



Mémoire de fin d'étude

Préparé par

Karima CHARKAOUI

Pour l'obtention du diplôme

Ingénieur d'Etat en

SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS

Intitulé

**Etude de la mise en place d'un réseau
monofréquence (SFN) pour la diffusion de la
DVB-T/DVB-H sur la région de Rabat.**

Encadré par :

Pr N. ESSBAI & Pr F. ABDI.

Mr A. EL KHOLFI.

Soutenu le **Vendredi 2 Juillet 2010, devant le jury composé de :**

Pr N. ESSBAI..... : Encadrant

Pr F. ABDI.....: Encadrant

Pr M. LAHABABI..... : Examineur

Pr N. EL OUAZZANI..... : Examineur



Remerciements

Louange à DIEU TOUT PUISSANT de m'avoir accordé la force d'accomplir cet humble travail.

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de commencer ce rapport de stage par des remerciements, à ceux qui m'ont beaucoup appris au cours de ce stage, et même à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

Je tiens à remercier vivement et à exprimer ma gratitude la plus sincère à Messieurs : Mr Mohamed LAZREG Directeur de la direction de la télédiffusion de la SNRT et Mr Mohcine ZOOUAK Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques.

Mme ESSBAI, Mr ABDI et Mr ELKHOLFI pour leurs encadrements, leurs conseils prodigués, leurs soutiens et leurs disponibilités, tout au long du déroulement de mon stage, qu'ils trouvent ici le témoignage de mon admiration la plus profonde et de mon estime la plus grande.

Mes remerciements s'adressent également et particulièrement à mes professeurs, enseignants, formateurs et tout le personnel de la Faculté des Sciences et Techniques notamment pour leurs efforts inestimables consentis à notre profit, pour nous assurer une formation de qualité, susceptible de nous qualifier à l'entrée au marché de l'emploi.

Ma pensée, pleine de reconnaissance, va également à tout le personnel de la direction de la télédiffusion avec qui j'ai tissé une amitié sincère et une confiance profonde lors de mon séjour à Rabat.



Enfin que tous ce qui a contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, trouvent ici, l'expression de ma sympathie la plus cordiale.

Dédicace

A mes chers parents, que dieu les préserve, leurs assure longue vie, prospérité et santé, en témoignage de mon cœur, mon affection et ma gratitude, pour les sacrifices qu'ils n'ont cessé de consentir à mon profit depuis ma naissance.

A Mme ESSBAI, Mr ABDI et Mr EL KHOLFI et tout le personnel de la SNRT.

A mes professeurs, enseignants, formateurs et tout le personnel de la Faculté des Sciences et Technique.

A ma belle sœur NIHAL, et mes frères MOHAMMED et MOUNIR.



Je dédie ce modeste travail

Table des matières :

INTRODUCTION GENERALE	9
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE D'ACCUEIL.	9
CHAPITRE 2 : PRESENTATION DE LA NORME DVB-T	12
1. QUE SIGNIFIE DVB ⁽¹⁾ :	12
2. LA NORME DVB-T ⁽²⁾ :	13
2.1. <i>Présentation</i> :	13
2.2. <i>La chaîne de diffusion numérique par voie de terre DVB-T ⁽³⁾</i> :	14
2.2.1. Le codage de source ⁽⁴⁾ :	14
2.2.2. Multiplexage et embrouillage	16
2.2.3. Le codage de canal :	18
2.2.4. Adaptation au canal de diffusion terrestre	20
2.3. <i>Conclusion</i>	22
CHAPITRE 3 : RESEAUX POUR LES SYSTEMES DE RADIODIFFUSION NUMERIQUE DE TERRE -PLANIFICATION.....	23
1. INTRODUCTION	23
2. PROCESSUS DE PLANIFICATION ⁽¹⁾	25
2.1. <i>Considérations relatives à la planification</i>	25



2.2.	<i>Modes de réception</i>	25
2.2.1.	Réception fixe :	25
2.2.1.1.	Gain d'antenne.....	25
2.2.1.2.	Affaiblissement dans la ligne d'alimentation	26
2.2.1.3.	Probabilité de couverture des emplacements pour la réception fixe	26
2.2.1.4.	Discrimination de polarisation pour la réception fixe	26
2.2.2.	Réception portable	27
2.2.2.1.	Considérations relatives à l'affaiblissement dû à la hauteur.....	27
2.2.2.2.	Considérations relatives à l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments	28
2.2.2.3.	Probabilité de couverture des emplacements pour la réception portable	29
2.2.2.4.	Discrimination de polarisation pour la réception portable	29
2.2.3.	Réception mobile.....	29
2.2.3.1.	Probabilité de couverture des emplacements pour la réception mobile.....	29
2.2.3.2.	Discrimination de polarisation pour la réception mobile.....	29
2.2.4.	Facteur de bruit du récepteur pour la radiodiffusion DVB-T	29
2.3.	<i>Critères de planification</i>	30
2.3.1.	Valeurs du rapport C/N pour la planification.....	30
2.3.2.	Rapports de protection.....	31
2.3.3.	Facteurs de correction pour les emplacements et pourcentage de temps	32
2.3.3.1.	Variations du signal en extérieur	32
2.3.3.2.	Variations du signal en intérieur	33
2.3.4.	Considérations relatives aux niveaux minimaux du signal pour la planification.....	33
2.3.5.	Valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ	34
2.3.6.	Paramètres de référence pour la représentation du champ	34
2.3.7.	Critères précis dans les réseaux monofréquence	35
2.4.	<i>Configurations et structure des réseaux</i>	35
2.4.1.	Considérations générales	35
2.4.1.1.	Configurations types pour la radiodiffusion numérique de Terre: réseaux MFN, réseaux SFN ou configuration mixte MFN-SFN	36
2.4.1.2.	Sites d'émission (distance entre sites et puissance apparente rayonnée).....	36
2.4.1.3.	Types d'antenne d'émission et diagrammes de rayonnement	37
2.4.1.4.	Facteurs ayant une incidence sur la distance de séparation entre émetteurs.....	37
2.4.2.	Configurations de planification de référence	37
2.4.2.1.	Considérations générales.....	38
2.4.2.2.	Configurations de planification de référence pour la radiodiffusion DVB-T	38

CHAPITRE 4 : APPLICATION ET SIMULATION 40

1.	DESCRIPTION	40
----	-------------------	----



2.	ETUDE A L'AIDE DU LOGICIEL RADIO MOBILE: ⁹	46
2.1.	Présentation du logiciel Radio Mobile :	46
2.2.	Etude par simulation :	46
2.2.1.	Pour une réception fixe :	46
2.2.1.1.	Couverture de l'émetteur principal situé à Zaer	47
2.2.1.2.	Etude des interférences :	47
2.2.2.	Pour une réception mobile :	51
2.2.2.1.	Couverture de l'émetteur de Zaer :	51
2.2.2.2.	Etudes des interférences :	52
2.3.	Présentation du logiciel CHIRplus_BC ^(12,13) :	54
2.3.1.	Simulations :	55
	CONCLUSION GENERALE:	63
	LISTE DES ABREVIATIONS:	64
	BIBLIOGRAPHIE :	65
	ANNEXE :	66

Liste des figures:

Figure 2-1:	Synoptique de la chaîne de diffusion du DVB-T.	14
Figure 2-2:	Seuil d'audibilité (A) et masquage fréquentiel (D masqué par B) (o1).	15
Figure 2-3:	Mise en paquets des données élémentaires, PES (o1).	17
Figure 2-4:	Création des MTPS (5).	17
Figure 2-5:	Opérateur de multiplexage (3).	18
Figure 2-6:	Exemple sur 3 bits d'une modulation QAM.	21
Figure 2-7:	Symbole OFDM avec l'intervalle de garde (6).	22
Figure 3-1:	Configurations MFN et SFN.	24



