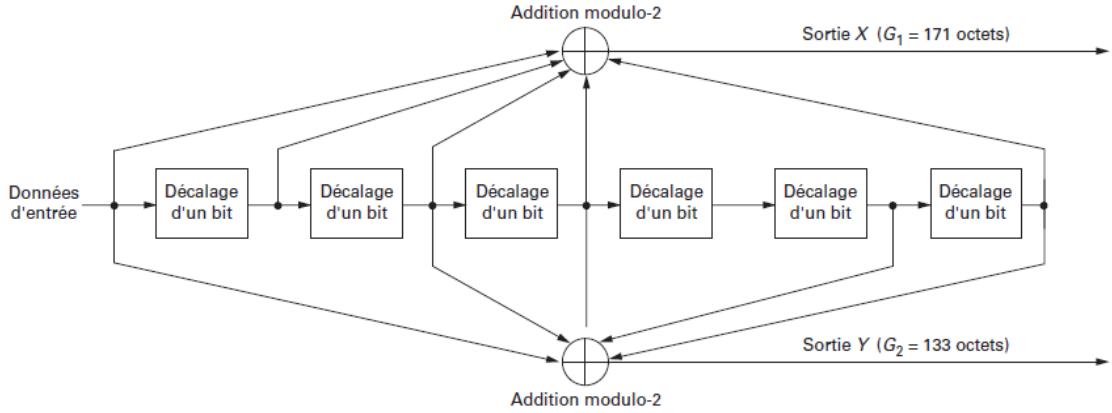


Figure 2.07 : Codeur convolutionnel à rendement $\frac{1}{2}$

2.2.5 Entrelaceur interne

L’entrelacement interne consiste à faire un entrelacement bit à bit suivi d’un entrelacement par symbole.

2.2.5.1 Entrelacement bit à bit

Les entrées sont démultiplexées en v sous-flux, v dépend du type de modulation utilisée pour la modulation QPSK $v=2$, 16-QAM $v=4$ et 64-QAM $v=6$. Pour le mode non hiérarchique, le seul flux est démultiplexé en v sous flux, par contre pour le mode hiérarchique, le flux à haute priorité est démultiplexé en deux sous flux et le flux à basse priorité est démultiplexé en $v-2$ sous flux (voir figures 2.08 et 2.09). [10]

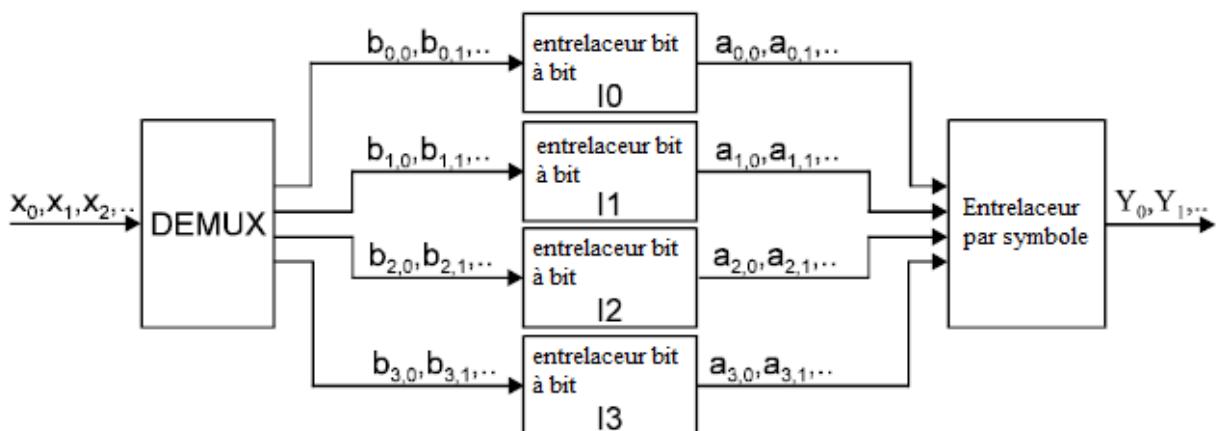


Figure 2.08 : Entrelacement pour le mode non hiérarchique 16-QAM

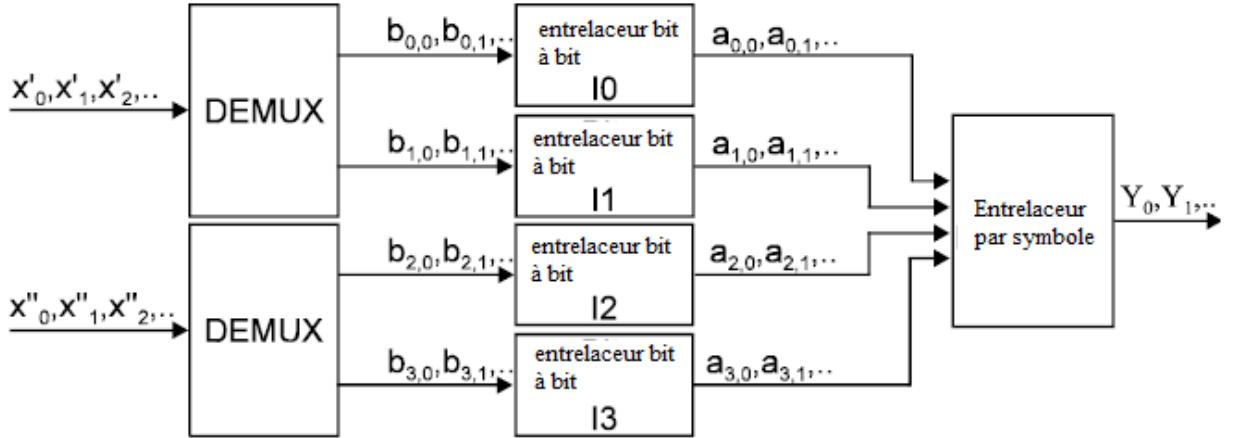


Figure 2.09 : Entrelacement pour le mode hiérarchique 16-QAM

Le démultiplexage est défini comme un mappage de l'entrée binaire x_{di} vers la sortie binaire $b_{e,d0}$.

[10]

Pour le mode non hiérarchique

$$x_{di} = b \lceil di(\text{mod})(v) \rceil (\text{div})(v/2) + 2 \lceil di(\text{mod})(v/2) \rceil . di(\text{div})v \quad (2.01)$$

Pour le monde hiérarchique

$$x_{di} = b di(\text{mod}2) . di(\text{div})v \quad (2.02)$$

$$x_{di} = b \lceil di(\text{mod})(v-2) \rceil (\text{div})((v-2)/2) + 2 \lceil di(\text{mod})((v-2)/2) \rceil + 2 . di(\text{div})(v-2) \quad (2.03)$$

Avec

x_{di} : entrée du démultiplexeur en mode non hiérarchique

$\overset{\circ}{x}_{di}$: entrée haute priorité du démultiplexeur

$\overset{\circ}{x}_{di}$: entrée basse priorité du démultiplexeur

di : numéro du bit à l'entrée

$b_{e,d0}$: sortie du démultiplexeur

e : numéro du flux binaire démultiplexé ($0 \leq e < v$)

$d0$: numéro du bit à la sortie du démultiplexeur

Chaque sous flux de la sortie du DEMUX est traité séparément par un entrelaceur bit à bit. L'entrelacement bit à bit n'est appliqué que sur les bits utiles. La taille du bloc est le même pour chaque entrelaceur 126 bits mais la séquence d'entrelacement est différent pour chaque cas. Pour le mode 2K la séquence se fait 12 fois par symbole OFDM et pour le mode 8K la séquence se fait 48 fois par symbole OFDM. [10]

L'entrée de chaque entrelaceur est définie par un vecteur $B(e)$ et la sortie par le vecteur $A(e)$.

$$B(e) = (b_{e,0}, b_{e,1}, b_{e,2}, \dots, b_{e,125})$$

$$A(e) = (a_{e,0}, a_{e,1}, a_{e,2}, \dots, a_{e,125})$$

$$a_{e,w} = b_{e,H_e(w)} \text{ Avec } w=0,1,2,\dots,125$$

Où $H_e(w)$ est la fonction de permutation qui différent pour chaque entrelaceur.

$H_e(w)$ est défini comme suit :

$$I0: H_e(w) = w$$

$$I1: H_e(w) = (w+63) \bmod 126$$

$$I2: H_e(w) = (w+105) \bmod 126$$

$$I3: H_e(w) = (w+42) \bmod 126$$

$$I4: H_e(w) = (w+21) \bmod 126$$

$$I5: H_e(w) = (w+84) \bmod 126$$

Les sorties de l'entrelaceur bit à bit sont groupées pour former un symbole binaire de v bits \vec{y}_w tel que $\vec{y}_w = (a_{0,w}, a_{1,w}, \dots, a_{v-1,w})$

2.2.5.2 Entrelacement par symbole

Le but de l'entrelacement par symbole est de mapper le mot de v bits vers les 1512(mode 2K) ou 6048(mode 8K) porteuses actives par symbole OFDM. L'entrelaceur de symbole agit sur les blocs de 1512 ou 6048. Pour cela, avec le mode 2K, 12 groupes de mot de 126 bits sont entrée séquentiellement dans le vecteur $\vec{Y}' = (\vec{y}_0, \vec{y}_1, \dots, \vec{y}_{1511})$, de même pour le mode 8K, 48 groupes de 126 bits dans le vecteur $\vec{Y}' = (\vec{y}_0, \vec{y}_1, \dots, \vec{y}_{6047})$.

Le vecteur d'entrelacement est défini comme suit :

$$\vec{y}_{H(q)} = \vec{y}_q \text{ Pour les symboles pairs avec } q=0,1,2,\dots,N_{\max}-1$$

$$\vec{y}_q = \vec{y}_{H(q)} \text{ Pour les symboles impairs } q=0,1,2,\dots,N_{\max}-1$$

Où $N_{\max}= 1512$ pour le mode 2K et 6048 pour le mode 8K.

L'index du symbole défini la position du symbole OFDM courant dans le paquet OFDM. $H(q)$ est la fonction de permutation défini dans la suite. [10]

(N_r-1) bits de mots binaire R'_i , avec $N_r = \log_2 M_{\max}$ où $M_{\max}=2048$ en mode 2K et $M_{\max}=8192$ en mode 8K est défini comme suit :

$$i=0, 1 : R'_i[N_r-2, N_r-3, \dots, 1, 0] = 0, 0, \dots, 0$$

$$i=2 : R'_i[N_r-2, N_r-3, \dots, 1, 0] = 0, 0, \dots, 1$$

$$2 < i < M_{\max} : \{ R'_i[N_r-3, N_r-4, \dots, 1, 0] = R'_{i-1}[N_r-2, N_r-3, \dots, 1, 0] \}$$

$$\text{En mode 2K } R'_i[9] = R'_{i-1}[0] \oplus R'_{i-1}[3] \text{ et en mode 8K } R'_i[11] = R'_{i-1}[0] \oplus R'_{i-1}[1] \oplus R'_{i-1}[4] \oplus R'_{i-1}[6]$$

Le vecteur R_i est la permutation de R'_i donner par le tableau 2.02 et 2.03

R'_i positions du bit	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
R_i positions du bit	0	7	5	1	8	2	6	9	3	4

Tableau 2.02: Permutation des bits en mode 2K

R'_i positions du bit	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
R_i positions du bit	5	11	3	0	10	8	6	9	2	4	1	7

Tableau 2.03: Permutation des bits en mode 8K

La fonction de permutation $H(q)$ est définie par l'algorithme suivant :

•

$$q = 0;$$

$$\text{for } (i = 0; i < M_{\max}; i = i + 1)$$

$$\{ H(q) = (i \bmod 2) \cdot 2^{N_r-1} + \sum_{j=0}^{N_r-2} R_i(j) \cdot 2^j;$$

$$\text{if } (H(q) < N_{\max}) q = q + 1; \}$$

2.2.6 Constellations et mappage de signaux

Le système utilise la technique de transmission OFDM. Toutes les données portées dans une trame OFDM sont modulés, la modulation utilisée peut être QPSK, 16-QAM, 64-QAM.

La constellation de chaque modulation dépend du paramètre α qui peut prendre les trois valeurs 1, 2 ou 4. Le paramètre α est le rapport entre la distance minimale entre deux symboles transportant différent valeurs et la distance minimale séparant deux points de la constellation. Le mode de transmission non hiérarchique utilise $\alpha=1$. [10]

Les valeurs des points de constellations sont $z \in \{n + jm\}$ avec n et m prend les valeurs dans le tableau 2.04 pour chaque modulation.

Modulation	Valeurs de n et m
QPSK	$n \in \{-1, 1\}, m \in \{-1, 1\}$
16-QAM $\alpha=1$	$n \in \{-3, -1, 1, 3\}, m \in \{-3, -1, 1, 3\}$
16-QAM $\alpha=2$	$n \in \{-4, -2, 2, 4\}, m \in \{-4, -2, 2, 4\}$
16-QAM $\alpha=4$	$n \in \{-6, -4, 4, 6\}, m \in \{-6, -4, 4, 6\}$
64-QAM $\alpha=1$	$n \in \{-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7\}, m \in \{-7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7\}$
64-QAM $\alpha=2$	$n \in \{-8, -6, -4, -2, 2, 4, 6, 8\}, m \in \{-8, -6, -4, -2, 2, 4, 6, 8\}$
64-QAM $\alpha=4$	$n \in \{-10, -8, -6, -4, 4, 6, 8, 10\}, m \in \{-10, -8, -6, -4, 4, 6, 8, 10\}$

Tableau 2.04: Valeurs de n et m pour chaque point de constellation selon le type de modulation

2.2.7 Structure de trame OFDM

La transmission du signal est organisée en trame. Chaque trame a une durée T_F , et composé de 68 symboles OFDM. Un groupe de quatre trames forme un « super trame ». Chaque symbole OFDM est constitué de K porteuses et transmis pendant une durée T_S . Le symbole est composé de deux parties : la partie utile de durée T_U et l'intervalle de garde de durée Δ . L'intervalle de garde est la répétition cyclique de la partie utile, qui est placé derrière celui-ci. Les valeurs de l'intervalle de garde sont données par le tableau 2.06. [10]

Les symboles OFDM sont numérotés de 0 à 67. Chaque symbole contient de données et des informations de référence.

La trame OFDM transporte aussi : SPC (Scattered Pilot Cells), CPS(Continual Pilot Carriers) et TPS (Transmission Parameter Signalling).

Les « pilot » peuvent être utilisés pour la synchronisation de trame, fréquence, et temps, l'estimation du canal et l'identification du mode de transmission.

Les porteuses sont indexées par $k \in [K_{\min}; K_{\max}]$. L'espacement entre porteuse adjacente est $1/T_U$.

La période élémentaire T est donnée $T=7/64 \mu s$ pour un canal de 8MHz, $1/8\mu s$ pour un canal de 7MHz, $7/48\mu s$ pour un canal de 6MHz et $7/40\mu s$ pour un canal de 5MHz.

Les paramètres de l'OFDM pour le mode 8K et 2K sont données par le tableau 2.05.

Paramètres	Mode 8K	Mode 2K
Nombre de porteuses K	6817	1705
K _{min}	0	0
K _{max}	6816	1704
Durée T _U	896 μs	224 μs
Espacement entre porteuses 1/T _U	1116 Hz	4464 Hz
Espacement entre le porteuse K _{min} et K _{max} (K-1)/T _U	7.61 Hz	7.61Hz

Tableau 2.05: Valeur des paramètres OFDM pour le mode 8K et 2K pour un canal de 8MHz

Mode	8K				2K			
Intervalle de garde Δ /T _U	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Durée d'un symbole T _U	8192 * T = 896 μs				2048 * T = 224 μs			
Durée de l'intervalle de garde Δ	2048*T 224 μs	1024*T 112 μs	512*T 56 μs	256*T 28 μs	512*T 56 μs	256*T 28 μs	128*T 14 μs	64*T 7μs
Durée d'un symbole T _S =Δ+T _U	1120 μs	10108μs	952 μs	924 μs	280 μ	252 μs	238 μs	231 μs

Tableau 2.06: Durée d'un symbole pour les intervalles de garde de la bande 8MHz

Le signal émis est défini par l'expression suivante :

$$s(t) = \operatorname{Re} \left\{ e^{i2\pi f_c t} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{67} \sum_{k=\min}^{K_{\max}} c_{m,l,k} \times \psi_{m,l,k}(t) \right\} \quad (2.04)$$

Avec

$$\psi_{m,l,k}(t) = \begin{cases} e^{j2\pi \frac{k}{T_U} (t - \Delta - l \times T_S - 68 \times m \times T_S)} \\ 0 \end{cases} \quad (2.05)$$

pour $(l + 68 \times m) \times T_S \leq t \leq (l + 68 \times m + 1) \times T_S$ Et 0 ailleurs.

Où :

k désigne le numéro de porteuse

l désigne le numéro de symbole OFDM

m désigne le numéro de la trame

f_c la fréquence centrale du signal RF

k' indice relatif du porteuse par rapport à la fréquence centrale, $k' = k - (K_{\max} + K_{\min})/2$

$c_{m,l,k}$ le symbole sous forme complexe de la porteuse k du symbole numéro $(l-1)$ dans le trame numéro m

La valeur de $c_{m,l,k}$ sont des valeurs de modulation normalisées de la constellation de points z selon l'alphabet de modulation utilisé pour les données. Le facteur de normalisation est donné par le tableau 2.07. [10]

Type de modulation		Facteur de normalization
QPSK		$c = z / \sqrt{2}$
16-QAM	$\alpha = 1$	$c = z / \sqrt{10}$
	$\alpha = 2$	$c = z / \sqrt{20}$
	$\alpha = 4$	$c = z / \sqrt{52}$
64-QAM	$\alpha = 1$	$c = z / \sqrt{42}$
	$\alpha = 2$	$c = z / \sqrt{60}$
	$\alpha = 4$	$c = z / \sqrt{108}$

Tableau 2.07: Facteur de normalisation pour les données des symboles

2.2.8 Signal de référence

Des parties de la trame OFDM sont des SPC et CPC qui sont modulés différemment des données à transmettre. Les valeurs du SPC ou du CPC sont calculées par un PRBS. Le polynôme génératrice PRBS est défini comme suit : $X^{11} + X^2 + 1$. Chaque CPC coïncide à un SPC tous les quatre symboles OFDM. [10]

Le SPC contient les informations concernant le séquencement. La position du SPC dans chaque symbole est définie par

$$k = K_{\min} + 3 \times (l \bmod 4) + 12p \quad (2.06)$$

Avec

k : le numéro de la porteuse dans un symbole

l : le numéro de symbole

p : un nombre entier positif pour $k \in [K_{\min}, K_{\max}]$

La position du CPC est donnée par le tableau 2.08 selon les nombres de porteuses choisis.

Position des CPC													
2K mode							8K mode						
0	48	54	87	141	156	192	0	48	54	87	141	156	192
201	255	279	282	333	432	450	201	255	279	282	333	432	450
483	525	531	618	636	714	759	483	525	531	618	636	714	759
765	780	804	873	888	918	939	765	780	804	873	888	918	939
942	969	984	1 050	1 101	1 107	1 110	942	969	984	1 050	1 101	1 107	1 110
1 137	1 140	1 146	1 206	1 269	1 323	1 377	1 137	1 140	1 146	1 206	1 269	1 323	1 377
1 491	1 683	1 704					1 491	1 683	1 704	1 752	1 758	1 791	1 845
							1 860	1 896	1 905	1 959	1 983	1 986	2 037
							2 136	2 154	2 187	2 229	2 235	2 322	2 340
							2 418	2 463	2 469	2 484	2 508	2 577	2 592
							2 622	2 643	2 646	2 673	2 688	2 754	2 805
							2 811	2 814	2 841	2 844	2 850	2 910	2 973
							3 027	3 081	3 195	3 387	3 408	3 456	3 462
							3 495	3 549	3 564	3 600	3 609	3 663	3 687
							3 690	3 741	3 840	3 858	3 891	3 933	3 939
							4 026	4 044	4 122	4 167	4 173	4 188	4 212
							4 281	4 296	4 326	4 347	4 350	4 377	4 392
							4 458	4 509	4 515	4 518	4 545	4 548	4 554
							4 614	4 677	4 731	4 785	4 899	5 091	5 112
							5 160	5 166	5 199	5 253	5 268	5 304	5 313
							5 367	5 391	5 394	5 445	5 544	5 562	5 595
							5 637	5 643	5 730	5 748	5 826	5 871	5 877
							5 892	5 916	5 985	6 000	6 030	6 051	6 054
							6 081	6 096	6 162	6 213	6 219	6 222	6 249
							6 252	6 258	6 318	6 381	6 435	6 489	6 603
							6 795	6 816					

Tableau 2.08: Indice des porteuses CPC

2.2.9 TPS ou signal des paramètres de la transmission

Le TPS est utilisé pour transmettre les paramètres concernant la transmission. Il transmet [10]:

- Le type de la modulation utilisé
- Le mode de transmission (hiérarchique ou non-hiérarchique)
- L'intervalle de garde
- Le nombre de porteuse utilisé (mode 2K ou mode 8K)
- Nombre de trame pour chaque super frame

Le TPS est répété 17 fois pour le mode 2K et 68 fois pour le mode 8K. [10]

La taille d'un TPS est 68 bits, il est reparti dans chaque symbole OFDM. Les 68 bits sont décomposés comme suit [10]:

- 1 bit d'initialisation
- 16 bits de synchronisation
- 37 bits d'information
- 14 bits de redondance pour la protection contre les erreurs.

2.3 Implémentation aspect transmission

2.3.1 Mode de fonctionnement

Afin d'éviter les interférences par les échos ou les signaux adjacents, on a ajouté un intervalle de garde entre deux symboles OFDM. La longueur de l'intervalle de garde dépend du type de couverture. Le tableau 2.09 résume la longueur des intervalles de garde spécifié pour la DVB-T.

Rapport entre intervalle de garde et signal utile	Longueur de l'intervalle de garde en μs	
	Mode 8-K	Mode 2-K
1/4	224	56
1/8	112	28
1/16	56	14
1/32	28	7

Tableau 2.09: Longueur de l'intervalle de garde selon la norme EN 300 744

On utilise l'intervalle de garde long pour les réseaux où la distance entre les émetteurs est grande, comme exemple un réseau SFN national. Et l'intervalle court pour un réseau régional ou local.