Figure 4-1: Emplacement des trois émetteurs sur la carte.	41
Figure 4-2: Couverture de l'émetteur Zaer par radio mobile.	47
Figure 4-3: Interférences entre l'émetteur Zaer et l'émetteur Zaer Rabat studio dans le canal23.	49
Figure 4-4: Zones d'interférences entre les émetteurs. Zaer et Rabat Studio avec prise en compte du délai.	50
Figure 4-5: Zones d'interférences entre les émetteurs Zaer et Temara avec prise en compte du délai.	51
Figure 4-6: Couverture de l'émetteur Zaer pour une réception mobile sur le canal 23.	52
Figure 4-7: Zone d'interférences entre les émetteurs Zaer et Rabat Studio sur le canal 23 pour une réception mobile.	53
Figure 4-8: Zone d'interférences entre les émetteurs Zaer et Temara sur le canal 23 pour une réception mobile.	54
Figure 4-9: Diagramme de rayonnement de l'émetteur Zaer.	56
Figure 4-10: Couverture de l'émetteur Zaer canal 30 réception fixe.	57
Figure 4-11: Couverture SFN canal 23, DVB-T réception fixe.	59
Figure 4-12: Zones d'interférences pour le DVB-T canal 23 réception fixe.	60
Figure 4-13: Couverture du réseau SFN sur le canal 23, DVB-H.	61
Figure 4-14: Zone d'interférences pour la DVB-H sur le canal 23.	62

Liste des tableaux:

Tableau 3-1: Gain d'antenne (par rapport à un doublet demi-onde) dans les Bandes III, IV et V	26
Tableau 3-2: Affaiblissement dans la ligne d'alimentation dans les Bandes III, IV et V	26
Tableau 3-3: Affaiblissement dû à la hauteur en Bandes III, IV et V	28
Tableau 3-4: Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments en Bandes III, IV et V	28



Tableau 3-5: Valeurs du rapport C/N requises pour une transmission non hiérarchique pour obtenir un $TEB = 2 * 10^{-4}$ après décodage de Viterbi et valeurs du débit binaire net (Mbit/s).....	31
Tableau 3-6: Rapports de protection cocanal (dB) pour un signal DVB-T brouillé par un signal de même type.....	32
Tableau 3-7: facteurs de correction en fonction des probabilités de couverture.	33
Tableau 3-8: Facteur de correction des emplacements pour des macrovariations en intérieur.	33
Tableau 3-9: caractéristiques de la modulation COFDM.	35
Tableau 3-10: Aspects relatifs aux configurations de planification pour la radiodiffusion DVB T.....	38
Tableau 3-11: CPR pour la radiodiffusion DVB T.....	39
Tableau 4-1: Caractéristiques de l'émetteur Zaer.....	42
Tableau 4-2: Caractéristiques de l'émetteur Rabat Studio.	42
Tableau 4-3: Caractéristiques de l'émetteur Temara.....	43
Tableau 4-4: Critères nécessaires pour la diffusion de la DVB-T sur le canal 30.....	44
Tableau 4-5: Critères nécessaires pour la diffusion de la DVB-T sur le canal 23.....	45
Tableau 4-6: Critères nécessaires pour la diffusion de la DVB-H sur le canal 23.	46
Tableau A-1: Valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ dans la Bande IV pour une probabilité de couverture des emplacements de 70% et 95%, réception fixe.....	69
Tableau A-2: Valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ dans la Bande IV pour une probabilité de couverture des emplacements de 70% et 95%, réception portable en extérieur Condition de réception: portable en extérieur (classe A), Bande IV	70
Tableau A-3: Valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ dans la Bande IV pour une probabilité de couverture des emplacements de 70% et 95%, réception portable en intérieur, rez-de-chaussée	71
Tableau A-4: Valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ pour des probabilités de couverture des emplacements de 70%, 95% et 99%	72



Introduction générale.

L'introduction de l'hertzien numérique terrestre représente un enjeu majeur en raison des possibilités de compression offertes par le format numérique. D'une part, apparaît la perspective d'introduction de nouveaux programmes susceptibles d'être reçus par les foyers à partir de leur ancienne installation d'antenne, voire depuis l'antenne omnidirectionnelle d'un poste portable. D'autre part, l'arrêt de la diffusion analogique, après la généralisation de la réception numérique, permettra la libération de ressources hertziennes.

Aujourd'hui il est possible de compresser un, voire plusieurs signaux numériques dans un seul canal de télévision, à la condition d'utiliser une bonne technique de modulation, telle que l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). Un service faisant appel à cette technique de modulation peut fonctionner dans un environnement très difficile présentant des conditions de propagation par trajet multiples extrêmes. Etant donné que le signal peut résister aux échos, il est possible alors d'exploiter des programmes dans un réseau à fréquence unique (SFN) et donc d'utiliser rationnellement le spectre.

L'objectif de mon projet est d'étudier la mise en place de ce genre de réseau (SFN) pour la diffusion de la DVB-T/DVB-H sur la région de Rabat.

Je présenterai dans un premier temps, la chaîne de diffusion de la télévision numérique terrestre (DVB-T).

Dans un second temps, j'exposerai la procédure de la planification suivant les recommandations de l'Union Internationale des télécommunications (UIT).

Et enfin, la troisième partie sera consacrée à la mise en place du réseau SFN, argumentée par des calculs basés sur les recommandations de l'UIT et par des simulations sur les deux logiciels de la radiodiffusion, Radio mobile et CHIRplus.

: Présentation de l'entreprise d'accueil.

Anciennement Radio Télévision Marocaine (RTM), la Société Nationale de Radiodiffusion et de Télévision (SNRT) est, conformément à la loi n° 77-03 relative à la communication audiovisuelle, une société anonyme de droit marocain dont le capital social est entièrement détenu par l'Etat. A ce titre et, en vertu des articles 1er et 47 de ladite loi, la SNRT est une société nationale d'audiovisuel appartenant au



Secteur public de la communication audiovisuelle.

La SNRT est financée par des subventions de l'état, les recettes publicitaires et la taxe pour la promotion du paysage audiovisuel national (TPPAN).

Les chaînes du service public marocain visent, à travers leurs programmes, à la promotion et la sauvegarde du patrimoine culturel audiovisuel national.

- **Historique**

L'ancêtre de la SNRT, Radio Maroc, commença à émettre lors du protectorat le **13 avril 1928**, sous tutelle de l'Office Chérifien des Postes et Télégraphes. Le Maroc fut le pionnier dans le domaine de l'audiovisuel. Déjà dans les années 50, il avait connu une première expérience entreprise par la société française "TELMA" qui voyait en la communauté européenne au Maroc un public potentiel.

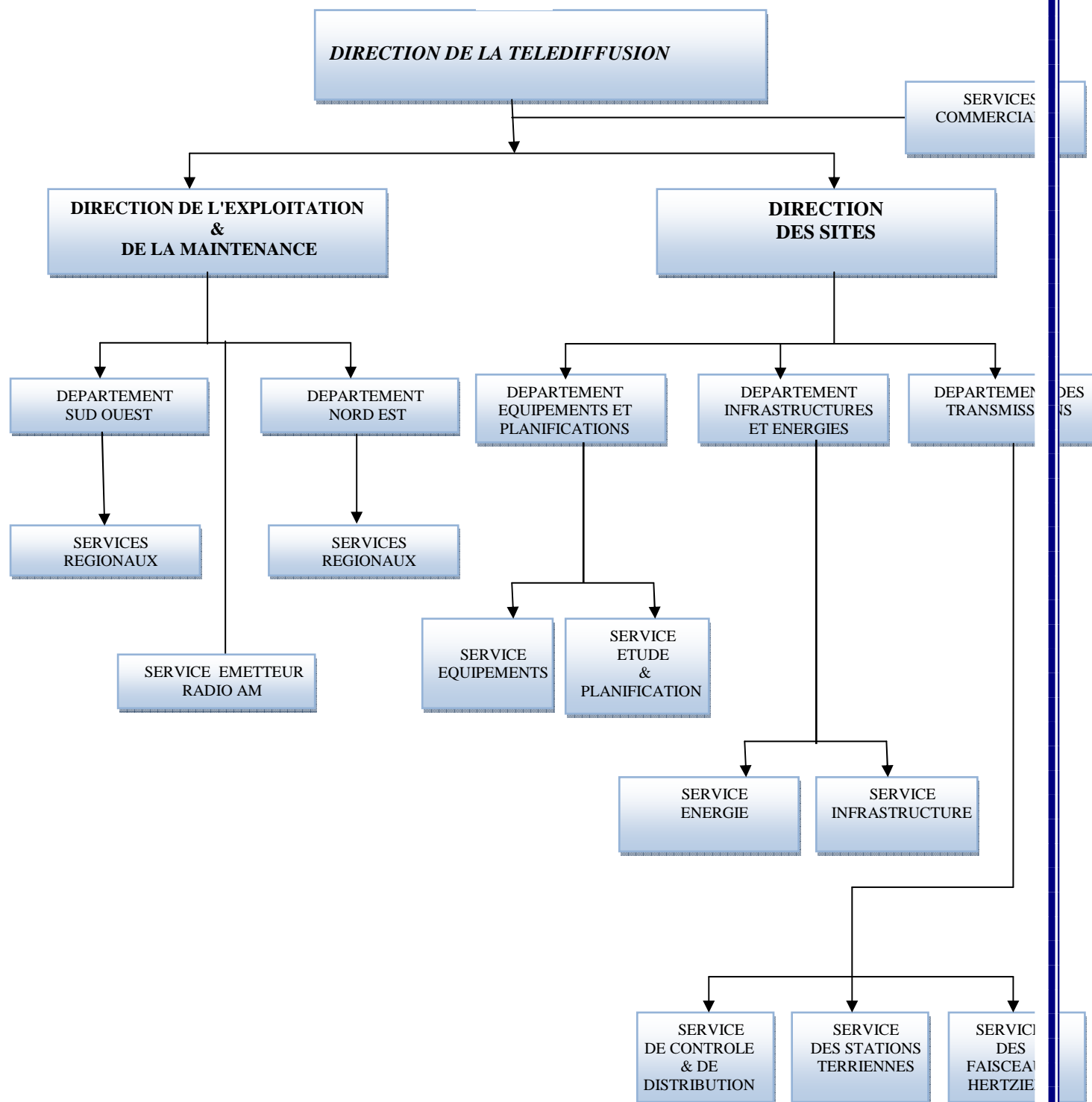
En **1951**, l'autorisation d'exploitation et de diffusion fut cédée à la "TELMA" qui ne commença à émettre qu'en 1954. La chaîne publique marocaine devait débiter au lendemain de l'indépendance le **3 mars 1962**, émettant en noir et blanc. La couleur (Secam b) ne fut introduite qu'en **1972**.

En **octobre 1966**, la Radiodiffusion Marocaine devient un établissement public doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière mais retourne dans le giron de l'administration en **janvier 1968**. La SNRT est alors rattachée à l'Administration Centrale du Ministère de l'Information en **1978**.

En **avril 2005**, dans un contexte de libéralisation du paysage audiovisuel marocain et de compétition grandissante, la Société Nationale de Radiodiffusion et de Télévision succède à la RTM qui était toujours une administration publique. Les 2 300 salariés de l'ex RTM ont alors changé de statut, le groupe n'étant plus une administration mais une société d'Etat indépendante. Plusieurs chantiers de modernisation sont alors lancés tant au niveau de la structure de l'organigramme qu'au niveau de la création de chaînes thématiques, le lancement d'un portail Internet, l'avènement de la TNT et la Télévision Mobile Personnelle.



- Organigramme de la direction de la télédiffusion de la SNRT





: Présentation de la norme DVB-T

1. Que signifie DVB ⁽¹⁾:

En 1993, une organisation est née sous le nom de DVB (Digital Video Broadcast) qui est un projet Européen associant plus de 250 structures (des industriels aux diffuseurs et aux instances de régulation) de plus de 35 pays en Europe, qui a défini les standards de diffusion numérique Satellite (DVB-S), Câble (DVB-C) et Hertzien (DVB-T). D'autres standard DVB ont également été définis, comme le DVB-TXT (télétexte), DVB-ISC (services interactifs), DVB-MHP (moteur d'interactivité) et plus récemment le DVB-H (télévision mobile Handheld).

Les objectifs principaux de cette organisation sont :

- de créer un cadre européen pour un développement de la télévision numérique (satellite, câble, hertzien) équilibré et guidé par le marché,
- d'établir les spécifications techniques pour l'élaboration des normes,
- de faciliter l'introduction de nouveaux services utilisant ces normes,
- de faciliter la coordination entre normalisation et recherche & développement.

DVB établit donc des spécifications techniques, qui sont ensuite soumises aux organismes de normalisation pour devenir des normes Européennes (ETSI pour les signaux de télévision numérique).

La compression des signaux audio et vidéo, la constitution du multiplex (multiplexage) et l'embrouillage sont communs à tous les supports de diffusion (terrestre, câble, satellite). Il n'y a que les techniques de transmission qui sont spécifiquement adaptées. Nous nous attacherons à décrire principalement la transmission terrestre DVB-T.

Voici les principales normes retenues par le DVB :

- MPEG-2 et MPEG-4 pour la compression des signaux audio et vidéo,
- Transport Stream MPEG (MPTS) pour le multiplexage,
- En ce qui concerne les systèmes de contrôle d'accès, seul l'embrouillage a été normalisé.



2. La norme DVB-T ⁽²⁾:

2.1. Présentation :

DVB-T est un standard technique développé par le Projet DVB pour la télévision terrestre numérique. La première version du standard a été publiée en mars 1997. 10 ans après il est devenu le système le plus adopté dans le monde, avec plus que 60 millions de récepteurs déployés dans plus de 35 pays. C'est un système flexible qui permet aux réseaux d'être conçus pour la livraison d'une grande gamme de services.

DVB-T, en commun avec presque tous les systèmes modernes de la transmission terrestre, utilise la modulation OFDM (multiplex de la division de la fréquence orthogonale). Ce type de modulation qui utilise un grand nombre de sous-porteurs délivre un signal robuste qui a la capacité de négocier avec des conditions de canal très sévères. DVB-T a des caractéristiques techniques qui le font un système très flexible:

- 3 options de modulation (QPSK, 16QAM, 64QAM),
- 5 différents taux FEC (Forward error correction),
- 4 options d'intervalle de garde,
- un choix de 2k ou 8k porteurs,
- peut opérer en bande passante de 6, 7 ou 8 MHz de canal (avec vidéo à 50 Hz ou 60 Hz).

L'usage de la modulation OFDM avec l'intervalle de garde approprié permet au DVB-T de fournir un outil précieux pour les régulateurs et les opérateurs dans la forme du réseau monofréquence (SFN). Un SFN est un réseau où plusieurs transmetteurs opèrent sur la même fréquence RF.

Les services DVB-T sont publiés dans plus de 35 pays où plus que 60 millions de récepteurs ont été vendus. Seulement deux années après que les services aient été lancés, plus de 8 millions de récepteurs DVB-T étaient dans les maisons. Une conférence organisée en Genève par l'UITU en 2006 a résulté en un nouvel accord, signé par plus de 100 pays en Europe, Afrique et le Moyen-Orient. Tous les signataires à cet accord déploieront finalement DVB-T.

DVB-T est une solution complète pour la TNT, avec la flexibilité et la capacité de délivrer une gamme entière de services, dans une gamme de bande passante de canal. Il continuera à être le système de choix pour le lancement de nouveaux services pour les années futures.



2.2. La chaîne de diffusion numérique par voie de terre DVB-T⁽³⁾ :

Le schéma de la chaîne de diffusion numérique DVB-T est:

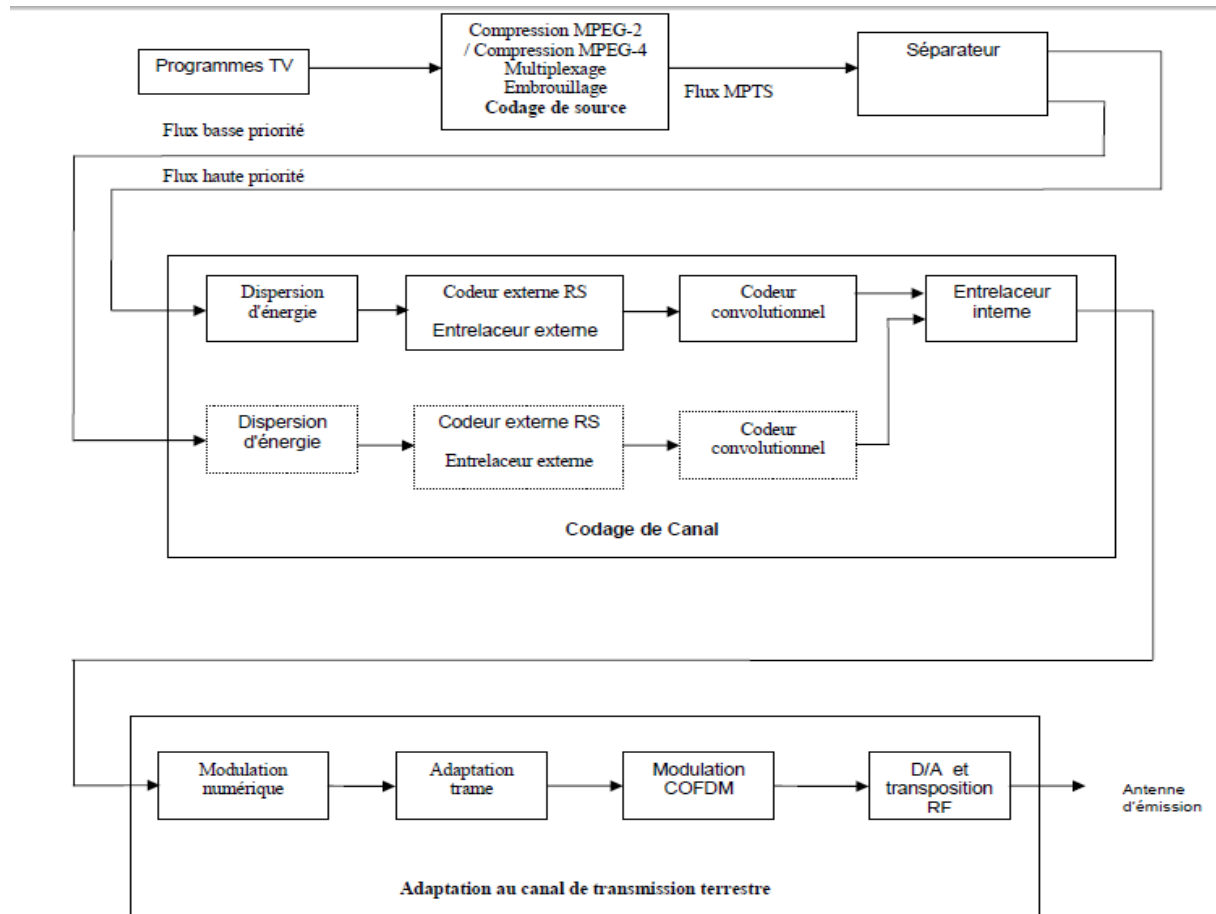


Figure 0-1: Synoptique de la chaîne de diffusion du DVB-T.

Ce processus peut être résumé en trois grandes étapes :

- Le codage de source.
- Le codage de canal.
- L'adaptation du signal au canal de transmission terrestre.

2.2.1. Le codage de source⁽⁴⁾ :

Le codage MPEG appliqué à la vidéo et à l'audio permet de réduire la ressource nécessaire à la transmission d'un programme en préservant la qualité numérique et de garantir une excellente qualité des images et des sons de manière constante. La norme MPEG-2 a été retenue pour les chaînes gratuites, et le MPEG-4 pour les chaînes payantes.



- **Compression MPEG-2**

MPEG est un comité formé en 1988 et constitue une norme internationale ISO. Il s'agit d'un groupe de travail dont le propos est de définir des standards pour la compression de la vidéo et de l'audio au format numérique.

MPEG-2 appliqué au son

Le principe de la compression audio consiste à utiliser les faiblesses de l'audition humaine pour réduire la quantité d'information à transmettre sans pour autant détériorer la qualité du signal audio. L'oreille humaine n'est capable de percevoir que des sons compris entre 20 Hz et 20 KHz et pour chacune de ces fréquences, la figure ci dessous représente en A les différents seuils d'audibilité en fonction de la fréquence.

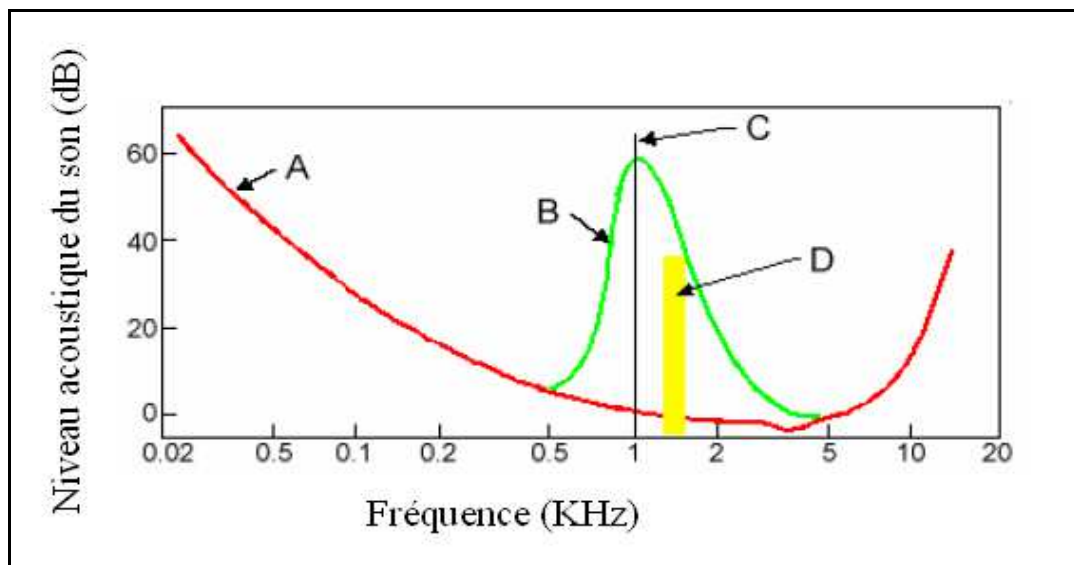


Figure 0-2: Seuil d'audibilité (A) et masquage fréquentiel (D masqué par B) (o1).

A : Seuil d'audition normale.

B : Seuil modifiée à cause de la tonalité C.

D : bande de bruit rendue inaudible par la présence de C.

Si des signaux multiples sont proches en fréquence (C et D), le signal qui a l'amplitude la plus importante aura pour effet de remonter le seuil d'audibilité B à son voisinage et par conséquent de rendre l'oreille insensible aux fréquences voisines : il s'agit du phénomène de masquage fréquentiel. D'autre part, l'oreille ne perçoit pas les sons faibles précédant ou suivant un son de forte intensité et de même hauteur : il s'agit du phénomène de masquage temporel.



La compression audio va donc utiliser les propriétés acoustiques du système auditif humain décrit par les deux phénomènes de masquage précédents. Un grand nombre de sons sont en effet inaudibles et considérés comme inutiles. Ils sont alors éliminés du signal audio à transmettre, permettant ainsi de réduire le débit sans que la qualité subjective d'écoute n'en soit altérée.

MPEG-2 appliqué à la vidéo

Le format vidéo numérique utilise 166 Mbits/s de débit brut pour coder les images avant compression. On souhaite obtenir à la sortie du compresseur, un débit de 15 Mbits/s au format MP@ML (profil défini par la norme MPEG-2, MP@ML : Main Profile at Main Level, définissant les outils de compression utilisés et les résolutions de l'image), d'où la nécessité de réduire ce débit en partant du principe suivant :

1. "Il est inutile de répéter un à un les points qui sont identiques sur une image".
2. "Si une image est très semblable à sa voisine, il suffit de ne transmettre que leurs différences".
3. "Certaines informations peu ou pas pertinentes pour notre système visuel peuvent être codées plus grossièrement, voire supprimées".

On souhaite donc obtenir un fort taux de compression tout en préservant une bonne qualité d'image. Les outils spécifiques pour la compression des images animées utilisent le principe selon lequel une image renferme des pixels identiques. Il est donc inutile de coder séparément chacun de ces pixels puisqu'un seul peut les caractériser tous. D'autre part, il existe une très forte corrélation entre les images successives.

La norme de compression MPEG-2 introduit le principe de profils et de niveaux (débits). Ce sont des techniques de codage et de compression dont résulte chaque fois un débit maximal. De toutes les combinaisons, MP@ML est le meilleur compromis et est devenue la norme de diffusion numérique pour la télévision avec un débit de 15 Mbits/s.

2.2.2. Multiplexage et embrouillage

- **Multiplexage :**

Les données audio et vidéo viennent de subir des opérations de réduction de débit. Il est nécessaire maintenant d'organiser ces données grâce à des codeurs audio et vidéo qui fournissent à leur sortie des trains élémentaires de données ES (ElementaryStream).