Pour une bande passante de 8MHz on peut calculer le nombre de porteuses. Le mode 8K contient 6817 porteuses par symbole OFDM et le mode 2K, 1705 porteuses par symbole OFDM. Les symboles OFDM sont calculés par l'IFFT (Inverse Fast Fourier Transform). [11]

Pour assurer la robustesse de la transmission OFDM, un code détecteur et correcteur est implémenté, c'est un code convolutif poinçonné. Les rendements du code défini par la norme DVB-T sont : 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 et 7/8. La puissance du code est proportionnelle avec le rendement. Donc le rendement 1/2 est pour un canal de transmission très perturbé tandis que le rendement 7/8 pour un canal à faible perturbation.

Chaque porteuse est modulée par les modulations : QPSK, 16-QAM ou 64-QAM.

En résumé les paramètres suivants sont à configurer pour la DVB-T :

- Rendement du code de codage interne : 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 ou 7/8
- Type de modulation des porteuses : QPSK, 16-QAM ou 64-QAM
- Longueur de l'intervalle de garde : 1/4, 1/8, 1/16 ou 1/32
- Paramètre de modulation α : 1 pour le mode non hiérarchique et 2 ou 4 pour le mode hiérarchique
- Longueur de FFT ou nombre de porteuses : 1705 porteuses mode 2K ou 6817 porteuses mode 8K

Avec ces paramètres on peut calculer le débit net du système par la formule suivante [11]:

$$R_U = R_S \times b \times CR_I \times CR_{RS} \times (T_U / T_S) \quad (2.07)$$

Avec :

R_U : débit net utile (Mbit/s)

R_S : débit de symbole (6.75 Msymbols/s)

b : nombre de bits par porteuses

CR_I : rendement du code interne (code convolutif poinçonné)

CR_{RS} : rendement du code Reed Solomon

T_U : durée symbole utile

T_S : durée symbole avec intervalle de garde

T_U/T_S : 4/5, 8/9, 16/17, 32/33 selon l'intervalle de garde.

Le tableau 2.10 montre tous les débits possibles avec le système DVB-T.

Modulation	Nombre de bits par porteuses	Rendement du code interne	Intervalle de garde			
			1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	2	1/2	4.98	5.53	5.85	6.03
		2/3	6.64	7.37	7.81	8.04
		3/4	7.46	8.29	8.78	9.05
		5/6	8.29	9.22	9.76	10.05
		7/8	8.71	9.68	10.25	10.56
16-QAM	4	1/2	9.95	11.06	11.71	12.06
		2/3	13.27	14.75	15.61	16.09
		3/4	14.93	16.59	17.56	18.10
		5/6	16.59	18.43	19.52	20.11
		7/8	17.42	19.35	20.49	21.11
64-QAM	6	1/2	17.93	16.59	17.56	18.10
		2/3	19.91	22.12	23.42	24.13
		3/4	22.39	24.88	26.35	27.14
		5/6	24.88	27.65	29.27	30.16
		7/8	26.13	29.03	30.74	31.67

Tableau 2.10: Débit net du système DVB-T en Mbit/s

La figure 2.10 montre la valeur du SNR et du débit net en fonction de la constellation, du rendement de du codage interne, de la longueur de l'intervalle de garde et le différent modèle de canal extrait de la spécification de la DVB-T [10].

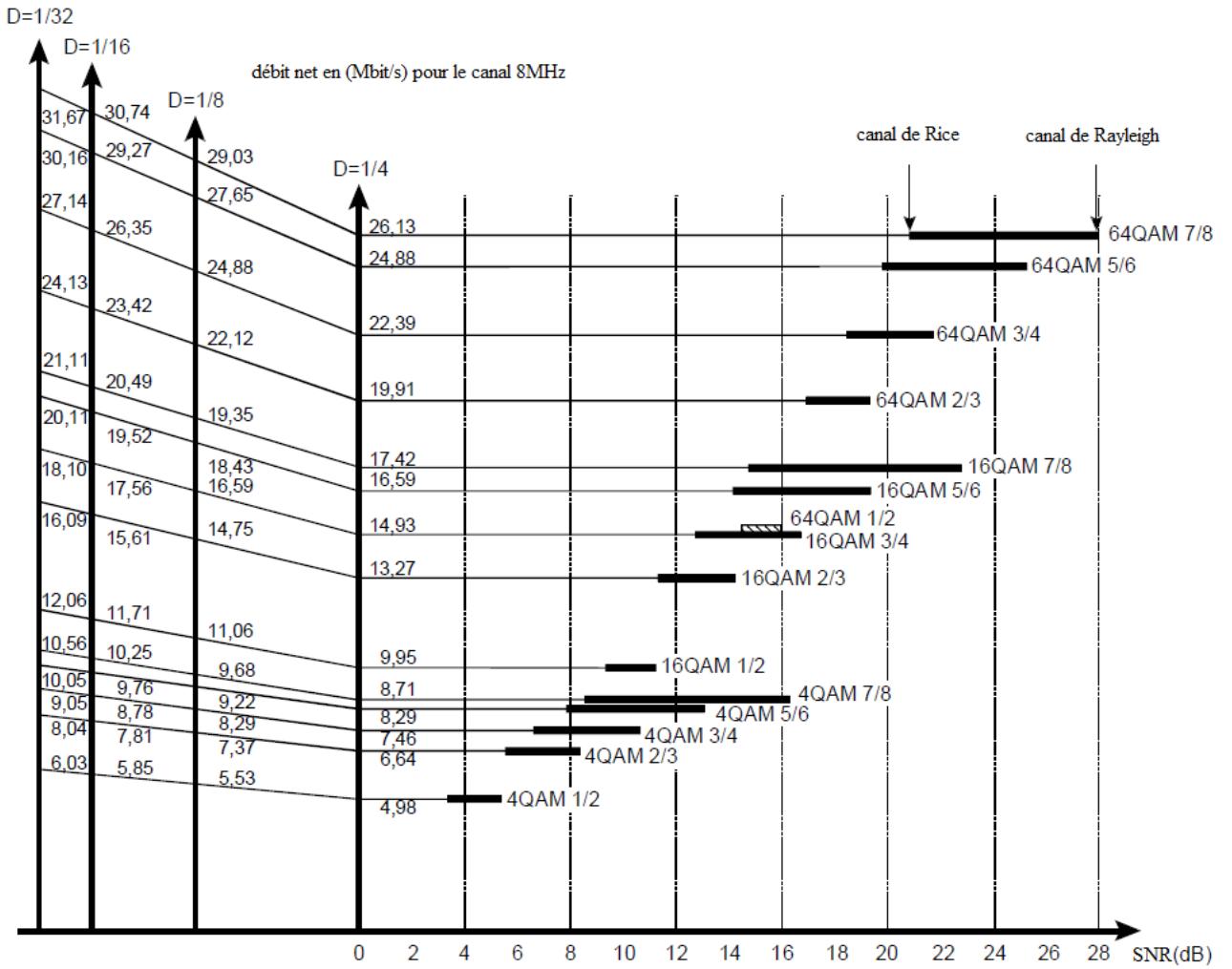


Figure 2.10 : SNR et débit net en fonction de la constellation, du débit net, du rendement du code interne, de la longueur de l'intervalle de garde et du type de modèle de canal pour tous les modes DVB-T

2.3.2 Choix des paramètres

2.3.2.1 Choix du type de la modulation et du rendement du code interne

La performance de la transmission est assurée par bonne la combinaison du type de modulation et du rendement de code. D'après la recommandation du système DVB-T [10], on utilise les types de modulation : QPSK, 16-QAM, 64-QAM et les rendements du code : 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 et 7/8.

Le débit et le SNR recommandé augmente avec le rendement. Sur la figure 2.10 on voit qu'avec la simulation pour un modèle de canal Rice, le SNR recommandé pour un rendement de code 7/8 est

supérieur à 6dB par rapport à un rendement de code 1/2 pour chaque type de modulation et le rapport entre le débit est de 7/4. [11]

Le SNR recommandé à la réception a un impact sur l'ERP de l'émetteur.

Le choix du type de la modulation et du rendement du code interne dépend de la nature du canal de transmission. La figure 2.10 montre la différence entre le SNR demandé pour la réception fixe (modèle de Rice) et la réception portable (modèle de Rayleigh) est faible pour le rendement 1/2 mais pour le rendement 7/8 la différence est de l'ordre de 8dB. [11]

La comparaison entre les deux modes 64-QAM $R=1/2$ et 16-QAM $R=3/4$ montre l'impact du rendement du code. Les deux modes ont le même débit selon l'intervalle de garde, mais la performance dépend du modèle de canal : le mode 16-QAM $R=3/4$ est le meilleur choix pour une réception fixe (modèle de Rice), par contre le mode 64-QAM $R=1/2$ est préférable pour une réception portable (modèle de Rayleigh). Donc le choix du type de modulation dépend du rendement du code et de la nature du canal de transmission. [11]

2.3.2.2 Choix du nombre de porteuses et de la longueur d'intervalle de garde

Les principaux paramètres pour le choix de la longueur de l'intervalle sont la distance entre les stations émettrices et la taille du SFN.

Le choix du nombre de porteuse dépend du type du réseau SFN ou non. Si le réseau est non SFN les longueurs de l'intervalle de garde du mode 2K sont suffisant au système pour combattre contre les échos naturels, mais s'il y a des longs échos les débits élevés sont atteints par le mode 8K.

Les principaux types de SFN [11]:

- SFN à grande couverture avec plusieurs émetteurs à grande puissance et à espacement large.
- SFN régionale avec une faible puissance de l'émetteur et à espacement large
- MFN avec un SFN local autour du MFN
- SFN « gap filter » avec faible puissance de l'émetteur pour couvrir les zones d'ombres des MFN.

Le mode 8K est compatible avec tous les types de SFN.

Le mode 2K est compatible avec le SFN « gap filter » et aussi avec un dense SFN/MFN où l'espacement entre les émetteur est court. La distance entre les émetteur dépend aussi de la longueur de l'intervalle de garde mais surtout à la longueur du signal utile T_U c'est-à-dire le mode 8k est plus performant en terme de couverture par rapport au mode 2K avec une même longueur

d'intervalle de garde, la constellation du signal, le rendement du code et l'implémentation du récepteur. [11]

2.3.2.3 Choix entre le mode hiérarchique et non hiérarchique

Le système DVB-T peut être choisir entre deux modes de transmission le mode hiérarchique et le mode non hiérarchique comme montre la figure 2.01.

Le mode de transmission hiérarchique inclus les blocs fonctionnels en pointillés sur la figure 2.01. Deux entrées nommées flux HP et flux LP sont traitées séparément avant d'être mappées et modulées ensemble. Ce mode peut être en diffusion multicast ou multi programme.

La diffusion multicast est composée par deux flux qui sont différenciés par leur débit, le flux à faible débit et le flux à haut débit, ces 2 flux sont identiques. Le flux à faible débit qui est le HP est encodé par un rendement faible et modulé par une modulation non uniforme c'est-à-dire $\alpha > 1$. Ce flux peut être reçu dans les zones où la condition de réception est mauvaise. Tandis que, le flux à haut débit qui est le LP a besoin d'une bonne condition de réception. Le récepteur peut avoir l'un des deux flux selon la condition de réception. [11]

Pour la diffusion multiprogramme, le flux LP peut être différent du flux HP c'est-à-dire les programmes dans LP peuvent être différent des programmes HP. Mais les flux reçoivent le même traitement que dans le mode multicast. L'avantage de ce mode est que les utilisateurs peuvent voir différent programme selon sont types de réception.

Le mode de transmission non hiérarchique, comme montre la figure 2.01, est composé par les blocs solides. Tous les flux MPEG-2 sont traités de la même façon. Le mode non-hiéarchique a comme paramètre de modulation $\alpha=1$. Ses applications sont divisées en transmission multi et simple programme. Le simple programme est utilisée pour les programmes qui ont besoin toutes la bande passante, mais le multi programme partage toute la bande passante à tous les programmes du même flux MPEG-2. [11]

2.3.3 Réseaux DVB-T

2.3.3.1 Le réseau MFN ou réseau multiréquence

Le réseau MFN est un réseau où les émetteurs transmis sur différent fréquences c'est le cas de la diffusion analogique. Le réseau MFN demande beaucoup de ressource sur le plan fréquentiel que sur la puissance d'émission. Le réseau MFN n'a pas besoin d'une synchronisation, son installation est beaucoup plus facile qu'un réseau SFN. [11]

2.3.3.2 Le réseau SFN ou réseau mono-fréquence

Pour un réseau SFN les émetteurs transmettent le même programme sur une même bande de fréquence. Les signaux reçus sur l'antenne de réception peuvent être constructifs pour avoir un bon signal. Mais l'inconvénient du SFN est l'auto brouillage c'est-à-dire les signaux des émetteurs très éloignés deviennent une interférence pour le signal utile. L'auto brouillage est remédiée par l'augmentation de la longueur de l'intervalle de garde.

Le SFN est très efficace sur l'utilisation des fréquences et aussi sur la puissance de l'émetteur. Par contre, les émetteurs doivent être synchrones. [11]

2.3.3.3 Gap filter

Le gap filter permet de couvrir une zone d'ombre. Le principe est de capter un signal par une antenne bidirectionnelle hors de la zone non couverte puis ce signal est filtré, amplifié et retransmis par la même fréquence dans la zone d'ombre. Il existe deux types de gap filter : le gap filter professionnel pour couvrir une zone d'ombre et le gap filter domestique pour une utilisation personnelle. [11]

2.4 Conclusion

La norme européenne DVB-T est utilisée par les pays qui commencent l'implémentation de la TNT grâce à sa facilité d'installation. Nous avons présenté l'architecture du système en donnant quelques détails sur chaque bloc. Le fonctionnement du système et les choix des paramètres ont été aussi expliqués pour pouvoir faire une bonne configuration du réseau. Maintenant, nous allons continuer sur la méthode d'analyse de la couverture d'un système DVB-T.

CHAPITRE 3

ANALYSE DE LA COUVERTURE DE LA TNT A ANTANANARIVO

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons faire l'analyse de la couverture du système implanté à Antananarivo. Pour cela, en premier lieu nous allons donner quelques notions sur la planification d'un réseau DVB-T, après on passe à l'analyse du système existant en utilisant ICS Designer.

3.2 Planification d'un réseau

3.2.1 *Couverture pour une réception fixe et portable*

Pour la télévision numérique, la réception est de type toute ou rien c'est-à-dire la frontière entre une bonne réception et le non réception est trop proche. De ce fait, l'étude de la couverture est plus complexe.

L'amélioration de la réception peut se faire par : le choix d'une bonne position pour l'antenne, l'utilisation d'une antenne directionnelle à faible gain et l'utilisation d'un amplificateur d'antenne à faible bruit.

La réception par une antenne fixe est définie comme une réception par une antenne directionnelle attachée sur le toit avec une hauteur supérieur à 10m.

La réception portable est divisée en deux classes, la classe A où l'antenne est attachée à une hauteur de 1.5m par rapport au sol et la classe B où l'antenne est attachée à une hauteur inférieur à 1.5m, dans le sous-sol ou proche d'une fenêtre dans une salle.

La réception portable de classe B est le plus utilisée dans une zone urbaine, elle dépend de plusieurs facteur : le niveau d'étage dans une immeuble, la perte sur la puissance du signal provoquée par les autres immeuble, etc.

L'étude de couverture pour chaque type de réception se fait sur trois étapes [12] :

- Sur la zone de réception, une petite zone de dimension 0.5m * 0.5m. La couverture est bonne si on obtient une valeur de 99% pour le C/N et le C/I requis.
- Sur une petite zone de couverture de dimension 100m * 100m, la couverture est bonne si 95% de la zone de réception dans le zone à couvrir est couvert et acceptable si c'est à 70%.
- Sur la zone de couverture, la couverture totale de l'émetteur qui est l'ensemble de toutes les petites zones de couverture.

3.2.2 Valeur du rapport signal sur bruit C/N requis pour une chaîne de transmission idéale

Les valeurs C/N selon le modèle de canal AWGN, Rice et Rayleigh données ci-dessous sont des résultats d'une simulation réalisée par différente laboratoire.

Les paramètres de la simulation de la chaîne DVB-T sont : mode 8K, bande passante 8MHz.

Le tableau 3.01 montre le C/N requis pour chaque modèle de canal, chaque type de modulation et chaque rendement de code interne d'un système DVB-T.

Modulation	Rendement du code interne	C/N (dB) requis pour un $BER = 2 \times 10^{-4}$ après décodeur Viterbi		
		Canal de Gauss	Canal de Rice	Canal de Rayleigh
QPSK	1/2	3.5	4.1	5.9
	2/3	5.3	6.1	9.6
	3/4	6.3	7.2	12.4
	5/6	7.3	8.5	15.6
	7/8	7.9	9.2	17.5
16-QAM	1/2	9.3	9.8	11.8
	2/3	11.4	12.1	15.8
	3/4	12.6	13.4	18.1
	5/6	13.8	14.8	21.3
	7/8	14.4	15.7	23.6
64-QAM	1/2	13.8	14.3	16.4
	2/3	16.7	17.3	20.3
	3/4	18.7	18.9	23.0
	5/6	19.4	20.4	26.2
	7/8	20.2	21.3	28.6

Tableau 3.01: C/N requis pour une transmission DVB-T pour avoir un $BER = 2 \times 10^{-4}$ après décodeur Viterbi

Le modèle de canal de Rice où au signal reçu directement s'ajoute plusieurs signaux de moindre amplitude émis dans le même canal ainsi que des réflexions, est utilisé pour la réception fixe tandis que le modèle de canal de Rayleigh où le signal reçu est constitué uniquement de réflexions et de composantes venant de plusieurs émetteurs qui fonctionnent dans le même canal pour la réception portable. [11]

3.2.3 Rapport de protection

Le rapport de protection (C/I) est la différence entre le niveau du signal utile et le niveau total de tous les signaux non désirés, exprimée en décibels. Les rapports de protection requis pour la radiodiffusion DVB-T sont indiqués dans l'Accord GE06. Ils dépendent de la variante de système. [12]

3.2.4 Les valeurs minimales requises à la réception

3.2.4.1 Valeur à l'entrée du récepteur

La puissance minimale à l'entrée du récepteur $P_{S\min}$ pour surmontée le bruit est définie par [11]

$$P_{S\min} = P_n + C/N \quad (3.01)$$

Avec :

P_n : la puissance du bruit à l'entrée (dBW) exprimée par $P_n = F + 10\log(k \times T_0 \times B)$

F : facteur de bruit au récepteur (dB), fixée à 7 dB

k : constante de Boltzmann $1,38 \times 10^{-23}$ Ws/K

T_0 : Température absolue 290 °K

B : bande passante du bruit au récepteur, fixée à 7.6MHz

C/N : le rapport signal sur bruit du signal requis au système (dB)

3.2.4.2 Niveau de signal

La densité du flux de puissance médiane minimale est calculée selon le type de réception, la fréquence et le rapport signal sur bruit C/N.

Pour le calcul de la densité du flux de puissance médiane minimale ϕ_{med} ou le champ médian équivalente E_{med} nécessaire pour s'assurer que les minimum valeurs de niveau de signal C/N peuvent être atteintes au pourcentage requis d'emplacements, il s'agit du champ médian calculé pour un certain pourcentage d'emplacements à l'intérieur d'une zone de réception. Les formules suivantes sont utilisées [11] [12]:

$$\phi_{min} = P_{S\min} - A_a + L_f \quad (3.02)$$

$$\phi_{min} = P_{S\min} - A_a \quad (3.03)$$

$$E_{min} = \phi_{min} + 145.8 \quad (3.04)$$

$$\phi_{med} = \phi_{min} + P_{mmn} + C_l \quad (3.05)$$

$$\phi_{med} = \phi_{min} + P_{mmn} + C_l + L_h \quad (3.06)$$

$$\phi_{med} = \phi_{min} + P_{mmn} + C_l + L_h + L_b \quad (3.07)$$

$$E_{med} = \phi_{med} + 145.8 \quad (3.08)$$

ϕ_{min} : Densité du flux de puissance minimale à la réception (dBW/m^2)

E_{min} : Champ minimal équivalente à la réception ($\text{dB}\mu\text{V/m}$)

A_a : Ouverture de l'antenne (dBm^2)

L_f : perte du câble d'antenne (dB)

L_h : perte créé par longueur du câble (dB)

L_b : perte créé par la pénétration des immeubles (dB)

P_{mmn} : perturbation provoquée par les humains (dB)

C_l : facteur de correction de l'emplacement (dB)

ϕ_{med} : Densité du flux de puissance médiane minimale (dBW/m^2)

E_{med} : Champ médian minimale ($\text{dB}\mu\text{V/m}$)

Les valeurs de ces paramètres sont données dans le tableau 3.02

Reception	F (dB)	Aa (dBm^2)	Lf (dB)	Pmm (dB)	Cl 70% (dB)	Cl 95% (dB)	Lh (dB)	Lb (dB)
Fixe	7	-5,4	5	0	2,9	9	0	0
Portable class A	7	-17,4	0	1	2,9	9	12	7
Portable class B	7	-17,4	0	0	4	14	12	7

Tableau 3.02: Valeurs des paramètres pour calculer les niveaux de signal pour un système *DVB-T*

Les formules 3.02 et 3.05 sont utilisées par la réception fixe.

Les formules 3.03 et 3.06 sont utilisées par la réception portable classe A

Les formules 3.03 et 3.07 sont utilisées par la réception portable classe B.

Les tableaux 3.03, 3.04 et 3.05 montrent les valeurs de ϕ_{min} , E_{min} , ϕ_{med} et E_{med} respectivement pour une réception fixe, portable externe et portable interne, dans une bande V avec une probabilité de couverture des emplacements 70% et 95%.