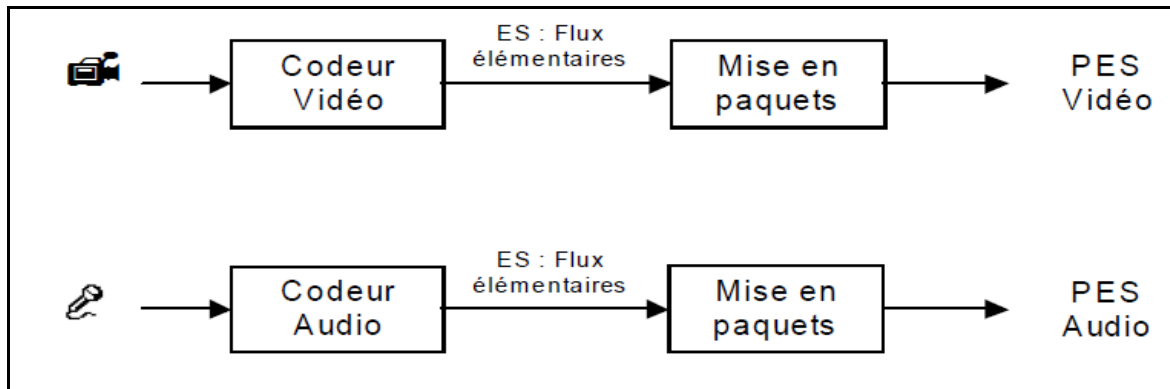


Figure 0-3: Mise en paquets des données élémentaires, PES (o1).

Chaque train élémentaire ES est divisé en paquets qui constituent ainsi un PES (Packetized Elementary Stream) comme le montre les figures ci-dessus. Les PES sont obtenus en découpant le flux ES en morceaux plus ou moins longs. Un en-tête est rajouté à chaque paquet PES pour l'identifier. Ces paquets restent de longueur importante et variable et ne sont pas du tout adaptés à la transmission.

En transmission, on travaille avec des paquets de format court, fixe et à débit constant. C'est pourquoi on réalise à partir des flux de données PES, un flux de transport TS (Transport Stream) composé de paquets de 188 octets (4 octets d'en-tête Packet header) et 184 octets de données utiles (Payload)). Ces paquets TS sont obtenus en découpant les PES en petits morceaux de 184 octets (Payload) comme indiqué sur la figure ci dessous.

Les PES vidéo sont découpés en TS vidéo, les PES audio en TS audio. Les PES audio et vidéo d'un même programme sont multiplexés pour obtenir un STPS (Single Program Transport Stream). Les STPS de plusieurs programmes peuvent être ensuite multiplexés par un opérateur de multiplexage pour obtenir un MPTS (Multiple Program Transport Stream).

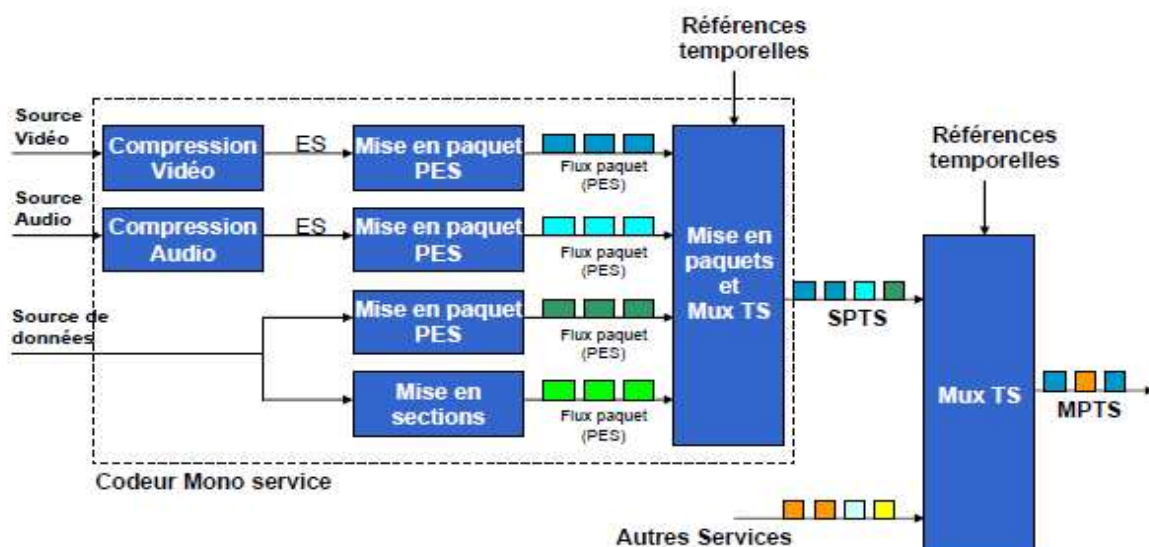


Figure 0-4: Création des MTPS (5)



Le multiplexage permet la diffusion dans un même canal de plusieurs programmes de télévision (quatre à six) organisés en « multiplex de programmes ». Toutes les données numériques organisées en flux de transport STPS sont ensuite transmises à l'opérateur de multiplexage, avec un flux de service (SI) et une synchronisation temporelle :

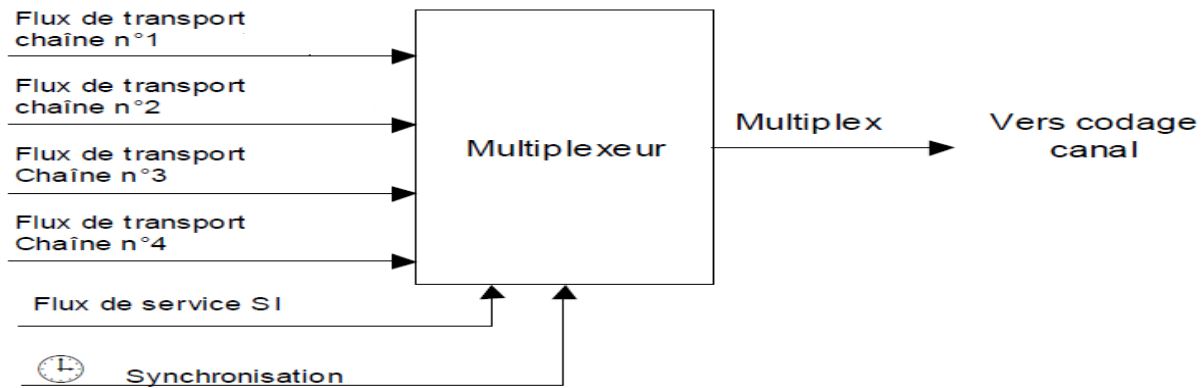


Figure 0-5: Opérateur de multiplexage (3)

- **Embrouillage**

Une partie des émissions numériques seront payantes et diffusées en compression MPEG-4. La norme DVB a donc défini un algorithme commun d'embrouillage CSA (Common Scrambling Algorithm) qui consiste à transformer un signal numérique en un signal numérique aléatoire en vue d'en faciliter la transmission ou de le rendre inintelligible.

L'embrouillage peut intervenir à deux niveaux :

- soit au niveau paquet élémentaire de données PES,
- soit au niveau paquet transport TS.

2.2.3. Le codage de canal :

Le codage de source vient d'être effectué et on dispose maintenant d'un flux de transport MPTS que l'on désire transmettre par voie radiofréquence vers les utilisateurs.

Le canal de transmission n'étant pas exempt d'erreurs qui viennent perturber le signal utile (bruit, interférences, échos...), il est nécessaire de prendre des mesures avant modulation pour permettre la détection et la correction dans le récepteur des erreurs apportées par le canal de transmission. Ces mesures, dont la principale consiste à apporter de la redondance au flux de multiplex, constituent l'essentiel du codage de canal.

Lorsque les conditions de transmission deviennent mauvaises, on constate une disparition totale du signal en numérique. C'est pourquoi, les données à transmettre MPTS sont séparées en deux modes :

- **Le mode hiérarchique**

Mode Simulcast (un seul programme)

Il offre la possibilité de transmettre le flux de transport MPTS multiplexé de deux façons :



- Soit en un flux de transport haute priorité HP (High Priority) qui protège efficacement contre les erreurs de transmission, avec un débit binaire assez bas,
- Soit en un flux de transport basse priorité LP (Low Priority) qui propose une faible protection contre les erreurs de transmission avec un débit binaire élevé, La réception de ce dernier flux conduit à une meilleure qualité mais nécessite de meilleures conditions de réception pour un décodage sans erreur (Voir figure 2-1).

Mode non Simulcast (multi-programmes)

Le flux basse priorité peut contenir un ou plusieurs programmes différents de ceux présents dans le flux haute priorité. Un récepteur portable pourra décoder les programmes transmis avec une forte protection tandis qu'un récepteur fixe pourra décoder le flux basse priorité permettant d'obtenir des programmes supplémentaires.

- **Mode non hiérarchique**

Ce mode nécessite uniquement le traitement représenté en traits pleins sur le schéma synoptique de la chaîne de diffusion figure 2-1. La séparation n'est plus nécessaire. Un flux peut véhiculer un programme ou plusieurs programmes. Tous les programmes, à l'intérieur d'un flux, sont protégés de façon identique.