Fréquence en MHz		770														
Receiver noise bandwidth	B (MHz)	8														
Valeur minimale C/N requise	C/N (dB)	4,1	6,1	7,2	8,5	9,2	9,8	12,1	13,4	14,8	15,7	14,3	17,3	18,9	20,4	21,3
Minimum receiver signal input power	Ps min (dBW)	-123,85	-121,85	-120,75	-119,45	-118,75	-118,15	-115,85	-114,55	-113,15	-112,25	-113,65	-110,65	-109,05	-107,55	-106,65
Feeder loss	Lf (dB)	5														
Antenna gain relative to half wave dipole	Ga (dB)	12														
Effective antenna aperture	Aa (dBm2)	-5,4														
Minimum power flux density at receiving place	ϕ_{min} (dBW/m ²)	-113,45	-111,45	-110,35	-109,05	-108,35	-107,75	-105,45	-104,15	-102,75	-101,85	-103,25	-100,25	-98,65	-97,15	-96,25
Minimum equivalent field strength at receiving place	Emin (dB μ V/m)	32,35	34,35	35,45	36,75	37,45	38,05	40,35	41,65	43,05	43,95	42,55	45,55	47,15	48,65	49,55
Allowance for man made noise	Pmmn (dB)	0														
Location probability		70%														
Location correction factor	Cl (dB)	2,9														
Minimum median power flux density at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	ϕ_{med} (dBW/m ²)	-110,55	-108,55	-107,45	-106,15	-105,45	-104,85	-102,55	-101,25	-99,85	-98,95	-100,35	-97,35	-95,75	-94,25	-93,35
Minimum median equivalent field strength at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	Emed (dB μ V/m)	35,25	37,25	38,35	39,65	40,35	40,95	43,25	44,55	45,95	46,85	45,45	48,45	50,05	51,55	52,45
Location probability		95%														
Location correction factor	Cl (dB)	9														
Minimum median power flux density at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	ϕ_{med} (dBW/m ²)	-104,45	-102,45	-101,35	-100,05	-99,35	-99,35	-96,45	-95,15	-93,75	-92,85	-94,25	-91,25	-89,65	-88,15	-87,25
Minimum median equivalent field strength at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	Emed (dB μ V/m)	41,35	43,35	44,45	45,75	46,45	46,45	49,35	50,65	52,05	52,95	51,55	54,55	56,15	57,65	58,55

Tableau 3.03: Densité de puissance moyenne de flux minimum et le champ minimal équivalent médian Band V pour 70% et 95% emplacement probabilité, réception: Fixe

Fréquence en MHz		770														
Receiver noise bandwidth	B (dB)	8														
Valeur minimale C/N requise	C/N (dB)	5,9	9,6	12,4	15,6	17,5	11,8	15,8	18,1	21,3	23,6	16,4	20,3	23	26,2	28,6
Minimum receiver signal input power	Ps min (dBW)	-122,05	-118,35	-115,55	-112,35	-110,45	-116,15	-112,15	-109,85	-106,65	-104,35	-111,55	-107,65	-104,95	-101,75	-99,35
Feeder loss	Lf (dB)	0														
Antenna gain relative to half wave dipole	Ga (dB)	0														
Effective antenna aperture	Aa (dBm2)	-17,4														
Minimum power flux density at receiving place	ϕ_{min} (dBW/m2)	-104,65	-100,95	-98,15	-94,95	-93,05	-98,75	-94,75	-92,45	-89,25	-86,95	-94,15	-90,25	-87,55	-84,35	-81,95
Minimum equivalent field strength at receiving place	Emin (dB μ V/m)	41,15	44,85	47,65	50,85	52,75	47,05	51,05	53,35	56,55	58,85	51,65	55,55	58,25	61,45	63,85
Allowance for man made noise	Pmmn (dB)	0														
Height loss	Lh (dB)	12														
Location probability	70%															
Location correction factor	Cl (dB)	2,9														
Minimum median power flux density at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	ϕ_{med} (dBW/m2)	-89,75	-86,05	-83,25	-80,05	-78,15	-83,85	-79,85	-77,55	-74,35	-72,05	-79,25	-75,35	-72,65	-69,45	-67,05
Minimum median equivalent field strength at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	Emed (dB μ V/m)	56,05	59,75	62,55	65,75	67,65	61,95	65,95	68,25	71,45	73,75	66,55	70,45	73,15	76,35	78,75
Location probability	95%															
Location correction factor	Cl (dB)	9														
Minimum median power flux density at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	ϕ_{med} (dBW/m2)	-83,65	-79,95	-77,15	-73,95	-72,05	-72,05	-73,75	-71,45	-68,25	-65,95	-73,15	-69,25	-66,55	-63,35	-60,95
Minimum median equivalent field strength at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	Emed (dB μ V/m)	62,15	65,85	68,65	71,85	73,75	73,75	72,05	74,35	77,55	79,85	72,65	76,55	79,25	82,45	84,85

Tableau 3.04: Densité de puissance moyenne de flux minimum et le champ minimal équivalent médian Band V pour 70% et 95% emplacement probabilité, réception: Portable classe A

Fréquence en MHz		770														
Receiver noise bandwidth	B (dB)	8														
Valeur minimale C/N requise	C/N (dB)	5,9	9,6	12,4	15,6	17,5	11,8	15,8	18,1	21,3	23,6	16,4	20,3	23	26,2	28,6
Minimum receiver signal input power	Ps min (dBW)	-122,05	-118,35	-115,55	-112,35	-110,45	-116,15	-112,15	-109,85	-106,65	-104,35	-111,55	-107,65	-104,95	-101,75	-99,35
Feeder loss	Lf (dB)	0														
Antenna gain relative to half wave dipole	Ga (dB)	0														
Effective antenna aperture	Aa (dBm2)	-17,4														
Minimum power flux density at receiving place	φ_{\min} (dBW/m ²)	-104,65	-100,95	-98,15	-94,95	-93,05	-98,75	-94,75	-92,45	-89,25	-86,95	-94,15	-90,25	-87,55	-84,35	-81,95
Minimum equivalent field strength at receiving place	E _{min} (dB μ V/m)	41,15	44,85	47,65	50,85	52,75	47,05	51,05	53,35	56,55	58,85	51,65	55,55	58,25	61,45	63,85
Allowance for man made noise	P _{mmn} (dB)	0														
Height loss	L _h (dB)	12														
Building penetration loss	L _b (dB)	7														
Location probability	70%															
Location correction factor	C _l (dB)	4														
Minimum median power flux density at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	φ_{med} (dBW/m ²)	-81,65	-77,95	-75,15	-71,95	-70,05	-75,75	-71,75	-69,45	-66,25	-63,95	-71,15	-67,25	-64,55	-61,35	-58,95
Minimum median equivalent field strength at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	E _{med} (dB μ V/m)	64,15	67,85	70,65	73,85	75,75	70,05	74,05	76,35	79,55	81,85	74,65	78,55	81,25	84,45	86,85
Location probability	95%															
Location correction factor	C _l (dB)	14														
Minimum median power flux density at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	φ_{med} (dBW/m ²)	-71,65	-67,95	-65,15	-61,95	-60,05	-60,05	-61,75	-59,45	-56,25	-53,95	-61,15	-57,25	-54,55	-51,35	-48,95
Minimum median equivalent field strength at 10 m a.g.l. 50 % of time and 50 % of locations	E _{med} (dB μ V/m)	74,15	77,85	80,65	83,85	85,75	85,75	84,05	86,35	89,55	91,85	84,65	88,55	91,25	94,45	96,85

Tableau 3.05: Densité de puissance moyenne de flux minimum et le champ minimal équivalent médian Band V pour 70% et 95% emplacement probabilité, réception: Portable classe B

3.2.5 Quelques définitions

3.2.5.1 Le terme « couverte »

Une zone donnée est considérée comme étant «couverte» par un système DVB-T lorsque la valeur du champ médian obtenue dans les conditions de réception propres à cette zone, à une hauteur au-dessus du sol spécifiée, et celle du rapport de protection sont égales ou supérieures aux valeurs indiquées dans les documents de planification pertinents. [12]

La détermination d'une zone donnée dont il faudra ou non assurer la couverture est obtenue à l'issue d'un processus de calcul effectué au moyen d'un outil de prévision de couverture qui repose sur des conditions et/ou des valeurs hypothétiques définies pour [12]:

- la condition de réception (par exemple, réception fixe ou portable);
- l'affaiblissement du champ avec la distance, dû à la topographie et à la morphologie;
- le modèle de récepteur (par exemple, sensibilité et sélectivité);
- l'antenne de réception (hauteur, gain et directivité);
- le canal de réception (de Rice ou de Rayleigh).

A l'attribut «couverte» est associée une certaine probabilité en matière de temps et de couverture des emplacements. La zone de couverture est calculée à l'aide d'outils de planification en fonction de cette probabilité (par exemple, 50% du temps et 50% des emplacements). [12]

3.2.5.2 L'expression « réception possible »

La réception de la DVB-T est considérée comme étant possible si, à un emplacement donné, un récepteur grand public est capable de corriger toutes les erreurs 99% du temps et produire une image. Le TEB mesuré après le décodeur Viterbi devrait être inférieur à 2×10^{-4} . [12]

Le champ qui est réellement nécessaire pour que les signaux DVB-T soit reçus de manière satisfaisante dépend des facteurs suivants [12] :

- la variante du système DVB-T;
- la performance du récepteur;
- le gain de l'antenne;
- le type de canal de réception (de Rice ou de Rayleigh).

On peut vérifier si la réception est possible d'une manière générale en mesurant les paramètres suivants [12]:

- le champ médian des signaux reçus;
- le champ médian des signaux brouilleurs;
- le type de canal de réception.

On peut effectuer, en variante, un essai de réception avec un récepteur DVB-T grand public.

L'expérience acquise au cours de tels essais montre que, pour la réception portable, des valeurs de champ supérieures aux valeurs médianes indiquées dans les accords pertinents sont parfois nécessaires.

3.3 La Couverture existante à Antananarivo

3.3.1 *La TNT actuelle à Antananarivo*

La société Gulfsat/Blueline a implémenté le système DVB-T pour faire la diffusion de la télévision numérique terrestre à Antananarivo.

Les paramètres du DVB-T sont :

- Mode non-hiéarchique
- Bande passante 8MHz
- Mode 8K
- Modulation 64QAM
- Rendement de codage interne 5/6
- Intervalle de garde 1/16
- Débit 29.27Mbps

Les paramètres de l'émetteur :

- Hauteur 35m
- Coordonnées GPS en DMS $47^{\circ}31'53.94''E$ et $18^{\circ}55'33.77''S$
- Directivité Omnidirectionnelle
- Puissance d'émission 200W par canal
- Nombres de canal utilisé 6
- Fréquences utilisées 770 à 810MHz

Nous allons montrer par la suite, les analyses de couverture pour ce système simulé sur l'ICS Designer avec chaque type de réception.

Les paramètres de simulation comme, les valeurs seuils, et le C/N dépendent de chaque mode de réception et des valeurs indiquées dans les documents de planification pertinents. La zone à

couvrir est la ville d'Antananarivo, alors on a fixé le rayon de la simulation à 15km vol d'oiseaux pour une surface de 706.86 km².

On utilise le modèle de propagation dans la RECOMMANDATION UIT-R P.370-7 pour l'analyse de la couverture du système DVB-T à Antananarivo. Les paramètres du modèle sont :

- $\Delta h=50$ m
- Time percentage : 50%
- Location percentage : 50%
- Standard deviation of outdoor field strength distribution: 5.5dB

3.3.1.1 Réception fixe

La figure 3.01 et 3.02 montre la couverture de la ville d'Antananarivo par le système DVB-T pour une réception fixe respectivement pour la probabilité de couverture à 70% et 95%. Le rapport de la simulation donne le pourcentage de la zone couvert selon la valeur du champ minimum (tableau 3.06 et tableau 3.07).

Min value dBuV/m	Surface covered km ²	Total area covered km ²	Percent covered
51	46,99	706,74	6,65
58	300,36	706,74	42,5
65	45,37	706,74	6,42
74	206,33	706,74	29,19
79	86,23	706,74	12,2
86	17,15	706,74	2,43
93	3,46	706,74	0,49
100	0,68	706,74	0,1
107	0,14	706,74	0,02
114	0,03	706,74	0

Tableau 3.06: Rapport de simulation sur la couverture d'un système DVB-T pour une réception fixe à 70% de couverture

Min value dBuV/m	Surface covered km2	Total area covered km2	Percent covered
57	245,72	681,11	36,08
63	121,37	681,11	17,82
74	43,52	681,11	6,39
75	202,58	681,11	29,74
81	50,84	681,11	7,46
87	12,77	681,11	1,87
93	3,22	681,11	0,47
99	0,82	681,11	0,12
105	0,21	681,11	0,03
111	0,06	681,11	0,01

Tableau 3.07: Rapport de simulation sur la couverture d'un système DVB-T pour une réception fixe à 95% de couverture

D'après ces résultats on constate que pour la probabilité de couverture estimée 70% et 95% on a respectivement 99.98% et 96.98% de zone couvert. Pour une réception fixe, la couverture d'Antananarivo est bonne.

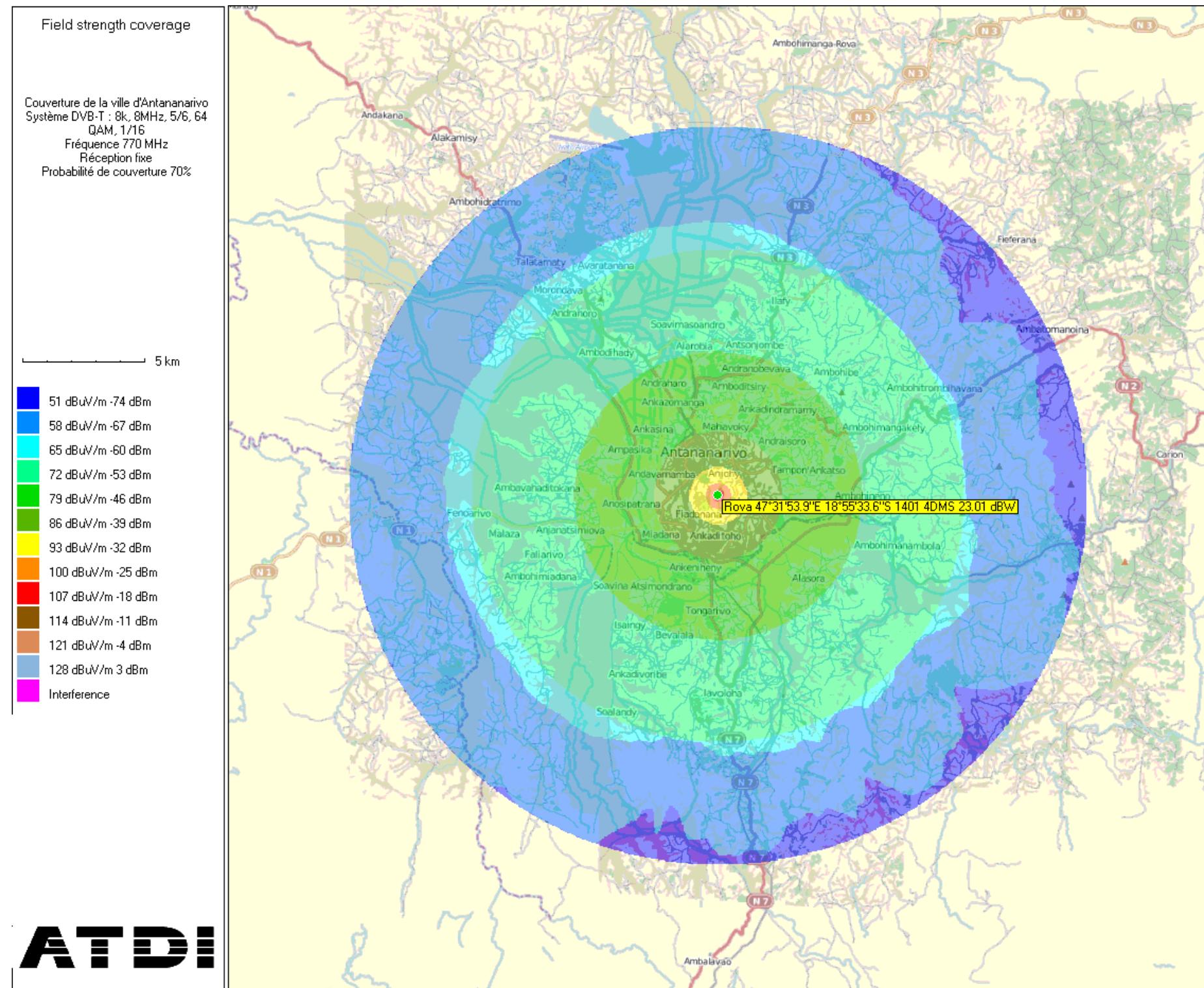


Figure 3.01 : Couverture de la ville d'Antananarivo, réception : fixe, probabilité de couverture 70%

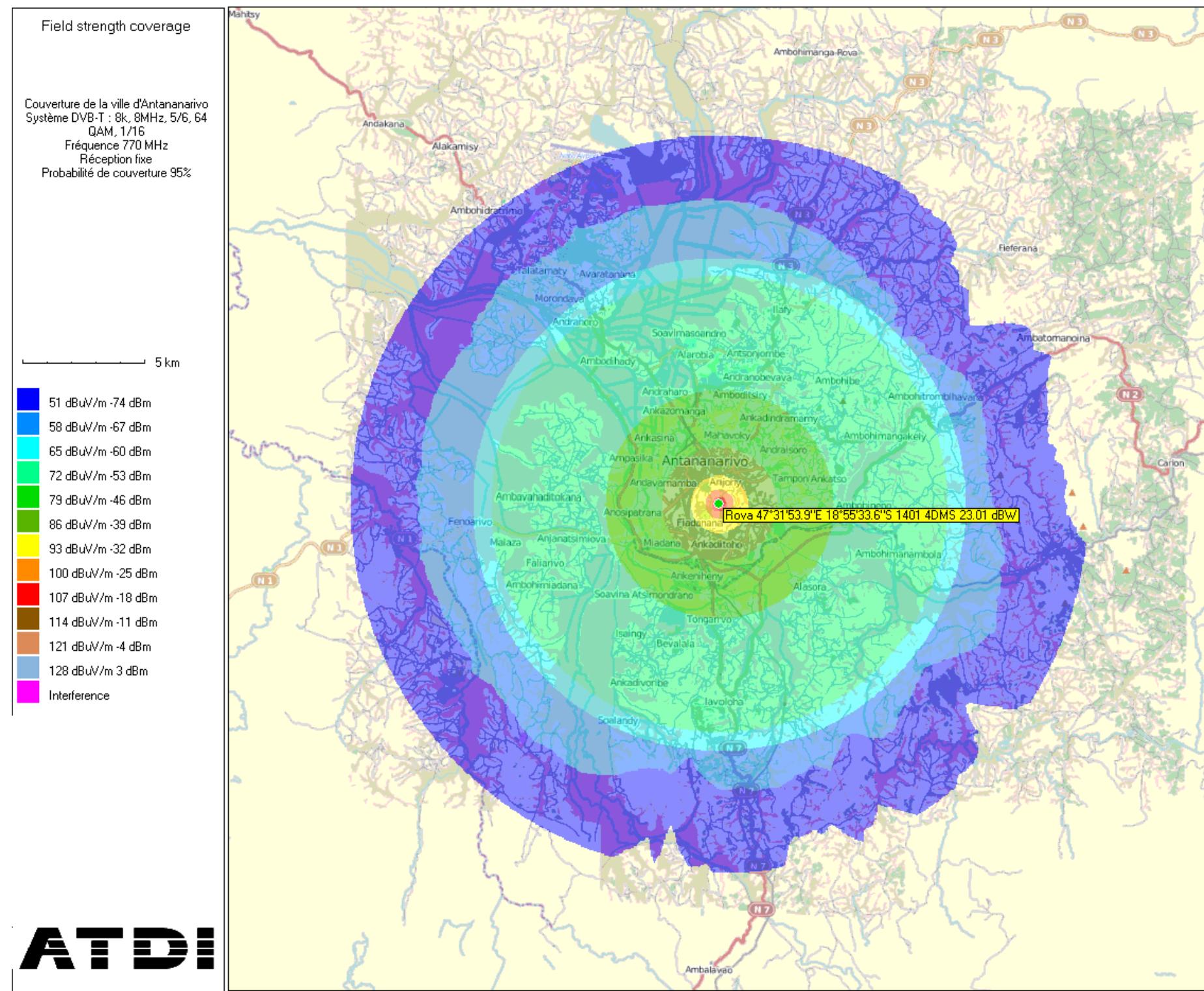


Figure 3.02 : Couverture de la ville d'Antananarivo, réception : fixe, probabilité de couverture 95%

3.3.1.2 Réception portable externe

La figure 3.03 et 3.04 montre la couverture de la ville d'Antananarivo par le système DVB-T pour une réception portable classe A respectivement pour la probabilité de couverture à 70% et 95%. Le rapport de la simulation donne le pourcentage de la zone couvert selon la valeur du champ minimum (tableau 3.08 et tableau 3.09).

Min value dBuV/m	Surface covered km2	Total area covered km2	Percent covered
76	129,22	214,81	60,15
80	51,54	214,81	23,99
84	20,51	214,81	9,55
88	8,14	214,81	3,79
92	3,25	214,81	1,51
96	1,3	214,81	0,64
100	0,51	214,81	0,24
104	0,2	214,81	0,09
108	0,09	214,81	0,04
113	0,05	214,81	0,02

Tableau 3.08: Rapport de simulation sur la couverture d'un système DVB-T pour une réception portable classe A à 70% de couverture

Min value dBuV/m	Surface covered km2	Total area covered km2	Percent covered
82	32,52	53,98	60,24
86	12,94	53,98	23,97
90	5,12	53,98	9,48
94	2,04	53,98	3,78
98	0,81	53,98	1,5
102	0,33	53,98	0,61
106	0,13	53,98	0,24
100	0,06	53,98	0,11
114	0,02	53,98	0,04
120	0,01	53,98	0,02

Tableau 3.09: Rapport de simulation sur la couverture d'un système DVB-T pour une réception portable classe A à 95% de couverture

D'après ces résultats on constate que pour la probabilité de couverture estimée 70% et 95% on a respectivement 30.39% et 7.64% de zone couvert. Pour une réception portable classe A, la couverture d'Antananarivo est mauvaise.