- **Dispersion d'énergie (brassage)**

Le flux de transport d'entrée MPTS est organisé en paquets de longueur fixe de 188 octets. Le brassage sert à effectuer une dispersion d'énergie, c'est à dire une répartition uniforme de l'énergie dans le canal d'émission afin d'éviter les longues suites de 1 ou de 0, qui créeraient des parasites dans le spectre du signal et qui empêcheraient la récupération de l'horloge.

- **Codage de Reed-Solomon (codage externe)**

Afin de pouvoir corriger la majeure partie des erreurs introduites par le canal de transmission, on introduit une redondance dans le signal permettant de détecter et de corriger ces erreurs. Le code utilisé est un code de Reed-Solomon (aussi nommé RS) (188, 204, t=8) qui permet, complété d'un procédé d'entrelacement, de corriger les erreurs en rafale (plusieurs octets consécutifs). Il s'applique à tous les paquets de transport TS brassés de 188 octets, y compris les octets de synchronisation.

Avec 188 octets en entrée, 204 octets en sortie, 8 octets peuvent être corrigés en sortie, au-delà le paquet sera considéré comme défectueux. Le codage Reed-Solomon est donc particulièrement bien adapté à la correction de petits paquets d'erreurs.

- **Entrelacement externe**

Cette étape est destinée à augmenter l'efficacité du codage de Reed-Solomon. Un code a une capacité de correction de paquets d'erreurs très inférieure à la capacité de correction d'erreurs isolées. Afin de rendre plus efficace la correction par le codage Reed-Solomon, on disperse les erreurs au moyen d'un entrelaceur. A la réception, l'ordre initial des échantillons est rétabli, ce qui a pour effet de diviser les paquets d'erreurs en erreurs isolées et de faciliter la correction. L'entrelacement n'augmente pas la capacité de correction mais seulement son efficacité.



- **Codage convolutif (codage interne) et poinçonnage**

Codage convolutif :

Comme le canal de transmission hertzien est un canal fortement perturbé, un deuxième code correcteur d'erreurs nommé code convolutif va permettre de renforcer les mesures de protection des données à transmettre. L'idée du code convolutif est de lier un bit à un ou plusieurs bits précédents de sorte à pouvoir retrouver sa valeur en cas de problème.

La forte redondance introduite par ce code permet une correction d'erreurs efficace, mais elle double le débit initial. Afin d'en améliorer le rendement qui est de $1/2$, on va effectuer une opération de poinçonnage en ne transmettant pas tous les bits en sortie du codeur convolutif dans le but de réduire la redondance du code et le débit total.

Le poinçonnage :

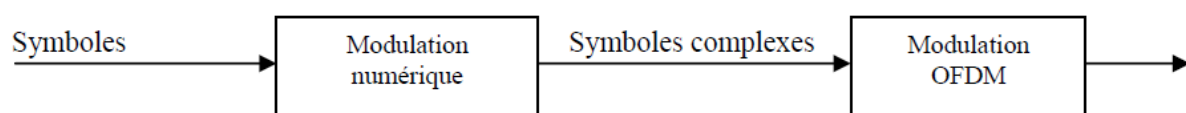
Le rendement du codeur vu ci-dessus est de $1/2$, 1 bit d'entrée, 2 bits de sortie. Le poinçonnage consiste à améliorer ce rendement en ne transmettant pas certains bits sortant du codeur convolutif. Si trois bits se présentent en entrée de codeur, on va en retrouver 6 en sortie mais on en transmettra que 4. Le rendement sera alors de $3/4$. On parle aussi de FEC $3/4$ (FEC = Forward Error Correction).

A la réception, le décodeur insère des zéros pour reconstituer les données détruites en respectant la même règle de poinçonnage. Un décodeur de Viterbi sera chargé de retrouver les données initiales.

- **Entrelacement interne**

Dans le pire des cas, les informations transmises par des porteuses tombant dans des trous du canal ne sont pas reçues. On constate que les porteuses suffisamment éloignées en fréquence ne sont pas affectées de la même façon. L'idée est de répartir les informations successives sur des porteuses éloignées les unes des autres dans le souci d'éviter les longues suites d'erreur.

2.2.4. Adaptation au canal de diffusion terrestre



Nous avons à la sortie du codage de canal une suite de symboles qui vont être appliqués à une constellation, qui va nous permettre de convertir du binaire sous une forme d'amplitude/phase et les moduler sur une onde porteuse.



- **La modulation numérique :**

La norme DVB-T utilise une modulation COFDM qui utilise principalement le QPSK (Quaternary Phase Shift Keying, 2 bits par symboles) ou la Modulation d'Amplitude en Quadrature (MAQ ou QAM) en mode MAQ 16 ou 64 (4 bits ou 6 bits par symbole).

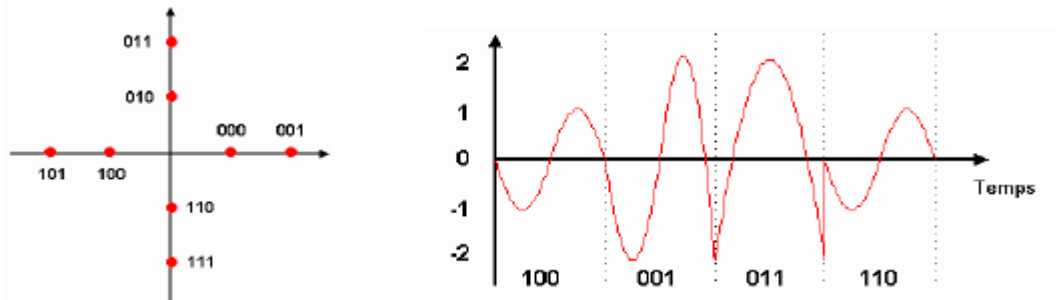


Figure 0-6: Exemple sur 3 bits d'une modulation QAM.

Dans une constellation QAM, l'éloignement du point par rapport à l'origine indique l'amplitude, son angle indique le décalage de phase.

- **Modulation COFDM**

C'est une des spécifiées de la TNT : cette dénomination (COFDM) se justifie par le fait que l'on assure la transmission à l'aide d'un multiplex fréquentiel de sous porteuses orthogonales entre elles séparées par un intervalle de garde.

Principe

Le principe de la modulation COFDM consiste à répartir aléatoirement des symboles de durée T_s (temps symbole utile) sur différentes porteuses modulées en QPSK ou QAM (selon le compromis robustesse / débit). Il existe deux modes de transmissions :

- mode 2K : 1705 porteuses
- mode 8K : 6817 porteuses.

Chacune de ces porteuses est modulée individuellement à bas débit pour que la durée utile T_s d'un symbole soit grande devant l'étalement des échos et limiter ainsi l'interférence intersymbole (entre deux symboles) à un faible intervalle de temps que l'on appelle intervalle de garde.

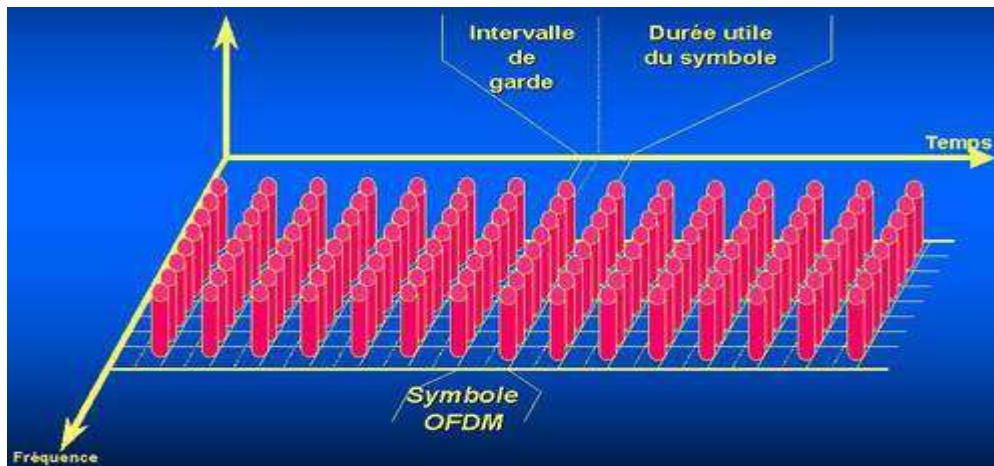


Figure 0-7: Symbole OFDM avec l'intervalle de garde (6)

Codage et entrelacement

Il peut arriver que l'introduction de cet intervalle de garde apporte des interférences entre les symboles. C'est le « C » de la technique COFDM qui permet de s'en affranchir. Le codage produit une redondance pour détecter et corriger les erreurs permettant au récepteur de reconstituer les informations perdues lors de la transmission, grâce à la corrélation qui les lie aux informations correctement reçues. Grâce à l'entrelacement, les informations les plus solidaires entre elles sont soumises à des événements indépendants.