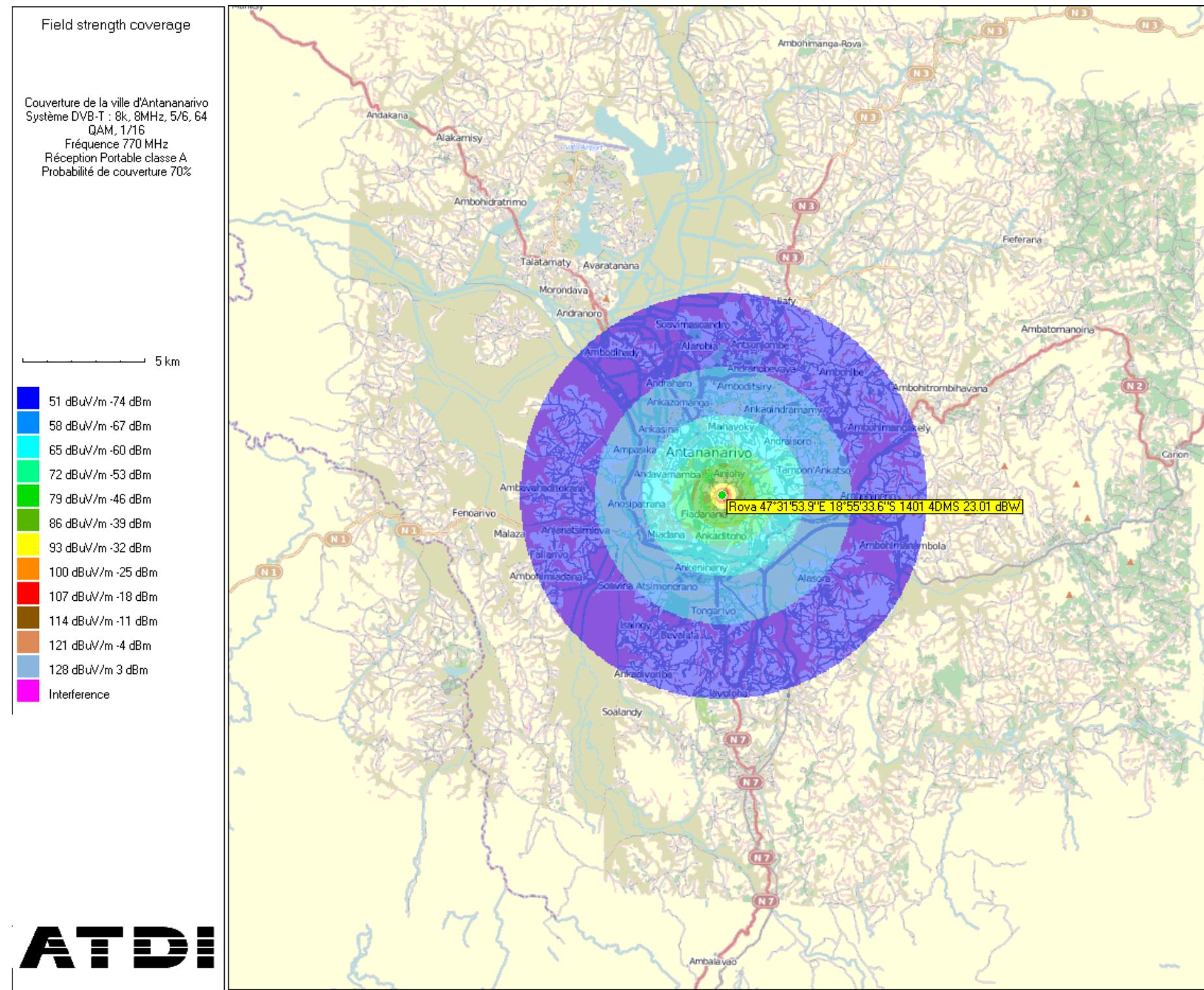


Figure 3.03 : Couverture de la ville d'Antananarivo, réception : portable classe A, probabilité de couverture 70%

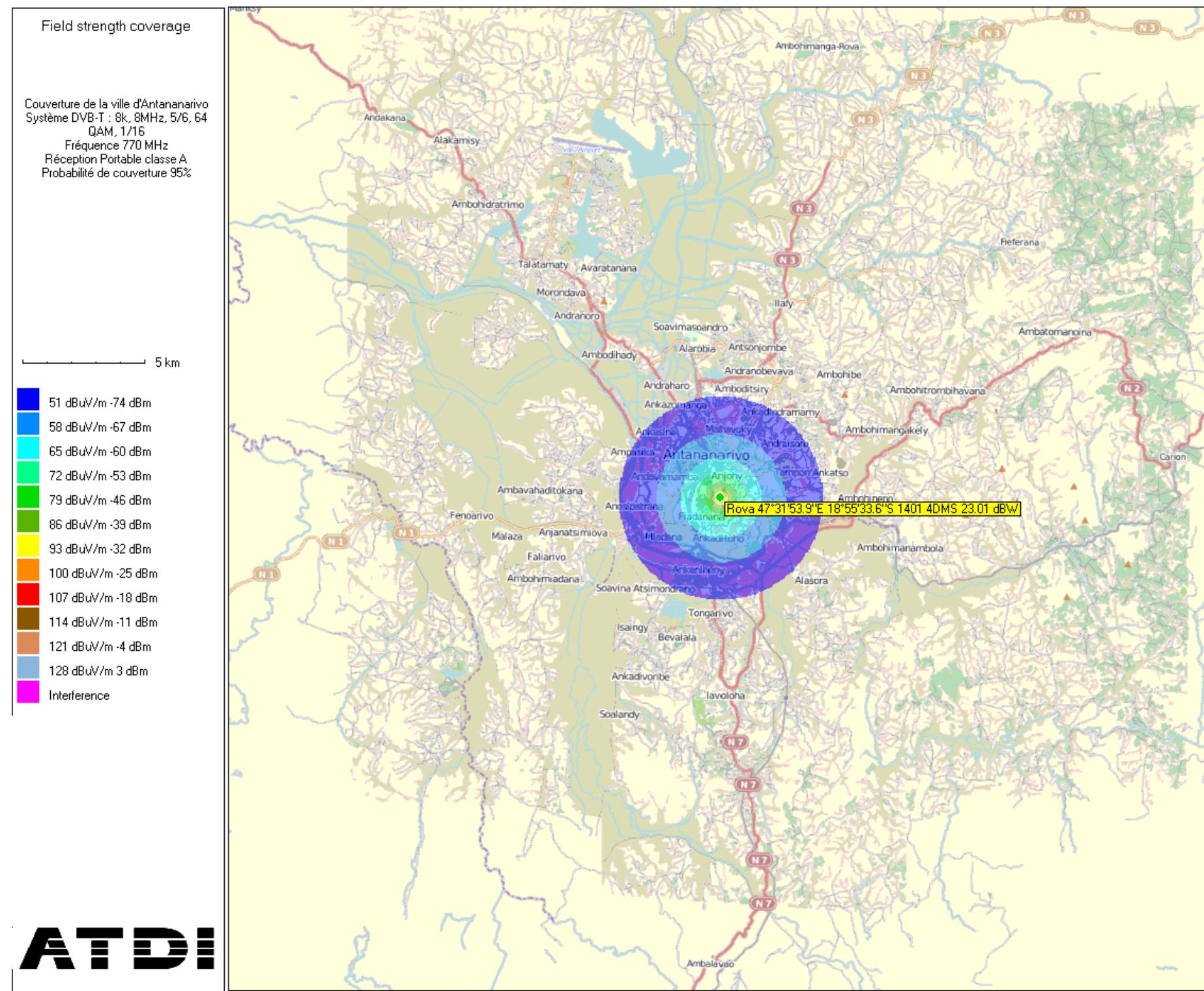


Figure 3.04 : Couverture de la ville d'Antananarivo, réception : portable classe A, probabilité de couverture 95%

3.3.1.3 Réception portable interne

La figure 3.05 et 3.06 montre la couverture de la ville d'Antananarivo par le système DVB-T pour une réception portable classe B respectivement pour la probabilité de couverture à 70% et 95%. Le rapport de la simulation donne le pourcentage de la zone couvert selon la valeur du champ minimum (tableau 3.10 et tableau 3.11).

Min value dBuV/m	Surface covered km2	Total area covered km2	Percent covered
84	20,51	34,05	60,23
88	8,14	34,05	23,9
92	3,25	34,05	9,54
96	1,3	34,05	3,82
100	0,51	34,05	1,5
104	0,2	34,05	0,59
108	0,09	34,05	0,26
113	0,03	34,05	0,09
117	0,01	34,05	0,03
120	0,01	34,05	0,04

Tableau 3.10: Rapport de simulation sur la couverture d'un système DVB-T pour une réception portable classe B à 70% de couverture

Min value dBuV/m	Surface covered km2	Total area covered km2	Percent covered
94	1,72	3,4	50,55
97	0,83	3,4	24,39
100	0,41	3,4	12,05
103	0,22	3,4	6,47
106	0,11	3,4	3,23
109	0,06	3,4	1,76
113	0,03	3,4	0,88
117	0,01	3,4	0,29
120	0,01	3,4	0,37

Tableau 3.11: Rapport de simulation sur la couverture d'un système DVB-T pour une réception portable classe B à 95% de couverture

D'après ces résultats on constate que pour la probabilité de couverture estimée 70% et 95% on a respectivement 4.82% et 0.48% de zone couvert. Pour une réception portable classe B, la couverture d'Antananarivo est presque nulle.

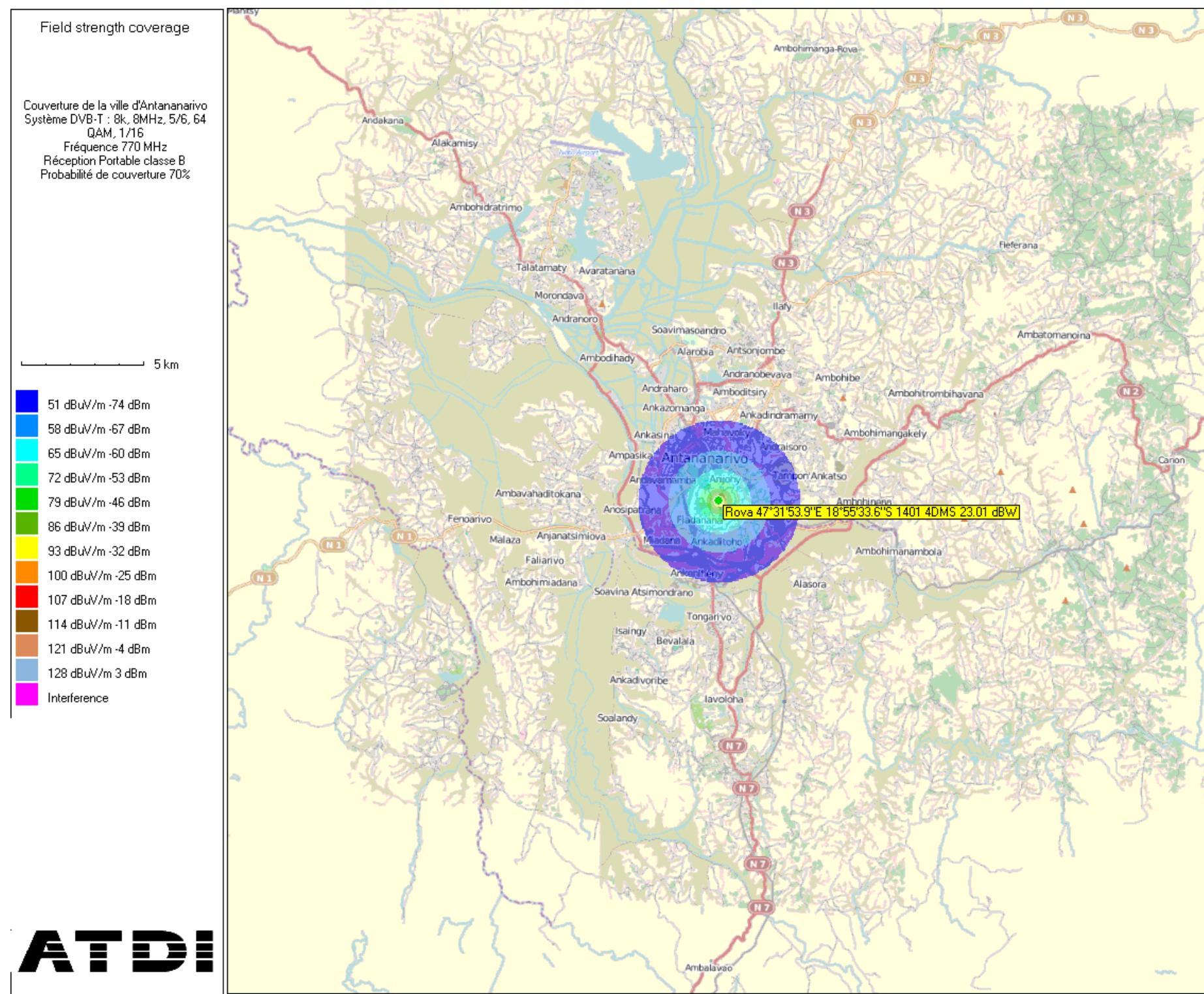


Figure 3.05 : Couverture de la ville d'Antananarivo, portable classe B, probabilité de couverture 70%

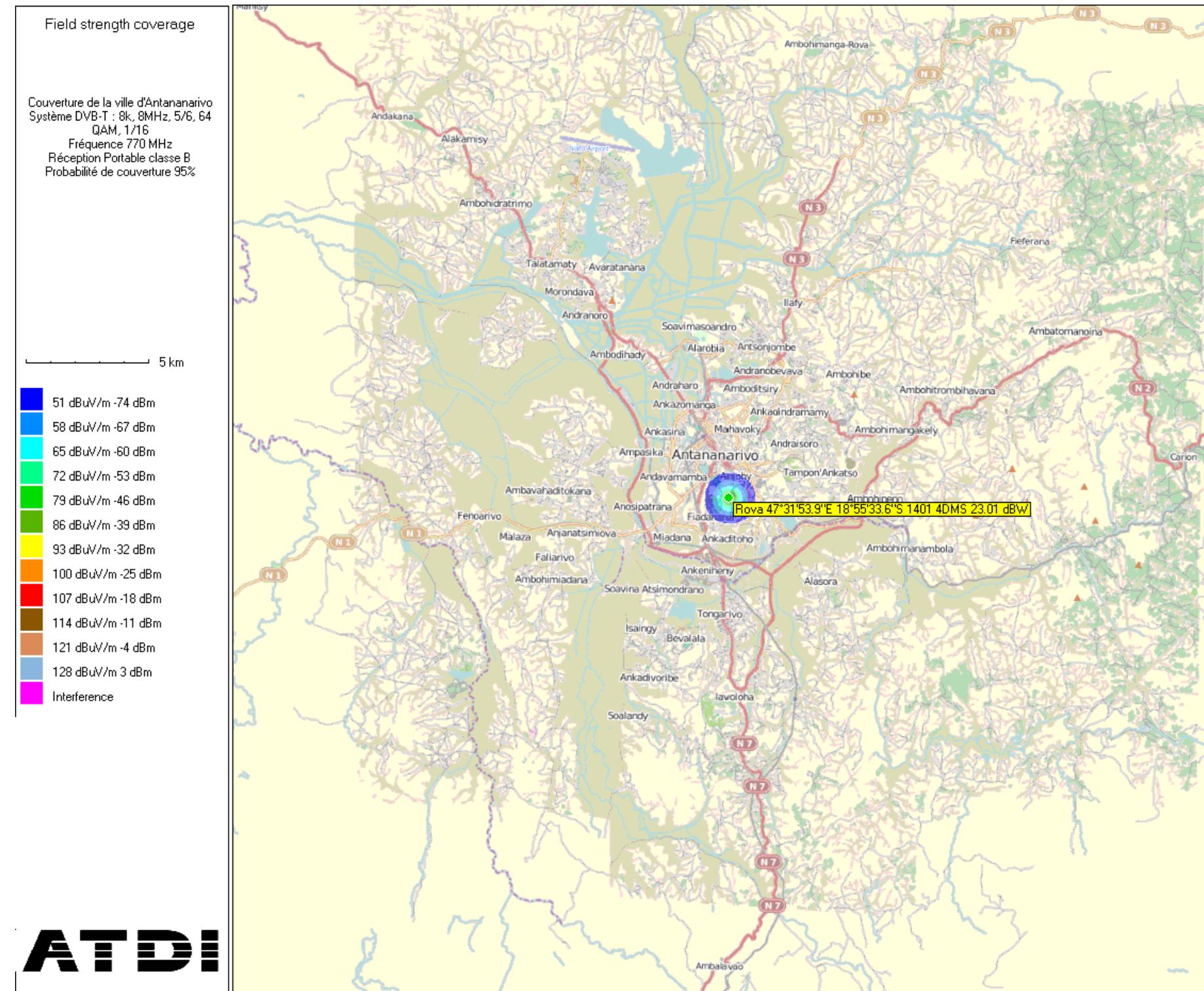


Figure 3.06 : Couverture de la ville d'Antananarivo, portable classe B, probabilité de couverture 95%

3.4 Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre la méthode pour faire une étude de couverture, le calcul des niveaux de signal à la réception pour avoir une bonne réception. L'analyse de la couverture de la ville d'Antananarivo par le système DVB-T sur chaque type de réception que nous avons effectuée à l'aide d'ICS Designer va nous permettre de passer au dernier chapitre où nous allons apporter une solution pour améliorer cette couverture.

CHAPITRE 4

OPTIMISATION DE LA COUVERTURE DE LA VILLE D'ANTANANARIVO

4.1 Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous allons apporter quelques solutions pour améliorer la couverture de la ville d'Antananarivo. Les solutions sont basées sur la norme DVB-T2 pour assurer une bonne couverture et pour limiter les changements sur le réseau.

4.2 Présentation de la norme DVB-T2

La norme DVB-T2 n'est qu'une évolution de la norme DVB-T, seule leur différence que nous allons apporter. Mais, les détails peuvent être consultés dans [14] et [15].

La figure 4.01 montre la chaîne d'émission d'un système DVB-T2.

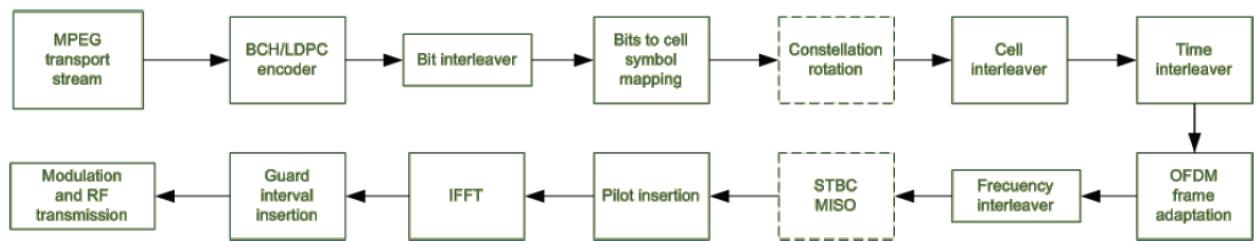


Figure 4.01 : Chaîne d'émission d'un système DVB-T2

4.2.2 Bande passante

La norme DVB-T2 possède trois bandes passantes de plus par rapport à la DVB-T. On a ajouté 1.7MHz, 5MHz et 10MHz.

4.2.3 Codage

Le système DVB-T2 offre deux choix de la longueur du FECFRAME, le FECFRAME normal ($N_{ldpc}=64800$ bits) et le FECFRAME court ($N_{ldpc}=24200$ bits), les tableaux 4.01 et 4.02 montrent respectivement les paramètres pour chaque longueur de FECFRAME.

Le technique de codage BCH et LDPC dans [15].

LDPC Code	BCH Uncoded Block K_{bch}	BCH coded block N_{bch} LDPC Uncoded Block K_{ldpc}	BCH t-error correction	$N_{bch} - K_{bch}$	LDPC Coded Block N_{ldpc}
1/2	32 208	32 400	12	192	64 800
3/5	38 688	38 880	12	192	64 800
2/3	43 040	43 200	10	160	64 800
3/4	48 408	48 600	12	192	64 800
4/5	51 648	51 840	12	192	64 800
5/6	53 840	54 000	10	160	64 800

Tableau 4.01: Paramètres de codage pour FECFRAME normal

LDPC Code identifier	BCH Uncoded Block K_{bch}	BCH coded block N_{bch} LDPC Uncoded Block K_{ldpc}	BCH t-error correction	$N_{bch} - K_{bch}$	Effective LDPC Rate $K_{ldpc}/16\ 200$	LDPC Coded Block N_{ldpc}
1/4 (see note)	3 072	3 240	12	168	1/5	16 200
1/2	7 032	7 200	12	168	4/9	16 200
3/5	9 552	9 720	12	168	3/5	16 200
2/3	10 632	10 800	12	168	2/3	16 200
3/4	11 712	11 880	12	168	11/15	16 200
4/5	12 432	12 600	12	168	7/9	16 200
5/6	13 152	13 320	12	168	37/45	16 200

NOTE: This code rate is only used for protection of L1-pre signalling and not for data.

Tableau 4.02: Paramètres de codage pour FECFRAME court

4.2.4 Taille de la FFT ou nombre de porteuses OFDM

DVB-T2 utilise le même technique OFDM comme le DVB-T. DVB-T2 a ajouté aux modes 2K et 8K les modes 1K, 4K, 16K et 32K pour augmenter la longueur de l'intervalle de garde sans réduire l'efficacité spectrale du système.

Le tableau 4.03 montre la taille de la FFT pour la bande passante de 8MHz. [16]

4.2.5 Type de modulation et longueur de l'intervalle de garde

Dans ce nouveau standard, on a ajouté la modulation 256QAM. Une nouvelle technique de protection permet d'utiliser ce type de modulation. Des nouvelles longueurs d'intervalle de garde ont été aussi introduites : 1/128, 19/256 et 19/128.

Le tableau 4.04 montre les longueurs de l'intervalle pour le système DVB-T2 pour un canal de 8MHz. [16]

Parameter		1k mode	2k mode	4k mode	8k mode	16k mode	32k mode
Number of carriers K_{total}	normal carrier mode	853	1705	3409	6817	13633	27265
	extended carrier mode	n/a	n/a	n/a	6913	13921	27841
Value of carrier number K_{\min}	normal carrier mode	0	0	0	0	0	0
	extended carrier mode	n/a	n/a	n/a	0	0	0
Value of carrier number K_{\max}	normal carrier mode	852	1704	3408	6816	13632	27264
	extended carrier mode	n/a	n/a	n/a	6912	13920	27840
Number of carriers added on each side in extended carrier mode K_{ext} (see Note 2)		0	0	0	48	144	288
Duration T_U		1024T	2048T	4096T	8192T	16384T	32768T
Duration $T_U \mu\text{s}$ (see Note 3)		112	224	448	896	1792	3584
Carrier spacing $1/T_U$ (Hz) (see notes 1 and 2)		8929	4464	2232	1116	558	279
Spacing between carriers K_{\min} and K_{\max} ($K_{\text{total}}-1$)/ T_U (see Note 3)	normal carrier mode	7.61 MHz					
	extended carrier mode	n/a	n/a	n/a	7.71 MHz	7.77 MHz	7.77 MHz

Tableau 4.03: Paramètre de la taille de la FFT pour DVB-T2 / 8MHz

		GI-Fraction						
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
FFT	T_U [ms]	GI [μs]						
32k	3.584	28	112	224	266	448	532	n/a
16k	1.792	14	56	112	133	224	266	448
8k	0.896	7	28	56	66.5	112	133	224
4k	0.448	n/a	14	28	n/a	56	n/a	112
2k	0.224	n/a	7	14	n/a	28	n/a	56
1k	0.112	n/a	n/a	7	n/a	14	n/a	28

Tableau 4.04: Longueur de l'intervalle de garde DVB-T2 8MHz

4.2.6 Motifs des pilotes dispersés ou Scattered pilot patterns

L'introduction de huit différentes motifs des pilotes dispersés PP1 jusqu'à PP8 fait partie de l'innovation, sa sélection dépend des paramètres de la transmission.