- **Avantages de la modulation COFDM**
 - Utilisation optimale de la bande de fréquence allouée par l'orthogonalité des porteuses
 - Permet de s'affranchir des échos grâce à l'intervalle de garde et donc de l'interférence inter-symbole : constitution de SFN.
 - Le signal COFDM assure la répartition de l'information sur un grand nombre de porteuses, limitant la perte de données en cas de fading (évanouissement du signal).

2.3. Conclusion

La norme DVB-T offre une grande souplesse de configuration, convenant ainsi à diverses utilisations avec :

- Ses 2 modes à 1705 ou 6817 porteuses,
- Des intervalles de garde compris entre 7 et 224 ms,
- Différents rendements de codes correcteurs d'erreurs,
- Mode hiérarchique ou non,

Elle constitue un bon compromis entre robustesse et capacité (de 5 à 32 Mbits/s de débit).



: Réseaux pour les systèmes de radiodiffusion numérique de Terre -planification.

1. Introduction

Dans le monde de la communication, la vague de la numérisation continue de se répandre. Après avoir révolutionnée le son, l'image, la vidéo et la téléphonie, c'est au tour maintenant des réseaux hertziens terrestres de passer au numérique. Les téléspectateurs grand public dotés d'une bonne vieille antenne râteau peuvent désormais progressivement bénéficier du fruit de la technologie de la diffusion numérique terrestre, en recevant chez eux des images et du son qualité numérique. La technologie numérique autorise deux structures de réseaux différentes :

- **Le réseau multifréquence, Multi Frequency Network ou MFN**

Ce réseau consiste à utiliser pour deux sites de diffusion voisins, des fréquences différentes. Ce mode est utilisé aujourd'hui pour la TV analogique. Ce modèle a été retenu car :

- Il est plus rapide à mettre en place puisqu'il reprend le schéma de déploiement des chaînes de télévision analogiques,

- Il n'impose pas la modification des orientations des antennes de réception,

- Il exploite la ressource des canaux tabous,

Seul défaut :

- Il est très gourmand en fréquence.

- **Le réseau monofréquence, Single Frequency Network ou SFN**



Rendu possible grâce à la technique COFDM, son principe consiste à diffuser le même multiplex de programmes sur une fréquence exclusive, de manière nationale ou régionale. Un récepteur reçoit un signal principal correspondant à l'émetteur le plus proche ou le plus puissant avec une combinaison d'échos actifs. Il est nécessaire de synchroniser ce réseau d'émetteurs afin de minimiser la surface de la zone de brouillage induite. Ce type de réseau présente l'avantage de :

- Faire une économie drastique sur le nombre de fréquences utilisées,
- Fonctionnement à faible puissance.
- Probabilité de desserte élevée.

En revanche :

- Il est nécessaire de diminuer les débits,
- Il ne peut pas utiliser les canaux tabous.
- Très coûteux car il multiplie le nombre des émetteurs.

Prenons l'exemple d'un récepteur situé à proximité du périmètre de la zone desservie par un émetteur. Normalement ce récepteur captera les signaux émanant de plusieurs émetteurs transmettant le même programme. Bien que ces signaux soient synchronisés au niveau des émetteurs, ils ne mettront pas le même temps pour parvenir au récepteur. De plus il est impossible de les distinguer des signaux par trajets multiples si le signal modulant est identique. Un système de modulation pour SFN est valable s'il peut fonctionner dans des conditions où les retards importants prédominent. Si le réseau SFN est fondé sur l'espacement entre émetteurs existants, les obstacles topographiques ne créent pas de retards plus important que les signaux transmis par les différents émetteurs du réseau. Les signaux provenant des émetteurs plus éloignés dépasseront le délai maximal toléré pour le signal OFDM. Ils ne contribueront que partiellement au champ utile. Plus la distance sera élevée, plus ses signaux auront tendance à provoquer un brouillage. Cependant il est possible de limiter l'auto-brouillage généré par un SFN au minimum grâce à un choix avisé des paramètres et des puissances d'émission du système.

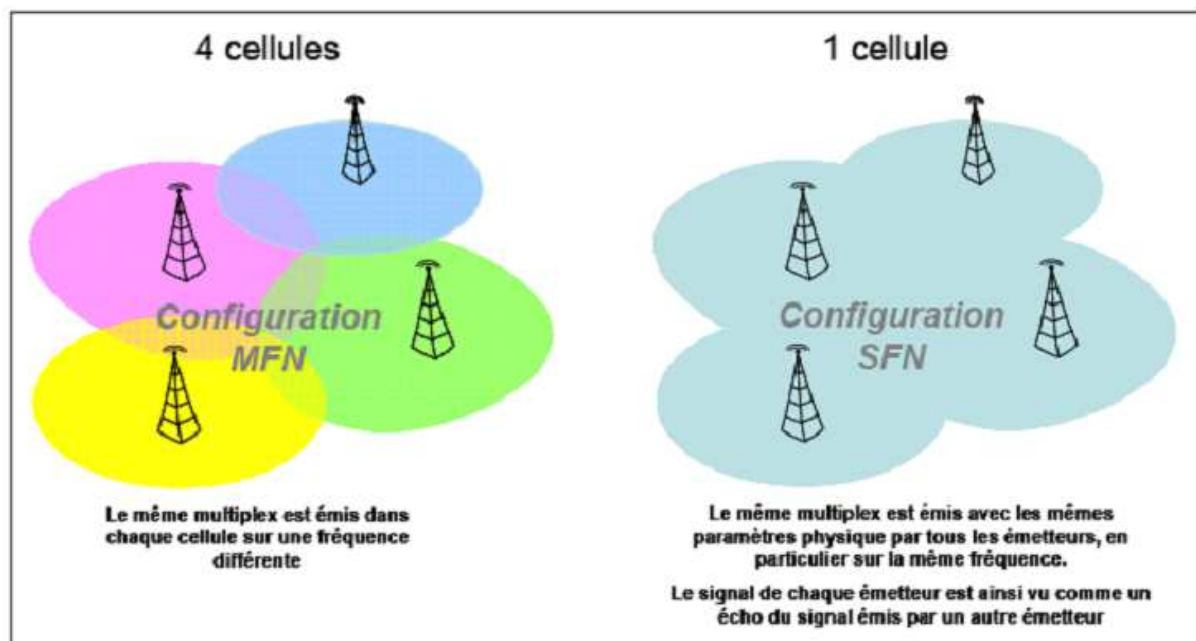


Figure 0-1: Configurations MFN et SFN.



2. Processus de planification⁽ⁱ¹⁾

2.1. Considérations relatives à la planification

La planification des fréquences pour la radiodiffusion numérique est une question présentant de multiples aspects et nécessitant de nombreuses données techniques: d'une part, des critères comme les niveaux minimaux des signaux et les rapports de protection et d'autre part, des paramètres tels que la distance entre émetteurs, la hauteur des antennes d'émission et le type de réception. Il n'existe pas de solution universelle unique. Lorsque l'on planifie les fréquences, trois champs sont importants:

- Le premier est le champ des signaux utiles à l'intérieur de la zone de couverture, appelé champ utile.
- Le deuxième résulte de la puissance rayonnée par les émetteurs utiles vers des zones situées en dehors de la zone de couverture: on parle généralement de brouillage sortant ou de champ brouilleur sortant.
- Le troisième est le champ à l'intérieur de la zone de couverture utile dû aux rayonnements d'émetteurs brouilleurs à l'extérieur de cette zone; on parle de brouillage entrant ou de champ perturbateur.

Les configurations de réseau et les modes de réception peuvent évoluer d'une configuration à une autre du fait de la souplesse des systèmes numériques. La planification des fréquences devrait être suffisamment souple pour pouvoir répondre à des demandes futures (par exemple, pour passer d'une réception fixe à une réception portable ou une réception mobile, il faudra peut-être passer d'une configuration multifréquence à une configuration monofréquence comme le cas actuel)...