Les pilotes sont des porteuses qui ne contiennent pas de l'information nette mais pour les données sur la transmission. [13]

Les pilotes dispersés sont utilisés par les récepteurs pour faire des mesures sur le canal et pour estimer la réponse du canal pour chaque composant du symbole OFDM afin de corriger les distorsions aux signal reçu par le récepteur.

Les pilotes dispersés sont différents les uns des autres, les facteurs suivantes permettent de faire le choix entre eux [16] :

- Rendement en Doppler : les motifs ayant un cycle de répétition élevé est le plus favorable au rendement en Doppler, c'est-à-dire pour un Dy le plus petit.
- Capacité : Pour avoir une grande capacité, on choisit les motifs le moins dense où la distance entre les pilotes est élevée que ce soit en temps Dx et en fréquence Dy. La ligne « Scattered pilots overhead » dans le tableau 4.03 montre la surcharge causée pour les pilotes.
- Taille de la FFT et la longueur de l'intervalle de garde : toutes les motifs de pilotes ne sont pas compatibles avec toutes les combinaisons de la taille de la FFT et l'intervalle de garde, ce qui est montré par le tableau 4.04.
- C/N : le calcul du C/N dépend des motifs des pilotes, les pilotes les plus denses demandent un C/N élevé par rapport aux moins denses.
- Capacité du récepteur (PP8) : Le PP8 n'est pas supporté par tous les récepteurs, il requiert quelque détail plus complexe pour la transmission.

Le tableau 4.05 montre les différentes pilotes, il résume la densité en fréquence et en temps et la surcharge causée par les pilotes. [16]

	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8	Interpretation
Dx	3	6	6	12	12	24	24	6	Separation of pilot-bearing carriers
Dy	4	2	4	2	4	2	4	16	Length of sequence in symbols
1/DxDy	8.33%	8.33%	4.17%	4.17%	2.08%	2.08%	1.04%	1.04%	Scattered pilots overhead

Tableau 4.05: Comparaison des motifs des pilotes dispersés

Le tableau 4.06 montre les différentes pilotes avec la combinaison de la taille de la FFT et la longueur de l'intervalle de garde. [16]

FFT size	Guard Interval						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32k	PP7	PP4 PP6	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8 PP4	PP2 PP8	PP2 PP8	n/a
16k	PP7	PP7 PP4 PP6	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
8k	PP7	PP7 PP4	PP8 PP4 PP5	PP8 PP4 PP5	PP2 PP3 PP8	PP2 PP3 PP8	PP1 PP8
4k, 2k	n/a	PP7 PP4	PP4 PP5	n/a	PP2 PP3	n/a	PP1
1k	n/a	n/a	PP4 PP5	n/a	PP2 PP3	n/a	PP1

Tableau 4.06: Motifs des pilotes dispersés autorisés avec la combinaison de la taille de la FFT et l'intervalle de garde

4.2.7 Rotation de constellation

Une nouvelle technique appelée « Rotated constellation » et « Q-delay » a été introduite pour offrir un système plus robuste et plein de diversité pour la diffusion terrestre. Cette technique est optionnelle dans le système DVB-T2.

4.2.7.1 Rotated constellation

Après l'entrelacement de bit, les successions de bit sont représentées sous forme complexe, appelés symbole, chaque symbole est composé d'un composant en phase I et en quadrature Q qui peut être représenté sur un diagramme de constellation.

Le but de faire une rotation des constellations c'est de rendre les composantes I et Q indépendantes pour éviter le chevauchement entre les symboles. L'angle de rotation optimale pour chaque type de modulation est donné par le tableau 4.07. [16]

Constellation	Rotation angle (in degree)
QPSK	29.0
16-QAM	16.8
64-QAM	8.6
256-QAM	3.6

Tableau 4.07: Valeurs de l'angle de rotation

4.2.7.2 Q-delay

Q-delay est une technique pour séparer les composantes I et Q d'un symbole, afin de protéger le symbole contre les bruits pendant la transmission. Q n'est pas transmis dans une même cellule que I mais il est décalé dans une autre cellule. [16]

4.2.8 Entrelacement en temps ou Time interleaving

L'introduction de l'entrelacement en temps est de combattre contre les bruits impulsifs pendant et les «fading» qui varient en fonction du temps pendant la transmission. La durée varie entre quelques microseconde jusqu'à quelques secondes. La valeur typique est 70ms.

Il est à noter qu'il y a un compromis entre la durée de l'entrelacement et le temps de reconstruction du signal à la réception. [16]

4.2.9 Extension de la bande passante

DVB-T2 offre la possibilité d'extraire le nombre de porteuse utilisable pour les modes 8k, 16k et 32k en tenant compte de la limite de la bande passante du canal RF. L'extension de la bande passante augmente la capacité du système pour transporter les données. Le tableau 4.08 montre le gain par l'extension de la bande passante pour chaque mode FFT. [16]

FFT	Carrier Mode		
	Normal	Extended	
Size	Carriers	Carriers	Gain
1k	853	-	0.00%
2k	1705	-	0.00%
4k	3409	-	0.00%
8k	6817	6913	1.41%
16k	13633	13921	2.11%
32k	27265	27841	2.11%

Tableau 4.08: Gain en capacité de données par l'extension de la bande passante

4.2.10 Autres

Le standard DVB-T2 a tenu compte de l'inconvénient de l'OFDM, le « Peak Average Power Ratio » (PAPR) du signal et son effet sur les équipements de transmission. Le saut de puissance élevé produit par l'OFDM provoque une distorsion dans l'amplificateur et réduit son efficacité. Deux techniques ont été élaborées pour limiter le PAPR sans dégrader le signal de transmission : la réservation de porteuse et l'extension de la constellation active. L'un réserve quelques sous-

porteuses pour corriger le niveau du PAPR du signal, tandis que l'autre applique le même effet de modification sur les constellations sans perturber la reconstruction du signal à la réception. [13]

4.2.11 Signal sur bruit ou C/N

Le C/N caractérise la faculté du système de transmission par rapport aux bruits et les interférences. Il est utilisé pour déterminer le niveau signal requis pour le récepteur. La détermination du C/N est importante pour la planification d'un réseau.

Nous allons donner les formules pour calculer les C/N selon les modèles de canal de transmission. [16]

Canal de Gauss

$$C/N' = C/N_{Gauss-raw} + A + B + C \quad (4.01)$$

$$C/N_{Gauss} = C/N' + D \quad (4.02)$$

Canal de Rice

$$C/N'_{Rice} = C/N_{Gauss-raw} + A + B + C + \text{DELTA}_{Rice} \quad (4.03)$$

$$C/N_{Rice} = C/N'_{Rice} + D \quad (4.04)$$

Canal de Rayleigh

$$C/N'_{Rayleigh} = C/N_{Gauss-raw} + A + B + C + \text{DELTA}_{Rayleigh} \quad (4.05)$$

$$C/N_{Rayleigh} = C/N'_{Rayleigh} + D \quad (4.06)$$

Avec:

A: BER 10^{-7} correction

B: Pilot Boost correction

C: Real Channel estimation

D: back stop noise correction

Le tableau 4.09 donne les valeurs des facteurs de corrections A, B et C. [16]

Le tableau 4.10 donne les valeurs de $C/N_{\text{Gauss-raw}}$, $\text{DELTA}_{\text{Rice}}$ et $\text{DELTA}_{\text{Rayleigh}}$ [16]

Le tableau 4.11 donne les valeurs du facteur de correction D [14]

Pilot Pattern	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8
A = BER 10^{-7} Correction	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
B = Pilot Boost Correction	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4
C = Real Channel Estimation	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0

Tableau 4.09: Valeur de A, B et C selon les pilotes patterns

Constellation	Code rate	C/N _{Gauss-raw} (dB)	DELTA _{Rice} (dB)	DELTA _{Rayleigh} (dB)
QPSK	1/2	1	0,2	1
	3/5	2,2	0,2	1,3
	2/3	3,1	0,3	1,8
	3/4	4,1	0,3	2,1
	4/5	4,7	0,3	2,4
	5/6	5,2	0,4	2,7
16-QAM	1/2	6,2	0,2	1,5
	3/5	7,6	0,2	1,7
	2/3	8,9	0,2	1,9
	3/4	10	0,4	2,4
	4/5	10,8	0,4	2,8
	5/6	11,3	0,4	3,1
64-QAM	1/2	10,5	0,3	2
	3/5	12,3	0,3	2
	2/3	13,6	0,3	2,1
	3/4	15,1	0,3	2,6
	4/5	16,1	0,5	3,1
	5/6	16,7	0,4	3,4
256-QAM	1/2	14,4	0,4	2,4
	3/5	16,7	0,2	2,2
	2/3	18,1	0,3	2,3
	3/4	20	0,3	2,6
	4/5	21,3	0,4	3
	5/6	22	0,4	3,4

Tableau 4.10: Valeur de C/N_{Gauss-raw}, DELTA_{Rice} et DELTA_{Rayleigh}

C/N[dB]	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
D[dB]	0.07	0.09	0.11	0.14	0.18	0.22	0.28	0.36	0.46	0.58	0.75	0.97	1.26	1.65	2.20	3.02	4.33	6.87

Tableau 4.11: Valeur du facteur D

4.2.12 Débit net d'un multiplex DVB-T2

Le débit du DVB-T2 dépend de plusieurs facteurs comme la combinaison possible entre le FFT size et la longueur de l'intervalle de garde qui est donnée par le tableau 4.12 et les Pilot pattern autorisé avec la combinaison de FFT size et la longueur de l'intervalle de garde qui est aussi montré par le tableau 4.06. [16]

FFT	GIF						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32k	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
16k	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
8k	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
4k	No	Yes	Yes	No	Yes	No	No
2k	No	Yes	Yes	No	Yes	No	No
1k	No	No	Yes	No	Yes	No	No

Tableau 4.12: Combinaison entre la FFT et l'intervalle de garde possible

4.2.13 Méthode de planification

Le calcul des paramètres et l'estimation de couverture du système DVB-T2 est la même que pour ceux du système DVB-T. Voir 3.1 Planification su réseau. Seules les valeurs des paramètres qui changent mais les formules restent les mêmes. Les valeurs seront données par le tableau 4.13.

Reception	F (dB)	Aa (dBm2)	Lf (dB)	Pmm (dB)	CI 70% (dB)	CI 95% (dB)	Lh (dB)	Lb (dB)
Fixe	6	-4,6	4	0	2.8842	9.04695	0	0
Portable class A	6	-15,6	0	1	2.8842	9.04695	23,5	0
Portable class B	6	-15,6	0	1	4.24764	13.32369	23,5	11

Tableau 4.13: Valeurs des paramètres pour calculer les niveaux de signal pour un système DVB-T2

Autres paramètres pour la simulation :

Gain de l'antenne :

Réception	Gain (dBd)
Fixe	11
Portable	0

Tableau 4.14: Gain de l'antenne de réception pour un système DVB-T2

« Standard deviation » σ :

Réception	σ (dB)
Fixe	5,5
Portable classe A	5,5
Portable classe B	8,1

Tableau 4.15: « Standard deviation » pour un système DVB-T2

Nous avons élaboré une petite application sous « MATLAB » qui permet d'afficher le débit, le C/N, le champ minimal équivalente à la réception Emin et le champ médiane minimale Emed pour chaque variante de système DVB-T et DVB-T2. Ceci pour faciliter la consultation de plusieurs tableaux et pour minimiser le temps de calcul. La présentation de cette application sera dans l'Annexes 2.

4.3 Les variantes de solutions possibles pour la ville d'Antananarivo

Diverses sont les solutions pour l'optimisation du réseau, mais nous avons opté par la transition vers le système DVB-T2, car il est plus robuste et aussi recommandé par l'accord « GE06 ».

Le système DVB-T2 offre plusieurs scénarios possibles pour avoir une bonne couverture, en combinant les paramètres du système.

D'après les résultats de la simulation dans la partie III, la couverture pour une réception fixe est déjà bonne. Alors, on va se focaliser sur l'amélioration de celle la réception portable pour la ville d'Antananarivo qui est une zone d'agglomération alors la réception portable est vraiment importante.

Il est à noter que si la réception portable est bonne il en est de même pour la réception fixe mais l'inverse n'est pas vérifié.

Différentes scénarios vont être présentés pour la réception portable.

4.3.1 Scénario 1 : Réception portable : débit maximal

On utilise le mode 16k avec un intervalle de garde 1/8(224μs). Ce choix permet de faire un réseau SFN jusqu'à un diamètre de 150km.

Paramètres du système :

- Bande passante 8MHz
- FFT mode 16k
- Carrier mode « Extend »
- Scattered Pilot Pattern PP3
- Guard interval 1/8(224μs)
- Modulation 256-QAM
- Code rate 3/4
- C/N(Rayleigh) 25.45 dB
- Data rate 39.3 Mbps

Comparer à un système DVB-T (8k, 64-QAM, 5/6 et GI 1/16) qui a le même C/N(Rayleigh) requis 26.2 dB et donne un débit de 29.2Mbps, le DVB-T2 avec les paramètres ci-dessous gagne un débit plus de 10Mbps que le DVB-T.

4.3.2 Scénario 2 : Réception portable : Extension de la zone de couverture au maximum

DVB-T2 peut être aussi implémenté pour une extension de la couverture d'un réseau DVB-T avec le même débit. Par rapport à un système DVB-T avec le même débit on a un gain de 6dB, qui pourrait favoriser une réception portable dans une zone où seule la réception fixe a été possible.

Paramètres du système :

- Bande passante 8MHz
- FFT mode 16k
- Carrier mode « Extend »
- Scattered Pilot Pattern PP3
- Guard interval 1/8(224μs)
- Modulation 64-QAM
- Code rate 3/4
- C/N(Rayleigh) 20.02 dB
- Data rate 29.4 Mbps

4.3.3 Scénario 3: Réception portable avec l'utilisation optimale du spectre

Le but de l'utilisation optimale du spectre est de permettre à un seul multiplex d'être diffusé dans une grande zone de réseau SFN, par exemple pour assurer une couverture nationale par un réseau SFN, pour cela il faut choisir une longe intervalle de garde. Mais, l'inconvénient est une perte en termes de débit.

Paramètres du système :

- Bande passante 8MHz
- FFT mode 16k
- Carrier mode “Extend”
- Scattered Pilot Pattern PP1
- Guard interval 1/4 (448 μ s)
- Modulation 64-QAM
- Code rate 2/3
- C/N(Rayleigh) 18.3 dB
- Data rate 22.6 Mbps

4.4 Choix de la solution et simulation

Parmi ces trois scénarios, le scénario 2 est la plus appropriée à notre cas. Notre but est d'améliorer la couverture de la ville d'Antananarivo pour permettre une bonne réception portable. Mais l'implémentation du système DVB-T2 n'est pas suffisante pour cette amélioration, il faut aussi changer quelques paramètres de l'émetteur : la hauteur d'antenne et la puissance d'émission. Les paramètres que nous allons utiliser sont déjà citées ci-dessus pour le scénario 2, hauteur de l'antenne 50m et la puissance d'émission 1000W.

4.4.1 Paramètres requis à la simulation

Les paramètres requis pour ce nouvel système ont été calculés par l'outil de calcul selon le type de réception souhaitée. La comparaison entre le nouveau système et l'ancien sera montrée par les figures 4.02, 4.03 et 4.04.

Ces comparaisons montrent bien qu'il y a un gain en C/N de 6dB pour les réceptions portable.

DVB-T 8MHz		DVB-T2 8MHz	
FFT Size 8K	C/N (dB) 20.4	FFT Size 16K	C/N (dB) 17.64
Modulation 64-QAM	Bit rate (Mbps) 29.27	Modulation 64-QAM	Bit rate (Mbps) 29.4
GI 1/16	Emin (dBuV/m) 48.6537	GI 1/8	Emin (dBuV/m) 43.0937
Code rate 5/6	Emed (dBuV/m) 70%	Carrier mode Extend	Emed (dBuV/m) 70%
Canal Rice(fix)	51.5537	Code rate 3/4	Emed (dBuV/m) 95%
Portable reception	Emed (dBuV/m) 95%	Pilot Pattern PP3	52.1406
Class A	57.6537	Canal Rice(fix)	
		Portable reception	
		Class A	
<input type="button" value="Calculate"/>	<input type="button" value="Return"/>	<input type="button" value="Calculate"/>	<input type="button" value="Return"/>

Figure 4.02 : Paramètres de simulation pour la réception fixe

DVB-T 8MHz		DVB-T2 8MHz	
FFT Size 8K	C/N (dB) 26.2	FFT Size 16K	C/N (dB) 20.02
Modulation 64-QAM	Bit rate (Mbps) 29.27	Modulation 64-QAM	Bit rate (Mbps) 29.4
GI 1/16	Emin (dBuV/m) 61.4537	GI 1/8	Emin (dBuV/m) 52.4737
Code rate 5/6	Emed (dBuV/m) 70%	Carrier mode Extend	Emed (dBuV/m) 70%
Canal Rayleigh(Por...)	77.3537	Code rate 3/4	Emed (dBuV/m) 95%
Portable reception	Emed (dBuV/m) 95%	Pilot Pattern PP3	79.5206
Class A	83.4537	Canal Rayleigh(Por...)	
		Portable reception	
		Class A	
<input type="button" value="Calculate"/>	<input type="button" value="Return"/>	<input type="button" value="Calculate"/>	<input type="button" value="Return"/>

Figure 4.03 : Paramètres de simulation pour une réception portable classe A

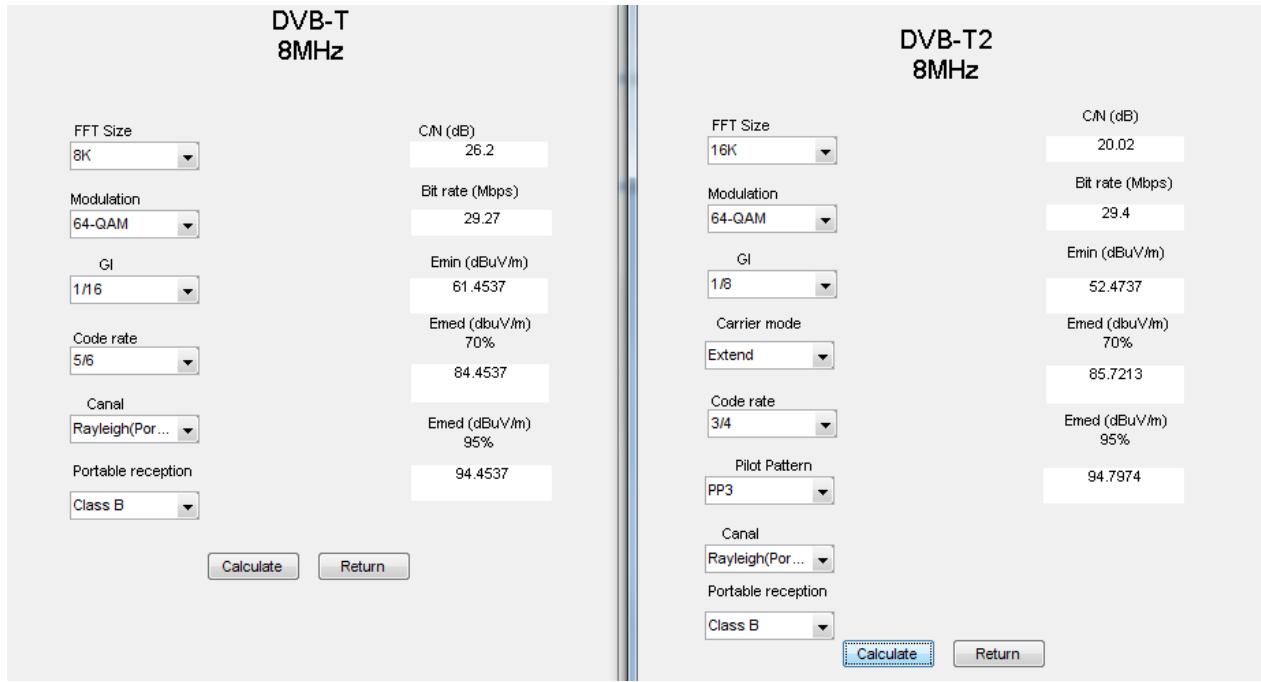


Figure 4.04 : Paramètres de simulation pour une réception portable classe B

4.4.2 Simulation pour une réception portable classe A

La figure 4.05 montre la couverture de la ville d'Antananarivo par le nouvel système DVB-T2, et le tableau 4.16 donne la répartition des champs dans la zone à couvrir.

Min value dBuV/m	Surface covered km ²	Total area covered km ²	Percent covered
81	206,64	314,02	65,8
86	73,43	314,02	23,38
91	23,25	314,02	7,4
96	7,32	314,02	2,33
101	2,31	314,02	0,74
106	0,73	314,02	0,23
111	0,23	314,02	0,07
116	0,08	314,02	0,03
121	0,02	314,02	0,01
127	0,01	314,02	0

Tableau 4.16: Rapport de la simulation pour une réception portable classe A avec les probabilités de couverture 70% et 95%

D'après ce résultat, la réception portable de classe A couvre 44.42% de la zone à couvrir pour une probabilité de couverture 95%. Ce résultat n'est pas encore acceptable, mais comparer à la valeur obtenu 7.64% pour le système DVB-T, on constate une grande amélioration. Avec ce 44.42% ou

314.02 km², on arrive à couvrir les zones d'agglomération de la grande ville d'Antananarivo par une réception portable de classe A, qui est le type de réception adapté dans les grandes villes.

4.4.3 Simulation pour une réception portable de classe B

Les figures 4.06 et 4.07 montrent respectivement la couverture de la ville d'Antananarivo par le système DVB-T2 pour chacun des probabilités de couvertures 70% et 95%. Les répartitions des champs sont données par les tableaux 4.17 et 4.18.

Min value dBuV/m	Surface covered km ²	Total area covered km ²	Percent covered
86	64,61	107,38	60,17
90	25,75	107,38	23,98
94	10,25	107,38	9,55
98	4,06	107,38	3,78
102	1,64	107,38	1,53
106	0,63	107,38	0,59
110	0,27	107,38	0,25
114	0,11	107,38	0,1
118	0,04	107,38	0,04
124	0,02	107,38	0,02

Tableau 4.17: Rapport de la simulation pour une réception portable classe B avec la probabilité de couverture 70%

Min value dBuV/m	Surface covered km ²	Total area covered km ²	Percent covered
95	6,77	13,54	49,99
98	3,39	13,54	25,03
101	1,7	13,54	12,55
104	0,83	13,54	6,13
107	0,41	13,54	3,03
110	0,22	13,54	1,62
113	0,11	13,54	0,81
116	0,06	13,54	0,44
120	0,03	13,54	0,22
124	0,02	13,54	0,17

Tableau 4.18: Rapport de la simulation pour une réception portable classe B avec la probabilité de couverture 95%

Ces résultats nous donnent les pourcentages de couverture 15.19% pour la probabilité de couverture 70% et 1.92% pour la probabilité de couverture 95%. Ces valeurs sont très petites, mais par rapport à l'ancien système c'est déjà mieux.

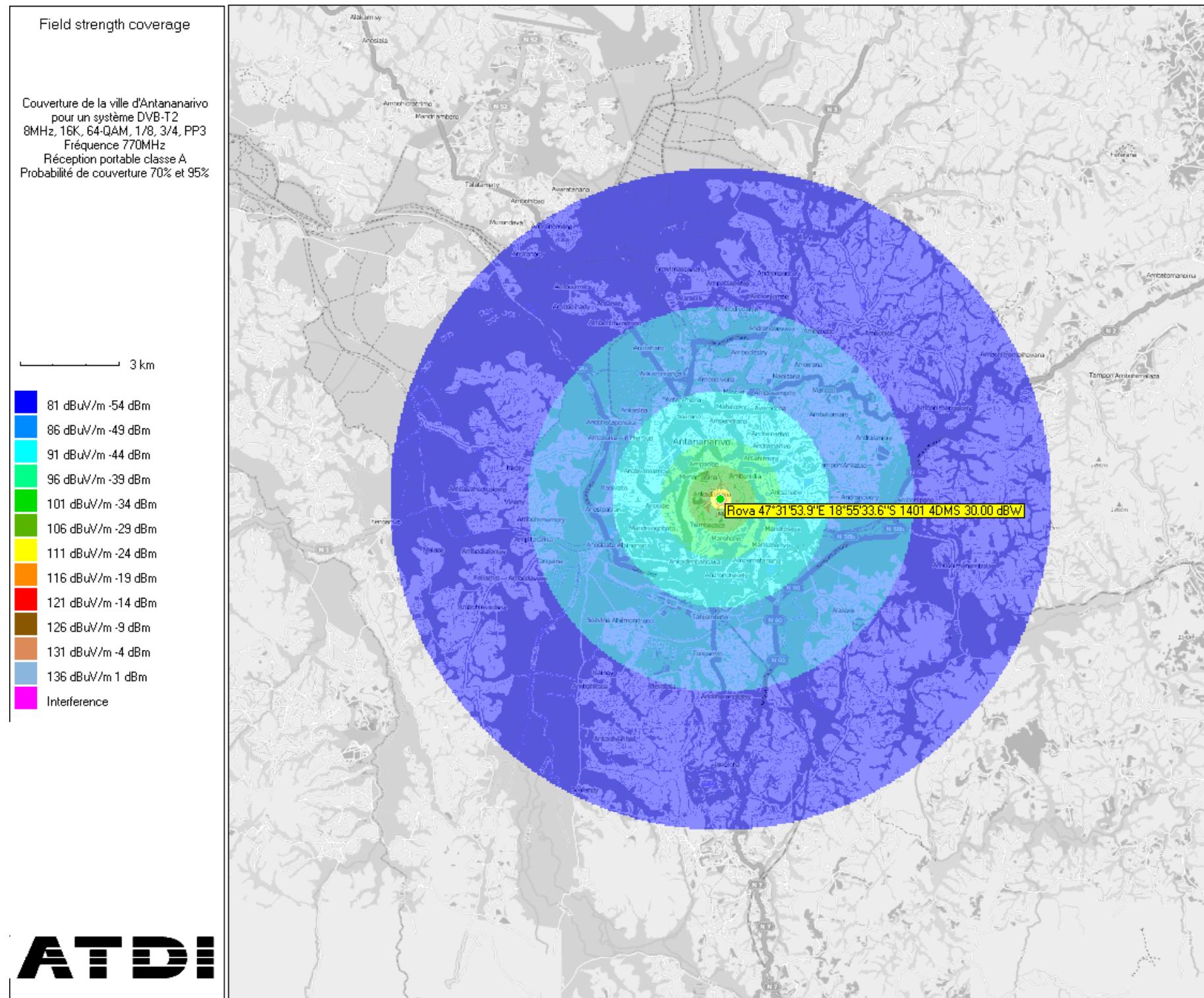


Figure 4.05 : Couverture de la ville d'Antananarivo par le système DVB-T2, pour une réception portable classe A avec les probabilités de couverture 70% et 95%

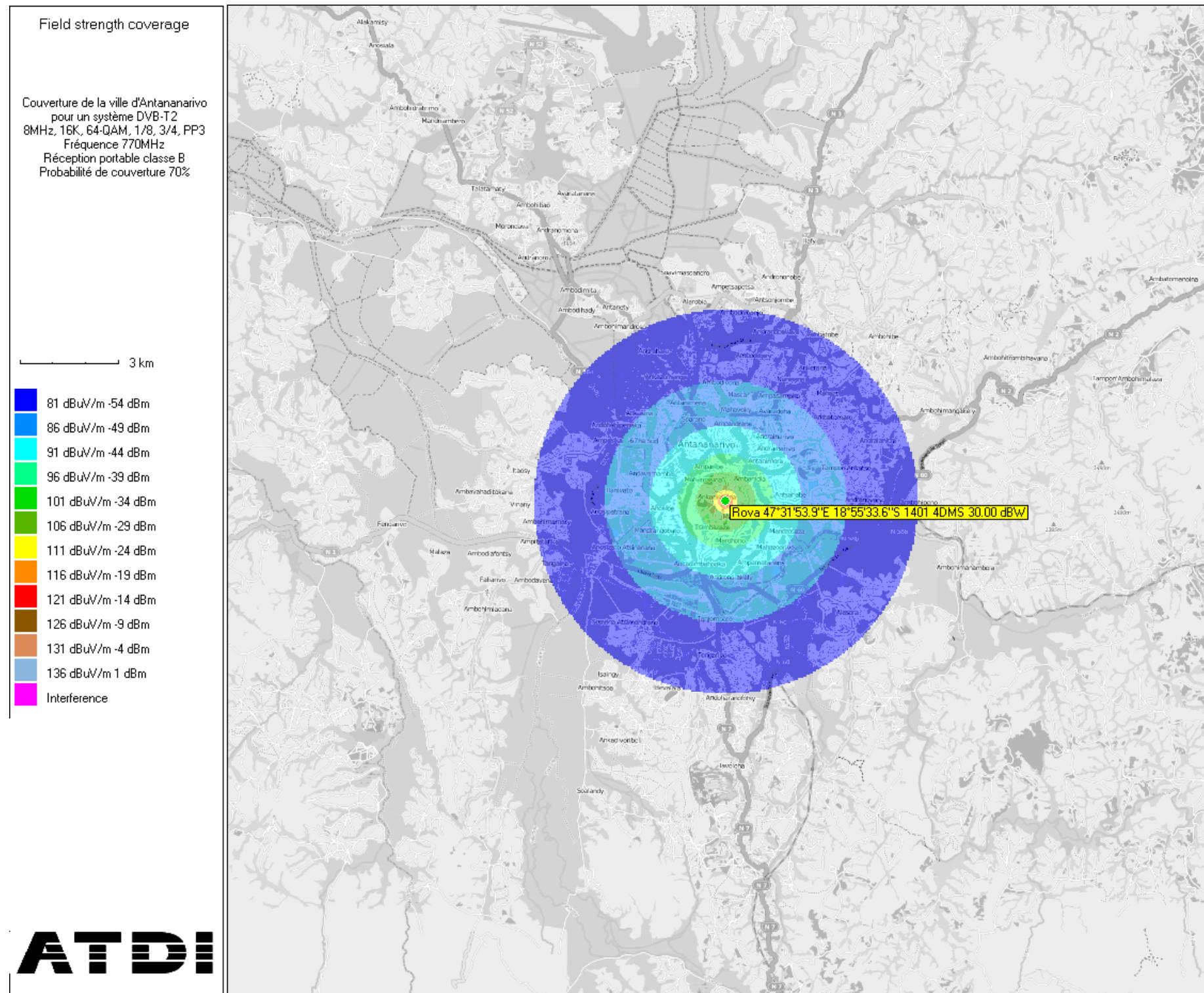


Figure 4.06 : Couverture de la ville d'Antananarivo par le système DVB-T2, pour une réception portable classe B avec les probabilités de couverture 70%

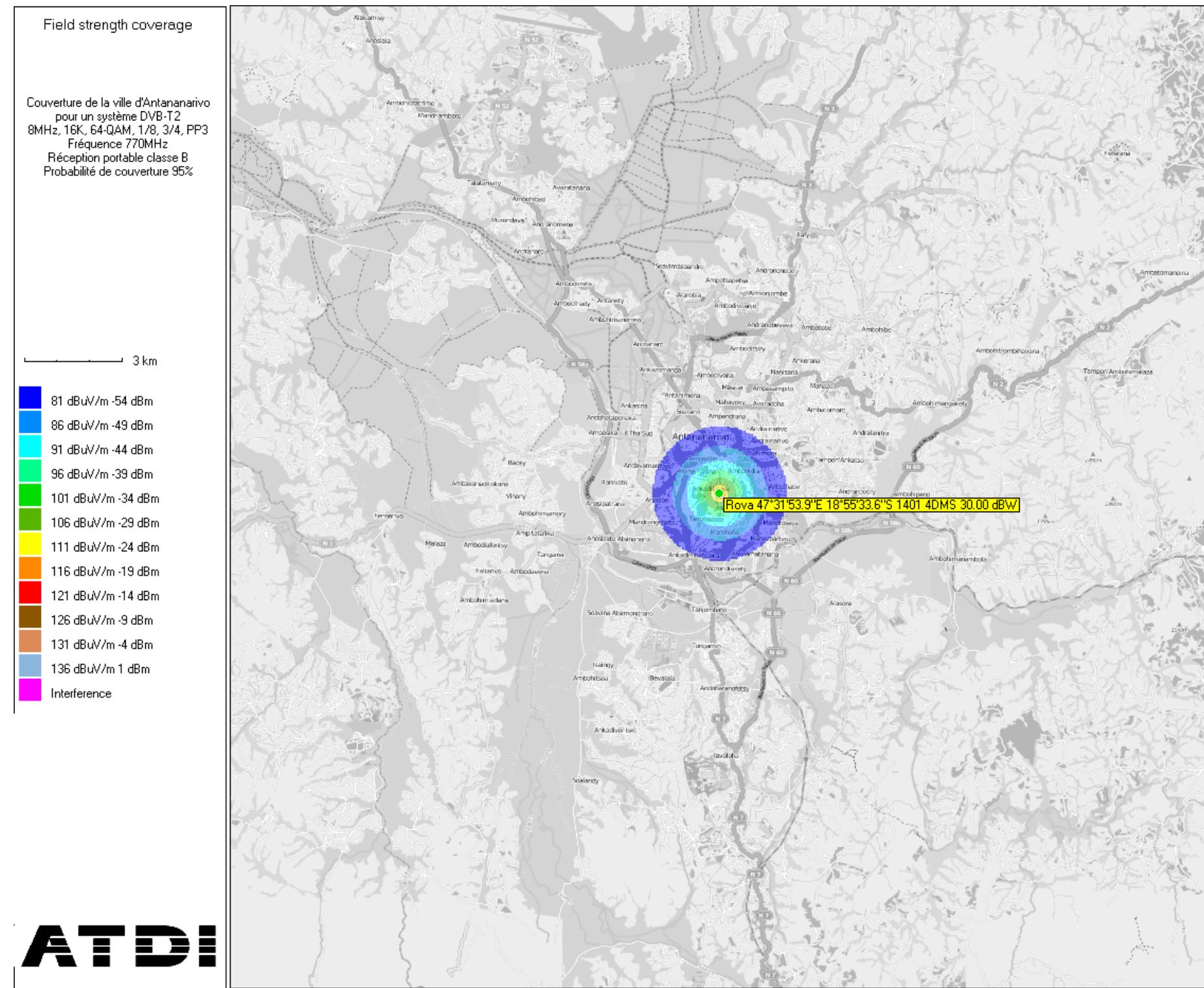


Figure 4.07 : Couverture de la ville d'Antananarivo par le système DVB-T2, pour une réception portable classe B avec la probabilité de couverture 95%

Pour atteindre les valeurs acceptables pour la réception portable classe B à 95%, c'est-à-dire un Emed = 94.80dBuV/m, il faut une bonne configuration d'un réseau SFN, alors que dans notre cas un réseau SFN n'est pas vraiment utile, c'est un gaspillage de ressource. On peut se satisfaire d'une réception portable de classe A dans la grande ville et une réception fixe dans les périphéries.

4.5 Changements dans le réseau de transmission

Pour passer de la DVB-T à la DVB-T2, il n'y a pas beaucoup de changement au niveau équipement d'émission. Seul le modulateur doit être remplacé pour un modulateur pour supporter la norme DVB-T2.

Dans notre cas, la société « Gulfsat/Blueline », n'a pas besoin d'acheter un nouveau modulateur, car notre modulateur supporte déjà la norme DVB-T2. Mais, on doit installer un nouvel émetteur pour pouvoir atteindre la puissance d'émission 1000W pour ce nouvel système.

A la réception, les abonnés doivent être équipés d'un décodeur qui supporte la norme DVB-T2, mais pour les antennes de réception il n'y a pas de changement.

4.5.1 Caractéristiques du nouvel système

Les paramètres du DVB-T2 sont :

- Bande passante 8MHz
- Mode 16K
- Modulation 64-QAM
- Rendement de codage interne 3/4
- Intervalle de garde 1/8
- Pilot Pattern PP3
- Carrier mode Extend
- Débit 29.4Mbps

Les paramètres de l'émetteur :

- Hauteur 35m
- Coordonnées GPS en DMS $47^{\circ}31'53.94''E$ et $18^{\circ}55'33.77''S$
- Directivité Omnidirectionnelle
- Puissance d'émission 1000W
- Nombres de canal utilisé 6
- Fréquences utilisées 770 à 810MHz

4.6 Conclusion

Ce dernier chapitre nous a permis de voir la différence entre le DVB-T et le DVB-T2. Nous avons choisi la norme DVB-T2 pour apporter une amélioration de la couverture de la ville d'Antananarivo grâce à sa robustesse et ses variantes scénario possible. La simulation à l'aide du logiciel ICS Designer nous a montré l'efficacité du système DVB-T2 par rapport au DVB-T pour la réception portable.

CONCLUSION GENERALE

Pour satisfaire la demande des utilisateurs de la TNT dans la ville d'Antananarivo, une bonne couverture sera requise, l'objectif de ce mémoire est d'optimiser le réseau de diffusion, pour cela nous avons choisi de faire une transition vers la norme DVB-T2. Cette nouvelle version apporte une amélioration sur la qualité de la transmission grâce à l'efficacité du système à fournir un C/N requis faible. La planification radio est la technique que nous avons utilisée pour résoudre le problème en analysant les données reçues par le calcul de la couverture avec le logiciel ICS Designer.

La télévision numérique peut être diffusée sous trois modes de diffusion, par satellite, par câble ou par voie hertzienne. La diffusion de la télévision numérique est présente dans le monde entier, c'est seulement les normes de diffusion qui diffèrent chaque pays.

Pour les pays qui choisissent la norme européenne DVB, ils ont toujours tendances à implémenter la norme DVB-T pour le lancement de la TNT. Ce système est moins complexe et sa mise en œuvre est plus facile. Mais ce système a une limite, sur le débit et surtout sur la couverture, il a été conçu pour la réception fixe, pour la réception portable il est moins performant. Cela a été démontré par l'analyse de la couverture de la ville d'Antananarivo avec la norme DVB-T à l'aide d'un outil de planification radio « ICS Designer ».

Pour remonter cette imperfection, la norme DVB-T2 a été élaborée. Elle n'est pas si différente que son antécédente DVB-T, mais par contre il y a quelques changements et améliorations dans le système, les codages canal ont été remplacés, des ajouts de variétés de choix dans les paramètres existants dans le système DVB-T et des nouvelles techniques ont été introduites pour améliorer la qualité de la transmission. Avec cette nouvelle norme, on peut surmonter le problème de la qualité de réception de type portable et même il peut couvrir une réception mobile à l'aide d'une bonne configuration du réseau.

Des études doivent être faites avant l'implémentation d'un réseau TNT pour pouvoir optimiser le réseau. On a besoin d'une étude théorique en faisant la planification radio, mais des relevés des niveaux de signal sur le terrain sont aussi recommandés pour voir le fonctionnement réel du système. La performance d'une diffusion de la TNT dépend du choix des paramètres du système à implémenter qui doit être approprié à la qualité de services voulue.

ANNEXE 1: MODULATION MULTIPORTEUSE

Principe des modulations multi porteuses.

Le principe est de transmettre des données numériques en parallèle modulées sur un grand nombre de porteuses à bas débit.

Dans un système conventionnel de transmission de données en série, les symboles sont transmis séquentiellement : le spectre de chaque donnée est autorisé à occuper toute la bande passante disponible. [17]

Principe de la modulation

Le principe du multiplexage en fréquence est de grouper des données numériques par paquets de N, qu'on appellera symbole OFDM et de moduler par chaque donnée une porteuse différente en même temps.

Considérons une séquence de N données c_0, c_1, \dots, c_{N-1}

Appelons T_s la durée symbole c'est-à-dire le temps qui sépare 2 séquences de N données.

Chaque donnée c_k module un signal à la fréquence f_k .

Le signal individuel s'écrit sous forme complexe : $c_k e^{2j\pi f_k t}$

Le signal $s(t)$ total correspondant à toutes les données d'un symbole OFDM est la somme des

$$\text{signaux individuels : } s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi f_k t}$$

Le multiplexage est orthogonal si l'espace entre les fréquences est $1/T_s$.

$$\text{Alors } f_k = f_0 + \frac{k}{T_s} \text{ et } s(t) = e^{2j\pi f_0 t} \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi \frac{kt}{T_s}}$$

Voici le schéma de principe de la modulation (figure A1.1).

Plus précisément les données numériques c_k sont des nombres complexes définis à partir d'éléments binaires par une constellation (mapping) de modulation d'amplitude en quadrature MAQ à plusieurs états (4, 16, 64, de façon générale à 2^q états). Ces données sont des symboles q-aires formés par groupement de q bits. On les appelle symboles numériques. Il ne faut pas les confondre avec le symbole OFDM qui est un regroupement de N symboles numériques sur N porteuses.

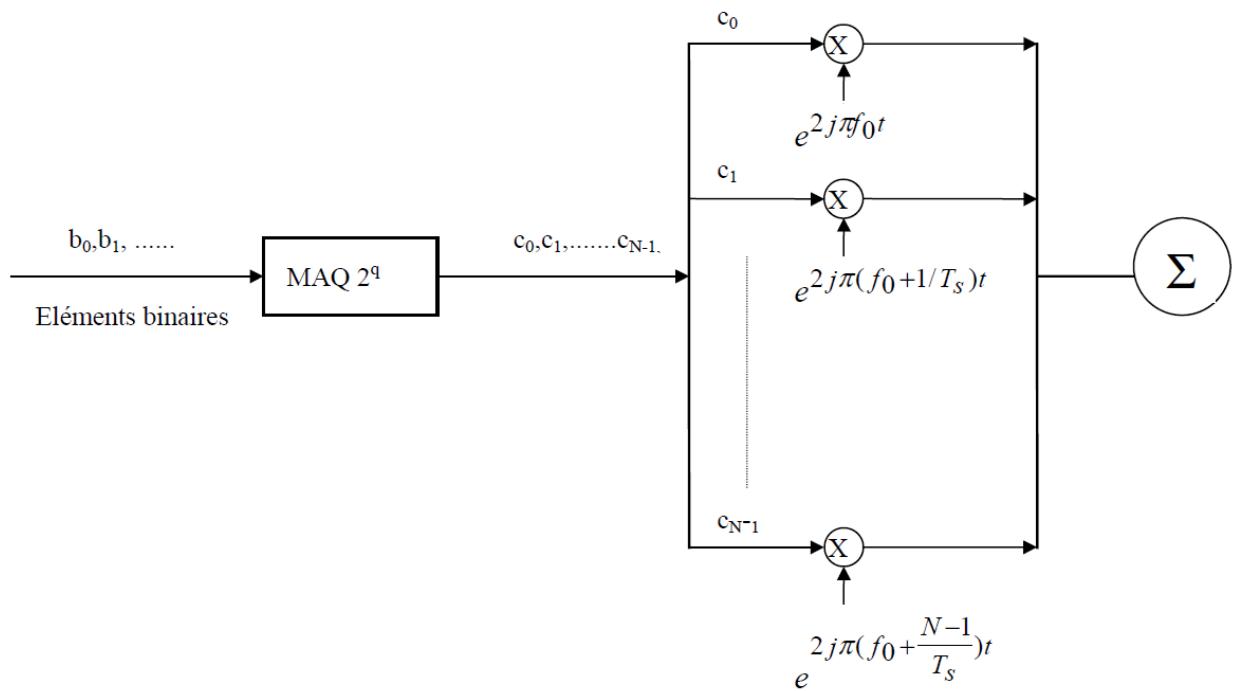


Figure A1.1 :Principe de la modulation OFDM

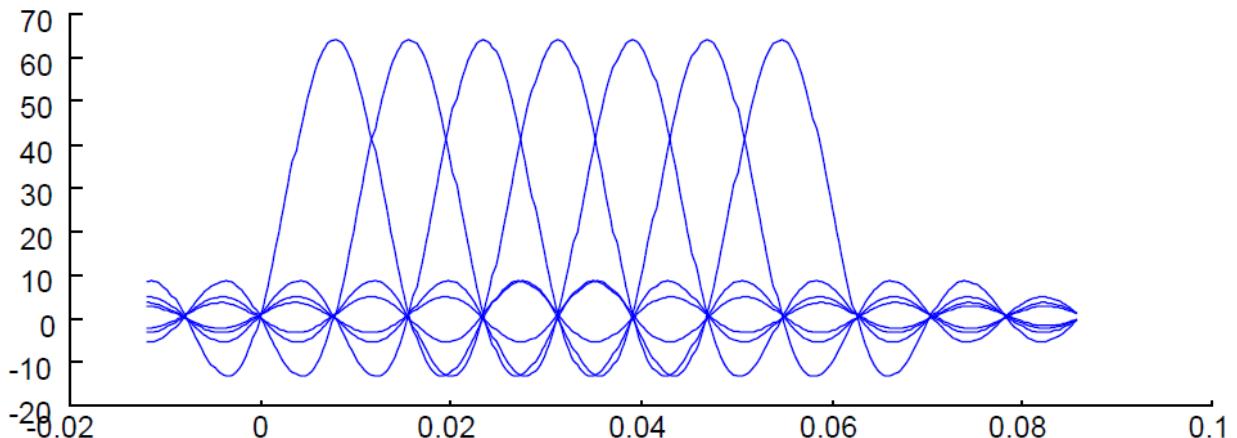


Figure A1.2 : Spectre de différentes porteuses

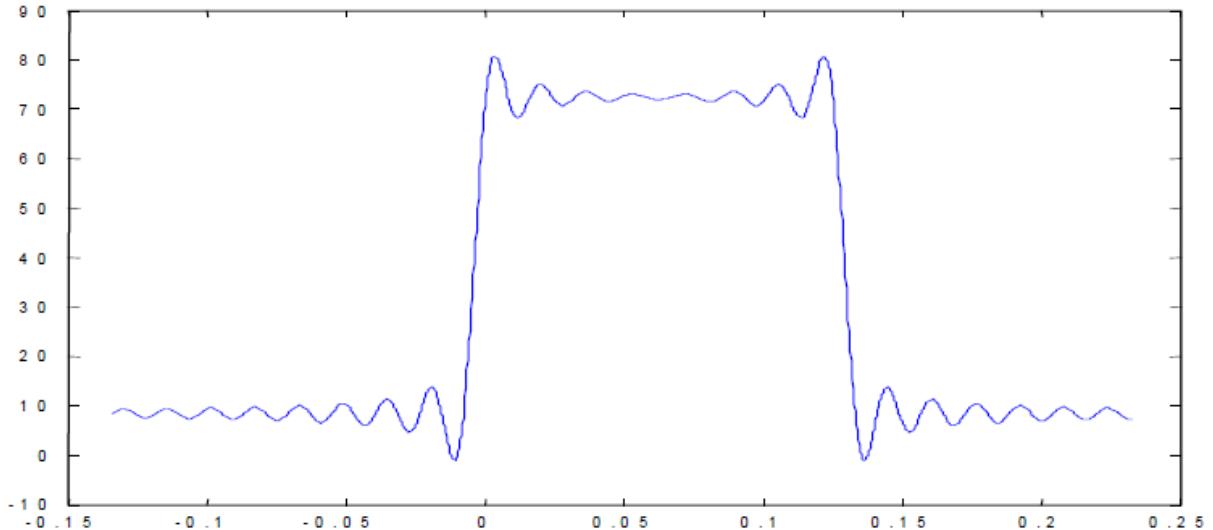


Figure A1.3 : Spectre du signal OFDM pour 8 porteuses

La condition d'orthogonalité permet, lorsque le spectre d'une sous-porteuse est maximal, d'annuler le spectre de toutes les autres.

Cette condition d'orthogonalité permet d'avoir un recouvrement entre les spectres des différentes sous-porteuses, et malgré ceci d'éviter les interférences entre sous-porteuse si l'échantillonnage est fait précisément à la fréquence d'une sous-porteuse.

La réalisation suivant le schéma de principe nécessiterait N modulateurs. Mais l'expression mathématique du signal montre qu'on peut le considérer comme la transformée de Fourier inverse des symboles numériques c_k .

Principe de la démodulation

Le signal parvenant au récepteur s'écrit, sur une durée symbole T_s :

$$y(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k(t) e^{2j\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t}$$

$H_k(t)$ est la fonction de transfert du canal autour de la fréquence f_k et au temps t . Cette fonction varie lentement et on peut la supposer constante sur la période T_s .

La démodulation classique consisterait à démoduler le signal suivant les N sous-porteuses suivant le schéma classique.

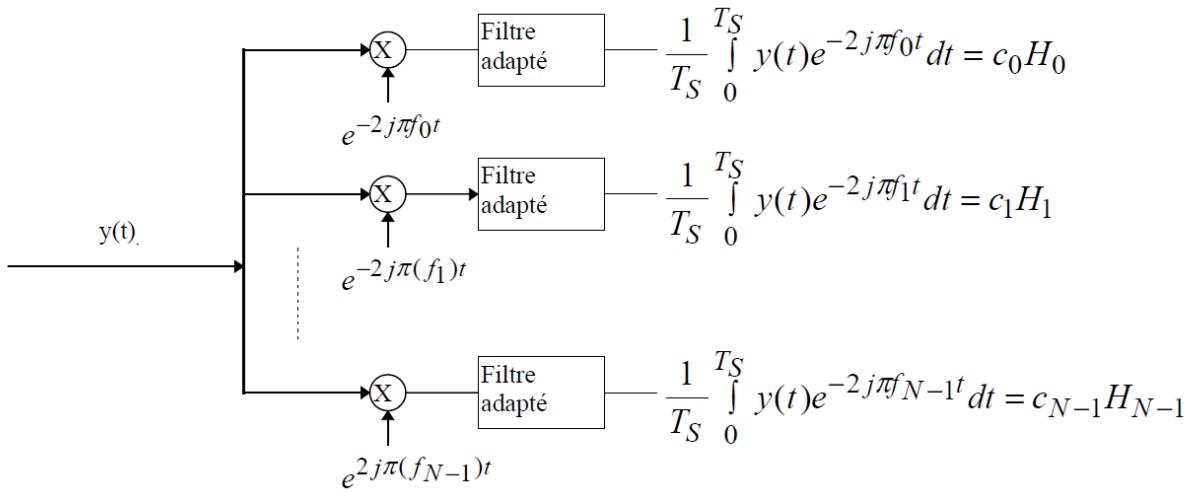


Figure A1.4 : Principe de la démodulation OFDM

Principes du modulateur et du démodulateur utilisant les transformées de Fourier discrètes

Pour discréteriser, il faut choisir une fréquence d'échantillonnage.

Voyons comment la démodulation impose cette fréquence :

Le signal occupe la bande passante B autour de la fréquence d'échantillonnage f_0 comme le montre le schéma suivant :

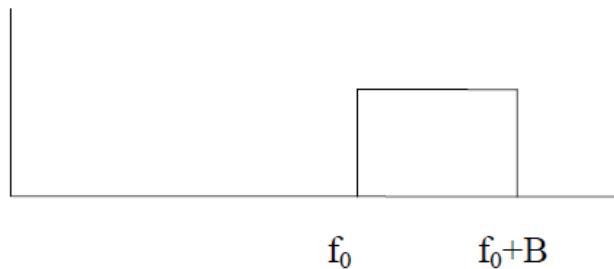


Figure A1.5 : Occupation de la bande passante

Pour démoduler, on va d'abord transposer le signal en bande de base, donc effectuer une translation de $f_0 + B/2$, fréquence médiane de la bande. [17]

Le spectre occupera la bande $[-B/2, B/2]$, comme on le voit sur le schéma suivant :

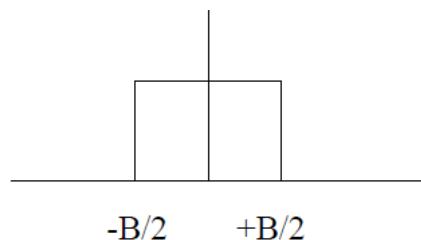


Figure A1.6 : Transposition en fréquence médiane f_0

La bande passante du signal étant $B/2=N/2T_S$, la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure ou égale à $2B/2$ soit N/T_S . L'échantillonnage se fera aux temps $t_n = nT_S/N$

La chaîne de transmission est schématiquement la suivante [17] :

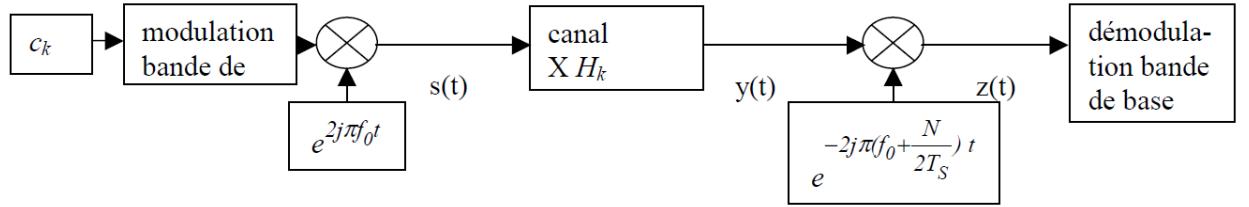


Figure A1.7 : chaine de transmission OFDM

Le signal reçu en bande de base après le décalage en fréquence de $f_0+B/2$ s'écrit alors :

$$z(t) = y(t)e^{-2j\pi(f_0 + \frac{N}{2T_S})t} = \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k e^{2j\pi(\frac{k-N}{T_S})t}$$

Puis après échantillonnage

$$z(t_n) = z(nT_S/N) = z_n = (-1)^n \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k e^{2j\pi \frac{kn}{N}}$$

On voit que z_n est la Transformée de Fourier discrète inverse de $c_k H_k$, la démodulation consiste donc à effectuer une Transformée de Fourier directe discrète. L'intérêt de cette discrétilisation est qu'on peut réaliser ces transformées de Fourier à l'aide d'algorithmes de FFT et IFFT. [17]

Le schéma de principes du démodulateur se simplifie :

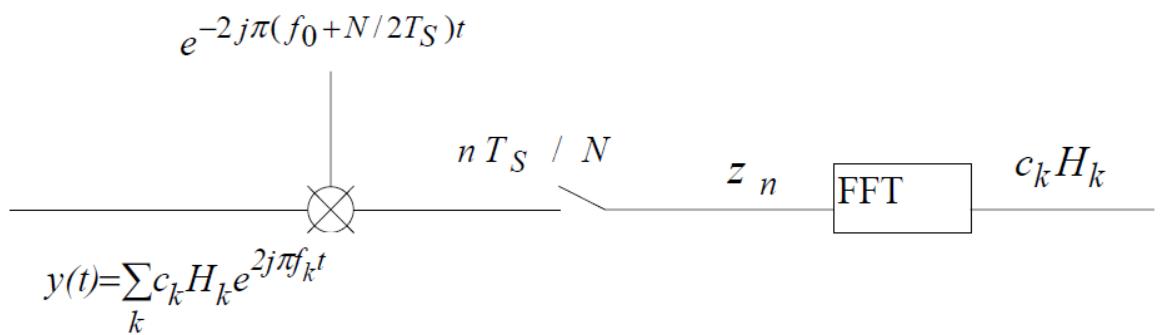


Figure A1.8 : Principe de démodulation simplifié

Si on pose que le signal modulé en bande de base $s(t)$ est lui aussi discrétilisé, les échantillons S_n s'écritent :

$$s_n = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi \frac{kn}{N}}$$

Le schéma de principe du modulateur est le suivant :

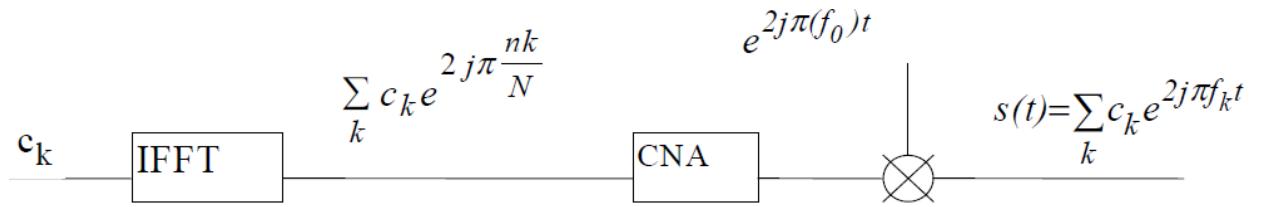


Figure A1.8 : Principe de modulateur numérique

Physiquement, les symboles numériques c_k sont les données dans l'espace fréquentiel, les échantillons du signal s_n sont les données dans l'espace temporel puisqu'on passe des premières aux secondes par une transformée de Fourier inverse.

Le spectre du signal OFDM est formé des c_k placés aux fréquences f_k , autour de ces données le spectre s'élargit suivant un sinus cardinal à cause du spectre de la fenêtre temporelle T_S . [17]

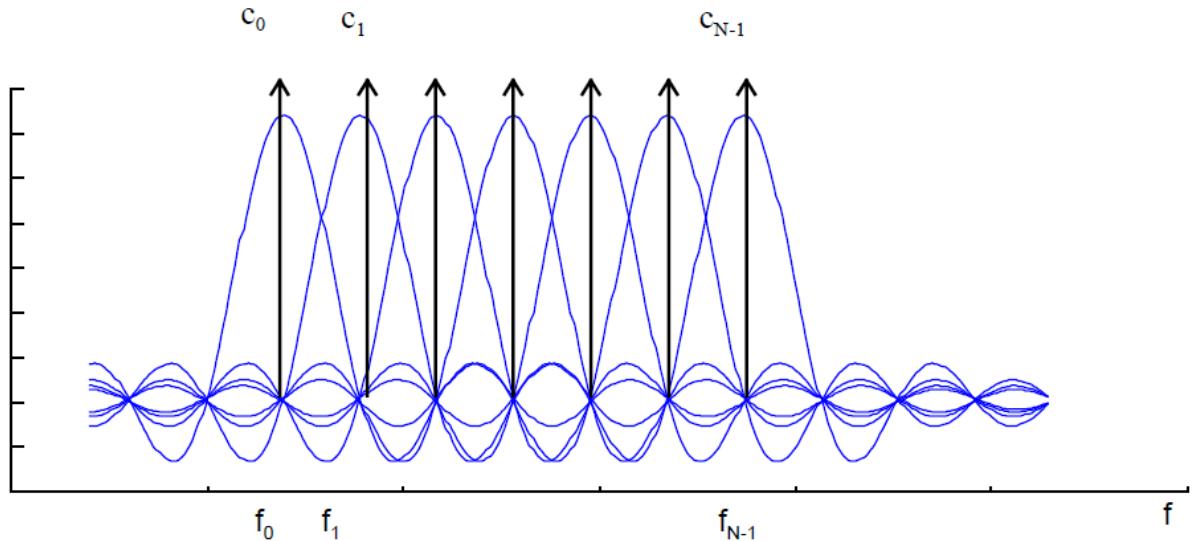


Figure A1.9 : Spectre du signal OFDM

ANNEXE 2 : OUTIL DE CALCUL REALISE AVEC MATLAB

Le langage « MATLAB » nous avons permis de réalisé un petit outil pour faire les calculs nécessaire pour acheminer une étude de couverture.

Fonction

Cet outil assure les fonctions suivantes :

- Calcul de C/N requis pour chaque variante du système DVB-T et T2
- Calcul du débit théorique
- Calcul des niveaux de signal : la valeur du champ équivalent minimal et la valeur du champ médiane minimale

Fonctionnement

L'outil est compatible avec les deux systèmes DVB-T et DVB-T2. Après le choix du système, l'outil avec son interface graphique on peut sélectionner les combinaisons des paramètres du système. Puis on lance le calcul et on obtient les résultats listés ci-dessus. Pour les combinaisons non permis il est affiché « N/A » sur la place du débit.

Réalisation

Tout d'abord une brève présentation de « MATLAB », MATLAB est un langage de haut niveau et un environnement interactif pour le calcul numérique, la visualisation et la programmation. Grâce à MATLAB, vous pouvez analyser des données, développer des algorithmes et créer des modèles et des applications. Le langage, les outils et les fonctions mathématiques intégrées vous permettent d'explorer diverses approches et d'arriver à une solution plus rapidement qu'en utilisant des feuilles de calcul ou des langages de programmation traditionnels, tels que C/C++ ou Java.

On peut utiliser MATLAB pour une vaste gamme d'applications, en particulier le traitement du signal et des communications, le traitement des images et des vidéos, les systèmes de contrôle, le test et les mesures, la finance et la biologie. MATLAB est le langage de calcul scientifique pour plus d'un million d'ingénieurs et de scientifiques dans l'industrie et le monde académique.

Nous avons réalisé l'outil avec l'option « GUI » de MATLAB.

Le but est de faciliter le calcul, donc on a créé une interface graphique pour faire le choix entre la norme DVB-T ou la norme DVB-T2. Dans chaque fenêtre on peut sélectionner toutes les combinaisons des paramètres de chaque système, pour pouvoir calculer le C/N, le débit, l'Emin et l'Emed. L'algorithme des calculs utilise les formules et les contraintes dans [11] et [16].

Le programme est composé de 6 fonctions pour les interfaces et 4 fonctions pour les calculs.

Fonctions interfaces :

- « menu.mat » et « menu.fig » pour le menu principal
- « principale.mat » et « principale.fig » pour le système DVB-T
- « principale_dvbt2.mat » et « principale_dvbt2.fig » pour le système DVB-T2

Fonction calcul :

- « cn_dvbt.mat » pour le calcul de C/N, Emin et Emed du système DVB-T
- « br_dvbt.mat » pour le calcul du débit du système DVB-T
- « cn_dvbt2.mat » pour le calcul de C/N, Emin et Emed du système DVB-T2
- « br_dvbt2.mat » pour le calcul du débit du système DVB-T2

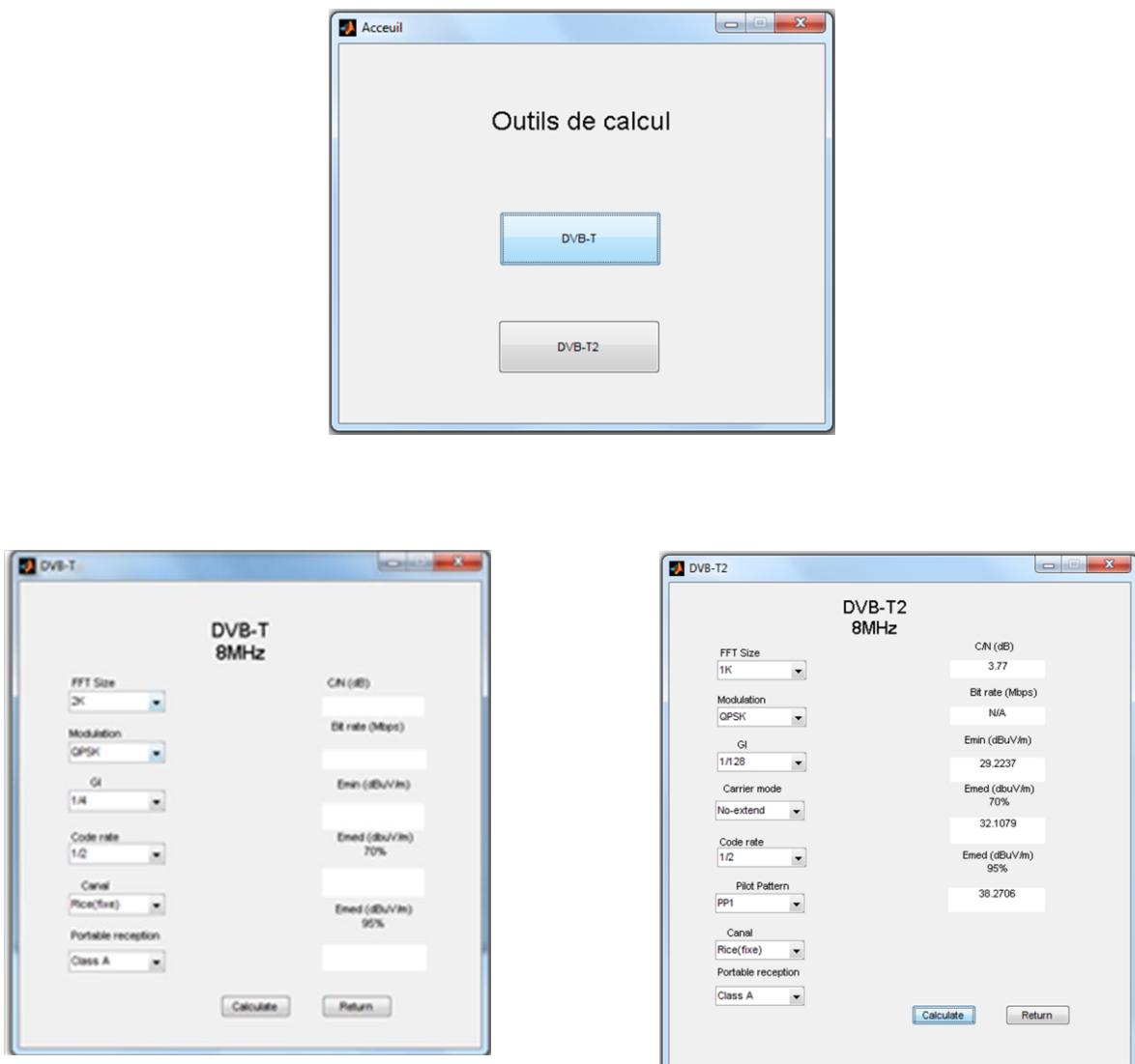


Figure A2.1 : Interfaces de l'outil de calcul

ANNEXE 3 : ICS DESIGNER

ICS Designer est un logiciel de planification radio complet. Il peut être utilisé par les opérateurs de télécommunications, les opérateurs de diffusions, les constructeurs des équipements et les bureaux d'étude en ingénierie radio.

ICS Designer supporte plusieurs technologie radio sur une cartographie multi-résolutions et multicouches en temps réel, tel que :

- la diffusion : l'analogique, DVB-T/T2, ISDB, ...
- la technologie mobile : LTE, Wi MAX, 3G, 2G, GPRS, EDGE, ...
- la liaison FH, PDH, SDH, IP-Radio
- Satellite
- Radar
- ...

Il assure les fonctions suivantes : analyse de couverture, analyse des interférences, planification de fréquence automatique, analyse de l' « handover », optimisation du réseau, ...

ICS Designer couvre à fond les besoins de simulation et d'analyse de diffusion fixe et mobile:

- Migration du système analogique vers le système numérique
- Configuration du réseau MFN et SFN
- Conformité avec les recommandations de l'UIT et Geneva06

L'accès aux données cartographiques est offert avec la licence du produit. ICS Designer est compatible avec Bing MAP.

ANNEXE 4 : PRESENTATION DE L'ACCORD GE06

La conférence Régionale des Radiocommunications (CRR) de l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) qui s'est tenue à Genève en Suisse du 15 mai au 16 juin 2006 (GE 06) a adopté l'Accord régional relatif à la planification du service de radiodiffusion numérique de terre dans la région 1 (partie de la région 1 située à l'ouest du méridien 170° E et au Nord du parallèle 40°S à l'exception du territoire de la Mongolie) et en République Islamique d'Iran, dans les bandes de fréquences 174-230 MHZ et 470-862 MHZ, ainsi que les résolutions associées.

118 pays appartenant à la région 1 (Europe, Moyen-Orient et Afrique) ont adopté les normes DVB-T et T-DAB pour la radiodiffusion numérique de terre.

- DVB-T (Radiodiffusion Vidéonumérique de Terre) dans les bandes VHF (174-230 MHZ) et UHF (470-862MHZ)
- T-DAB (Radiodiffusion Audionumérique de Terre) dans la bande VHF (174-230 MHZ)

La période de transition commence le 17 juin 2006. Pendant cette période, les assignations figurant dans le plan analogique sont protégées.

La période de transition prendra fin le 17 juin 2015.

Toutefois, pour certains pays, notamment africains, s'agissant de la bande VHF (174-230 MHZ), la période de transition prendra fin le 17 juin 2020.

DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES

Des choix technologiques doivent être opérés relativement aux : multiplexage, mode de réception, format, type de configuration, bandes de fréquence et normes.

- Multiplex : Deux (02) techniques de multiplexage sont utilisées en TNT :
 - Le multiplexage fixe
 - Le multiplexage statistique
- Mode de réception : Il existe trois (03) modes de réception de la radiodiffusion en DVB-T :
 - Réception fixe ;
 - Réception portable ;
 - Réception mobile.
- Format : Deux (02) formats TV pour la TNT sont actuellement déployés à travers le monde :
 - Le format TV de définition Standard (SD) ;
 - Le format TV de Haute Définition (HD).

- Type de configuration
 - Le réseau multifréquence appelé également MFN (Multi Fréquency Network) ; Réseau de stations émettrices utilisant plusieurs canaux RF.
 - Le réseau monofréquence, SFN (Single Frequency Network) ; Réseau de stations émettrices synchronisées rayonnant des signaux identiques dans le même canal RF.
- Bandes de fréquences
 - La bande UHF (470-790 MHZ) a été adoptée à la CMR-07 pour le déploiement de la TNT avec un premier dividende numérique : 790-862 MHZ.
 - A la CMR-12, sur demande des pays d'Afrique Subsaharienne, les pays du Golfe, Iran etc.. , la bande UHF (470-694 MHZ) leur a été accordée pour le déploiement de la TNT, donnant lieu à un deuxième dividende numérique : 694-790 MHZ.
- Normes de compression

Les normes actuellement disponibles sont :

MPEG-2 et MPEG-4AVC/ H264.

H264 est une évolution majeure de la norme MPEG-4 qui offre un taux de compression de 2 à 3 fois plus élevé que le MPEG-2 et de 1,5 à 2 fois plus élevé que le MPEG-4 classique.

- Transport

Le transport du signal peut être fait, soit par faisceaux hertziens (FH), soit par fibre optique ou par satellite.

- Normes de diffusion

Deux (02) normes de diffusion terrestre :

DVB-T et DVB-T2

La norme DVB-T2

- DVB-T2 est une norme de deuxième génération pour la télévision numérique terrestre offrant des avantages significatifs par rapport au DVB-T.
 - Meilleure efficacité spectrale ;
 - Augmentation du débit utile ;
 - Le système le plus avancé au monde pour la diffusion numérique terrestre, offrant plus de robustesse.
- Quand et comment utiliser le DVB-T2 :
 - pour la SDTV, HDTV, mobile TV;

- pour un passage de la TV analogique à la TV numérique ;
- couplé avec un codage MPEG-4, son efficacité est deux fois plus performante par rapport au DVB-T/MPEG-2. Capacité de DVB-T2 = DVB-T + 66 %.
- En raison de l'arrêt de la diffusion analogique et des besoins en fréquences grandissant, la nouvelle norme DVB-T2 permet une gestion plus efficace.
- DVB-T2 garantit la compétitivité des Standards DVB-T face aux concurrents (ATSC , ISDB-T, DMB-T, ...).

NB : La politique régionale étant à une harmonisation des normes, préconise la norme DVB-T2 MPEG-4AVC en raison de ses performances.

Le passage de la télévision analogique au numérique a de nombreuses incidences sur tous les éléments de la chaîne de valeur de la radiodiffusion : contenus, production, transmission et réception.

Dans tous les cas, la radiodiffusion numérique impose des mises à niveau techniques.

Ce passage est également lourd de conséquences économiques, sociales et politiques.

INSUFFISANCES DE LA TELEVISION ANALOGIQUE TERRESTRE

- La qualité du signal à la réception est affectée par les bruits et la distance (affaiblissement du signal) ;
- L'occupation de tout un canal de transmission FH de largeur 30 MHZ ; non rationalisation de l'utilisation du spectre : un seul programme occupe un canal radiofréquence de 8 MHZ ;
- Planification uniquement en MFN.
- La qualité de réception sur les mobiles est difficile, tributaire de l'environnement, réception en général affectée par l'effet des trajets multiples.

AVANTAGES DE LA TV NUMERIQUE

- Cohérence des différents réseaux de traitement de l'audiovisuel "tout numérique" : fabrication, diffusion, distribution et stockage
- Réduction des coûts d'exploitation : un émetteur pour plusieurs programmes ;
- Flexibilité dans la gestion des réseaux grâce à la numérisation ;
- Meilleure qualité d'images avec possibilité de diffusion en SD ou en HD ;
- Marché de masse pour les nouveaux décodeurs et téléviseurs numériques ;
- Création de nouvelles chaînes et de nouveaux services y compris interactifs et diversification de l'offre ;

- Possibilité de réception mobile et portable ;
- Cryptage facile pour la télévision à péage ;
- Introduction de la télévision régionale et de la télévision de communauté (professionnelles, culturelles, éducatives, etc).

ACTEURS DE LA RADIODIFFUSION NUMERIQUE

L'avènement de la télévision numérique va imposer une réorganisation dans le secteur de la radiodiffusion. La création de plusieurs entités est nécessaire afin de correspondre à la nouvelle configuration. Les acteurs clés de la radiodiffusion sont entre autres :

- Editeurs de programmes : ils sont responsables de la production et de l'assemblage de programmes de radiodiffusion destinés à la diffusion ;
- Opérateurs de multiplex : ils sont chargés de la collecte et de la transmission simultanée des programmes de radiodiffusion jusqu'aux sites de diffusion ;
- Opérateurs de diffusion : ils sont chargés de la diffusion des programmes multiplexés ;
- Gestionnaires de site de diffusion : entités chargées de l'exploitation et de l'entretien des infrastructures du site.

PROFESSIONNELS DE LA RADIODIFFUSION NUMERIQUE

La gestion des infrastructures de diffusion doit se faire avec plus de professionnalisme étant donné que des programmes appartenant à plusieurs éditeurs de programmes sont diffusés par un seul émetteur.

Les opérateurs de télévision sont condamnés à travailler en partenariat.

Le personnel de la radiodiffusion, doit d'ores et déjà, s'adapter à de nouvelles façons de travailler sous peine de disparaître. Comme toute nouvelle technologie, le numérique engendre de nouveaux métiers d'ingénierie et de production. Les professionnels de l'audiovisuel doivent se préparer à acquérir de nouveaux profils leur permettant de faire face aux nouvelles contraintes de la profession.

DEVELOPPEMENT DES CONTENUS DE PROGRAMMES

Créer les conditions d'émergence d'une industrie de production audiovisuelle dont le but sera de :

- valoriser la culture ;
- diversifier les contenus des programmes audiovisuels ;
- améliorer la qualité des productions ;
- tenir compte de la protection de l'enfant ;

- accroître la créativité et l'esprit d'entreprise.

ENJEUX ECONOMIQUES

La télévision vit actuellement une transformation profonde, portée par la numérisation de sa diffusion et par l'apparition de nouveaux canaux de distribution de contenus audiovisuels.

Les nouvelles formes de consommations audiovisuelles apparaissent : réception décalée (« catch-up TV » ou télévision de ratrapage) et à la demande (Video On Demand /VOD), les bouquets de chaînes.

Le passage au tout numérique audiovisuel va permettre :

- l'arrivée de nouveaux services audiovisuels tels que la télévision Haute Définition (TVHD) et la télévision mobile personnelle (TMP) ;
- la connexion à l'Internet à moindre coût dans les zones rurales, via la télévision ;
- l'installation de petits émetteurs communautaires pour les collectivités locales avec des programmes qui seront diffusés simultanément dans plusieurs langues ;
- la diffusion des données accompagnant les services ; par exemple des programmes thématiques répondant à un marché plus ciblé ;
- la diminution du nombre d'émetteurs, réduisant ainsi le coût des infrastructures de diffusion ;
- l'économie en énergie ;
- la libération de fréquences (dividende numérique) suite à l'arrêt de l'analogique donne lieu à l'introduction de nouveaux services de télécommunications.

CADRE JURIDIQUE

L'avènement de la radiodiffusion numérique nécessite la mise en place d'un environnement réglementaire :

- ratification de l'Accord de Genève 2006 dit Accord GE06 adopté le 16 juin 2006 ;
- institution d'un comité de pilotage de la transition numérique ;
- adoption du cadre juridique visant à combler les lacunes d'ordre juridique et institutionnel du secteur de la radiodiffusion afin de le mettre en harmonie avec le contexte de la télévision numérique terrestre (l'arrivée de nouveaux acteurs tels que l'opérateur de multiplex, l'opérateur de transport, l'opérateur de diffusion et l'opérateur de distribution) ;
- réactualisation de la mission de régulation ;
- réadaptation du statut des opérateurs historiques de radiodiffusion ;

VULGARISATION DES MOYENS DE RECEPTION

Cette action vise à introduire en masse des décodeurs TNT, des postes TV avec décodeurs TNT intégrés.

L'Etat devra prendre des mesures réglementaires incitatives pour fixer les conditions d'importation de postes récepteurs de télévision numérique et interdire l'importation de récepteurs de télévision analogique non adaptables à la TNT.

TELESPECTATEURS

Malgré les multiples avantages de la TV numérique pour les téléspectateurs, notamment la qualité des images et du son, l'interactivité et la diversité des programmes, son introduction dans les foyers ne se fera pas sans difficulté.

En effet, la continuité de réception des services de télévision lors du passage au "tout numérique" nécessite :

- l'acquisition d'un nouveau poste téléviseur avec un adaptateur numérique intégré ou d'un décodeur numérique à adapter au poste téléviseur existant, dont les caractéristiques correspondent à la nome de diffusion ;
- La réorientation de l'antenne de réception ou même l'achat d'une nouvelle ;
- Des campagnes d'information et de sensibilisation du public ;
- Des mesures d'accompagnement.

ANNEXE 5 : ALGORITHME DE COMPRESSION VIDEO

H.263

La technique de compression H.263 est conçue pour une transmission vidéo à débit fixe. L'inconvénient du débit fixe est que l'image perd de sa qualité lorsque les objets sont en mouvement. La norme H.263 était initialement destinée aux applications de vidéoconférence et non à la surveillance où les détails ont plus d'importance que la régularité du débit.

MPEG

La norme MPEG (fondée par le Motion Picture Experts Group à la fin des années 1980) est la plus connue des techniques de transmission directe audio et vidéo. Dans cette section, nous nous limiterons à la partie vidéo de la norme MPEG.

Le principe de base du MPEG consiste à comparer entre elles deux images compressées destinées à être transmises sur le réseau. La première des deux images servira de trame de référence. Sur les images suivantes, seuls seront envoyées les zones qui diffèrent de la référence. L'encodeur réseau reconstruit alors toutes les images en fonction de l'image de référence et de la "plage de différence".

Bien que plus complexe que la technique Motion JPEG, la compression vidéo MPEG produit de plus petits volumes de données à transmettre via le réseau.

MPEG est en réalité bien plus complexe que l'ébauche ci-dessus. Cette méthode implique bien souvent des techniques ou des outils supplémentaires permettant de gérer certains paramètres tels que la prédiction du mouvement dans une scène ou l'identification des objets. Il existe aussi différentes normes MPEG :

- MPEG-1, lancée en 1993 et destinée à l'archivage des données vidéo numériques sur CD. La plupart des encodeurs et des décodeurs MPEG-1 sont conçus pour un débit d'environ 1,5 Mbit/s en résolution CIF. MPEG-1 met surtout l'accent sur le maintien d'un débit relativement constant, au détriment de la qualité d'image, laquelle est variable et comparable à la qualité vidéo VHS. En MPEG-1, la fréquence d'image est plafonnée à 25 (PAL)/30 (NTSC) images par seconde.
- MPEG-2, approuvée en 1994, était destinée à la vidéo numérique de qualité supérieure (DVD), à la télévision haute définition (HDTV), aux supports d'enregistrement interactifs (ISM), aux systèmes d'émission vidéo numérique (DBV) et à la télévision par câble (CATV). Le format MPEG-2 visait à accroître la technique de compression de la norme

MPEG-1 afin de couvrir des images plus grandes et de meilleure qualité, mais aux dépens d'un taux de compression plus faible et d'un débit d'images plus rapide. La fréquence est plafonnée à 25 (PAL)/30 (NTSC) images par seconde, tout comme en MPEG-1.

- MPEG-4 représente une évolution substantielle par rapport au format MPEG-2. Les outils permettant de réduire le débit d'images de manière à atteindre une certaine qualité pour une application ou une scène déterminée sont beaucoup plus nombreux en MPEG-4. En outre, la fréquence n'est plus limitée à 25 ou 30 images par seconde. Soulignons cependant que la plupart des outils actuels permettant de réduire le débit ne concernent que les applications en temps réel. Ceci est dû au fait que ces outils requièrent des capacités telles que les durées d'encodage et de décodage (temps de latence) les rendent quasiment impossibles à utiliser à d'autres fins que pour l'encodage de films en studio, de films d'animation, etc. En réalité, la majorité des outils MPEG-4 destinés aux applications en temps réel sont les mêmes que ceux qui existent pour les formats MPEG-1 et MPEG-2.

L'essentiel est de choisir une norme de compression largement utilisée, qui assure une bonne qualité d'image, soit par exemple M-JPEG ou MPEG-4.

H.264

La toute dernière norme de compression vidéo H.264, est appelée à devenir la norme vidéo de référence au cours des prochaines années. Elle a déjà été intégrée avec succès dans des gadgets électroniques tels que les téléphones mobiles et les lecteurs vidéo numériques. Dans le secteur de la vidéosurveillance, le H.264 offre de nouvelles possibilités en termes de réduction des frais de stockage et de renforcement de l'efficacité globale.

Le H.264 (également connue sous l'appellation MPEG-4 Partie 10/AVC) est une norme ouverte sous licence, compatible avec les techniques de compression vidéo les plus efficaces d'aujourd'hui. Un encodeur H.264 peut réduire la taille d'un fichier vidéo numérique de plus de 80 % par rapport à la norme Motion JPEG et de 50 % par rapport à la norme traditionnelle MPEG-4 Partie 2, sans que la qualité d'image ne soit compromise. L'importance de ces gains rend le H.264 extrêmement utile pour les applications de vidéosurveillance.

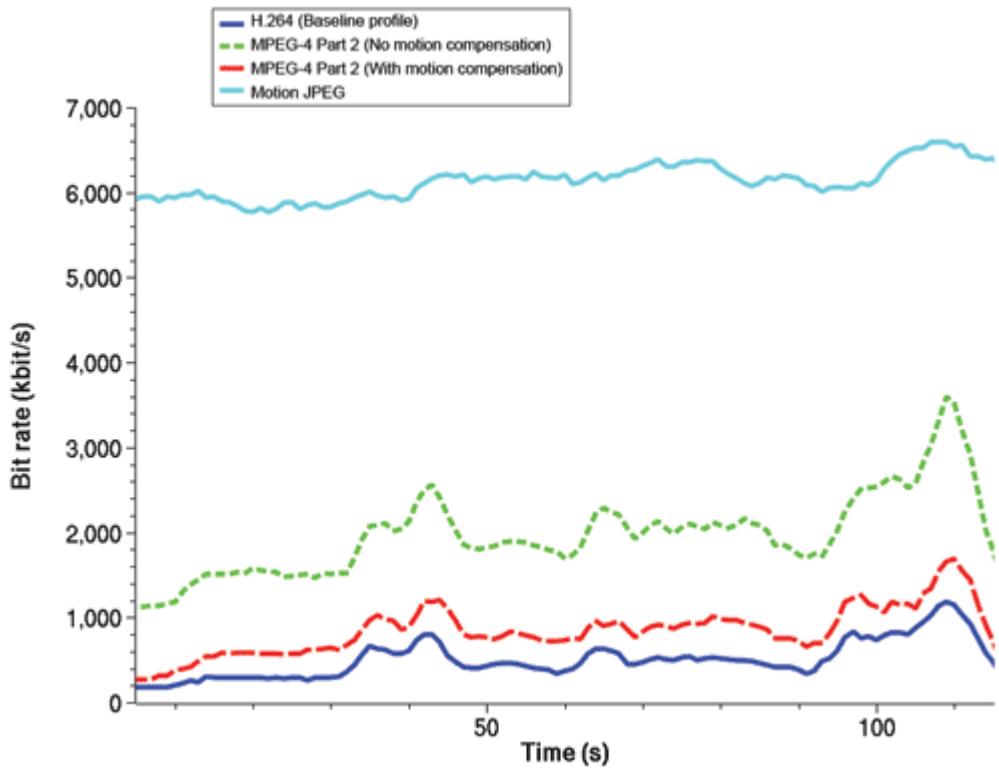


Figure A5.1 : Comparaison du débit binaire obtenu avec plusieurs normes vidéo pour un flux vidéo de 115 secondes, avec le même niveau de qualité d'image. L'encodeur H.264 est au moins trois fois plus efficace qu'un encodeur MPEG-4 sans compensation de mouvement et au moins six fois plus efficace qu'un encodeur Motion JPEG.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. Laurenceau et A. Bruno, « *TNT : Télévision Numérique Terrestre* », 2006
- [2] « *Guide du numérique* », Fédération romande des consommateurs, rue de Genève 17, 1003 Lausanne, Août 2010
- [3] « *Système de réception multi-satellite* », Thème BAC STI 2000-2001, Lycée Notre Dame de Bel Air, Tarare
- [4] D. ARNOULT, « *La TNT* », 27 Mai 2005 Mémoire présenté en vue d'obtenir l'examen probatoire en informatique, CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
- [5] « *Principes directeurs et techniques pour l'évaluation des systèmes de radiodiffusion télévisuelle numérique de Terre* », RAPPORT UIT-R BT.2035
- [6] A. Oumnad, « *Introduction au traitement numérique du signal* »
- [7] O. Pothier, « *Introduction générale au codage de canal* »
- [8] A. DUPRET et A. FISCHER, « *Cours de télécommunication* », IUT DE VILLETTANEUSE Département Génie Télécom et Réseaux.
- [9] P. KADIONIK, “*BASE DE TRANSMISSIONS NUMERIQUES : La modulation numérique*”, ENSEIRB.
- [10] “*Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*”, ETSI EN 300 744 V1.6.1 (2009-01)
- [11] “*Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects* », ETSI TR 101 190 V1.3.2 (2011-05)
- [12] « *Mesures de la couverture DVB-T et vérification des critères de planification* », Recommandation UIT-R SM.1875 (04/2010)
- [13] M. Mendicute, I. Sobrón, L. Martínez et P. Ochandiano, “*DVB-T2: New Signal Processing Algorithms for a Challenging Digital Video Broadcasting Standard*”, Signal Theory and Communications Area Mondragon Goi Eskola Politeknikoa University of Mondragon, Spain
- [14] “*Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*”, ETSI TS 102 831 V1.2.1 (2012-08)
- [15] “*Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)*”, ETSI EN 302 755 V1.3.1 (2012-04)
- [16] “*FREQUENCY AND NETWORK PLANNING ASPECTS OF DVB-T2*”, EBU; Geneva November 2013
- [17] A. Glaunec, “*MODULATIONS MULTIPORTEUSES*”

[18] V. PEREIRA, F. LEPRETTE, et V. HACAULT, « *Compression de données* », Décembre 2004

[19] F. Le Borgnue, S. Lubrano, S. Ropert et M. Feneyrol, « *Les modalités de réception de la télévision numérique dans les zones qui pourraient ne pas être couvertes par la TNT* », 21 décembre 2009.

FICHE DE RENSEIGNEMENTS

Noms : MAMINIALA ANDRIAMIHAMINA

Prénoms : To Vivien

Adresse de l'auteur : Lot B 75 K Andrafiavaratra Ilafy
Antananarivo 103 - Madagascar
Tél : +261 33 29 398 05
E-mail : mihaminato@yahoo.fr



Titre du mémoire :

« OPTIMISATION DE LA COUVERTURE DE LA VILLE D'ANTANANARIVO PAR LA TELEVISION NUMERIQUE TERRESTRE. »

Nombre de pages : 98

Nombres de tableaux : 38

Nombres de figures : 24

Mots clés :

La télévision numérique, DTTB, DVB, OFDM, Couverture, Réseau MFN, Champ médian minimum équivalent, C/N.

Directeur de mémoire :

Nom : ANDRIAMIASY

Prénom : Zidora

Grade : Maitre de conférences

Tél : +261 33 11 874 78

E-mail : andriamiasyidora@yahoo.fr

RESUME

Ce mémoire nous a permis de voir les différentes normes de la diffusion de la TNT, des détails ont été présentés pour la norme DVB-T et son successeur DVB-T2 qui sont toutes basées sur la modulation OFDM. L'analyse de la couverture à l'aide d'une planification radio nous a permis de prouver la puissance de la norme DVB-T2 par rapport à la DVB-T pour couvrir une zone urbaine où la réception portable est exigée, par un simple réseau MFN.

ABSTRACT

This memory has allowed us to see the different standards of DTT broadcasting, details were presented for the DVB-T and its successor DVB-T2 standard, which are all based on OFDM. The coverage analysis using a radio planning has allowed us to prove the power of the DVB-T2 compared to DVB-T to cover an urban area where portable reception is required, by a simple MFN network.