2.2. Modes de réception

La planification de la radiodiffusion DVB-T devrait pouvoir couvrir différents modes de réception, à savoir la réception fixe, la réception portable (en extérieur et en intérieur) et la réception mobile, en utilisant un nombre limité de variantes de systèmes et de probabilités de couverture des emplacements appropriés.

2.2.1. Réception fixe :

Mode de réception dans lequel on utilise une antenne de réception directive montée au niveau des toits. On considère comme représentative une hauteur d'antenne de référence de 10 m au-dessus du niveau du sol dans le calcul du champ pour la réception fixe. Le calcul de la valeur médiane minimale du niveau des signaux utiles pour les Bandes III, IV et V nécessite l'utilisation de diagrammes de rayonnement types, de gains d'antenne de référence (par rapport à un doublet demi-onde) et d'affaiblissement dans la ligne d'alimentation de l'antenne de réception.

2.2.1.1. Gain d'antenne



Le Tableau 3.1 donne les gains d'antenne (par rapport à un doublet demi-onde) utilisés pour déterminer la valeur médiane minimale du niveau des signaux utiles:

Fréquence (MHz)	200	500	800
Gain d'antenne (dB)	7	10	12

Tableau 0-1: Gain d'antenne (par rapport à un doublet demi-onde) dans les Bandes III, IV et V

On considère+ que ces valeurs sont des valeurs minimales réalistes. A l'intérieur de toute bande de fréquences, il est possible de prendre en compte la variation du gain d'antenne en fonction de la fréquence en ajoutant un facteur de correction:

$$\text{Corr} = 10 \log (F_A/F_R)$$

Où:

F_A : fréquence effective considérée

F_R : fréquence de référence correspondante indiquée plus haut.

2.2.1.2. Affaiblissement dans la ligne d'alimentation

Les valeurs de l'affaiblissement dans la ligne d'alimentation utilisées pour déterminer la valeur médiane minimale du niveau des signaux utiles figurent dans le Tableau 3-2.

Fréquence (MHz)	200	500	800
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation (dB)	2	3	5

Tableau 0-2: Affaiblissement dans la ligne d'alimentation dans les Bandes III, IV et V

On détermine la variation de l'affaiblissement dans la ligne d'alimentation dans les Bandes IV et V en fonction de la fréquence par interpolation linéaire entre les deux valeurs extrêmes.

2.2.1.3. Probabilité de couverture des emplacements pour la réception fixe

Pour la réception fixe, il convient d'utiliser une probabilité de couverture des emplacements de 95%.

2.2.1.4. Discrimination de polarisation pour la réception fixe

Il est possible d'utiliser la discrimination de polarisation pour la réception fixe.

Il est expliqué dans la Note 3 de la Recommandation UIT-R BT.419, qu'en présence de polarisations orthogonales, la discrimination combinée assurée par la directivité et l'orthogonalité ne peut pas se calculer en



additionnant les valeurs de ces deux discriminations. On a toutefois constaté qu'en pratique, on peut appliquer une valeur de discrimination combinée de 16 dB pour tous les azimuts, dans les Bandes I à V attribuées à la télévision de Terre.

2.2.2. Réception portable

La réception sur antenne portative se définit comme suit:

- Classe A (à l'extérieur de bâtiments): mode de réception dans lequel un récepteur portatif, avec antenne rapportée ou incorporée, est utilisé à l'extérieur d'un bâtiment, à une hauteur d'au moins 1,5 m au-dessus du niveau du sol;
- Classe B (rez-de-chaussée, à l'intérieur): mode de réception dans lequel un récepteur portatif, avec antenne rapportée ou incorporée, est utilisé à l'intérieur d'un bâtiment, à une hauteur d'au moins 1,5 m au-dessus du sol, dans des salles présentant les caractéristiques suivantes:

- a) au rez-de-chaussée;
- b) avec une fenêtre donnant sur l'extérieur.

La réception sur antenne portative à l'intérieur de bâtiments, au premier étage ou aux étages supérieurs, sera considérée comme une réception de Classe B, moyennant des corrections appliquées au niveau des signaux. Toutefois, il est vraisemblable que la réception au rez-de-chaussée sera le mode de réception le plus répandu.

Dans les deux Classes A et B, on fait les hypothèses suivantes:

- on trouvera les conditions de réception optimales en déplaçant l'antenne de 0,5 m au maximum dans n'importe quelle direction;
- le récepteur portatif n'est pas déplacé pendant la réception, ni les objets de grande taille situés près du récepteur;
- on ne tiendra pas compte des cas extrêmes, par exemple, la réception dans des locaux complètement blindés.

Pour les besoins de la planification, on se place dans les hypothèses suivantes: l'antenne d'un récepteur portable est équidirective et son gain (par rapport à un doublet demi-onde) est de 0 dB en ondes décimétriques et de -2,2 dB en ondes métriques. On peut supposer également que l'affaiblissement dans la ligne d'alimentation est de 0 dB.

2.2.2.1. Considérations relatives à l'affaiblissement dû à la hauteur

Pour la réception portable, la hauteur d'antenne de 10 m au-dessus du niveau du sol généralement adoptée pour la planification ne correspond pas à la réalité. Il faut introduire un facteur de correction pour une antenne placée près du niveau du sol. C'est la raison pour laquelle on s'est placé dans l'hypothèse d'une antenne de réception installée à 1,5 m au-dessus du niveau du sol (en extérieur) ou au-dessus du niveau de l'étage (en intérieur).



Les valeurs de champ sont données pour l'antenne réceptrice de référence à une hauteur représentative de la hauteur des obstacles sur le sol autour de l'antenne réceptrice, dont la valeur minimale est de 10 m. En règle générale, aux fins de la planification, on ne connaît pas les obstacles à l'emplacement du récepteur; on prend donc pour hypothèse une antenne réceptrice placée à une hauteur de 10 m dans une zone dégagée. Afin de corriger les valeurs de prévision pour une hauteur de réception de 1,5 m au-dessus du niveau du sol, on a introduit un facteur appelé «affaiblissement dû à la hauteur».

Pour les besoins de la planification, il convient d'utiliser les valeurs de l'affaiblissement dû à la hauteur données dans le Tableau 3-3 pour la réception portable et mobile.

200 MHz	12 dB
500 MHz	16 dB
800 MHz	18 dB

Tableau 0-3: Affaiblissement dû à la hauteur en Bandes III, IV et V

Ces valeurs correspondent à celles qui ont été obtenues pour la couverture de zones suburbaines et sont utilisées pour les calculs dans le cas de la réception portable ou de la réception mobile. Ces valeurs ont été utilisées dans les calculs des configurations de planification de référence.

Pour d'autres fréquences il convient d'utiliser une interpolation linéaire.

2.2.2.2. Considérations relatives à l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments

La réception portable peut se faire en extérieur et en intérieur. A l'intérieur, le champ est affaibli de manière non négligeable, d'une quantité qui dépend des matériaux et du mode de construction du bâtiment. On peut s'attendre à une large gamme de valeurs pour l'affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments.

La valeur moyenne absolue de cet affaiblissement est la différence (dB) entre le champ moyen à l'intérieur d'un bâtiment, à une hauteur donnée au-dessus du niveau du sol, et le champ moyen à l'extérieur du même bâtiment, à la même hauteur au-dessus du niveau du sol.

	Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments	Ecart type
Ondes métriques	9 dB	3 dB
Ondes décimétriques	8 dB	5,5 dB

Tableau 0-4: Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments en Bandes III, IV et V

Toutefois, il est prouvé que cet affaiblissement pourrait être encore plus important, ce qui donne à penser que ces valeurs devraient être considérées comme des limites inférieures.



2.2.2.3. Probabilité de couverture des emplacements pour la réception portable

Pour la radiodiffusion DVB-T on peut utiliser un pourcentage moins élevé (de 70% à 95%).

2.2.2.4. Discrimination de polarisation pour la réception portable

La discrimination de polarisation n'est pas prise en compte dans la planification des fréquences pour la réception portable.

2.2.3. Réception mobile

Mode de réception dans lequel on utilise un récepteur en mouvement. Il peut s'agir d'un récepteur placé dans un véhicule ou d'un dispositif portatif dont l'antenne est située à moins de 1,5 m au-dessus du niveau du sol ou du plancher. On considère que les évanouissements dans un canal de Rayleigh sont le facteur dominant pour ce qui est des effets locaux au niveau de la réception. Les marges de protection contre les évanouissements sont destinées à atténuer ces effets. Elles sont fonction de la fréquence et de la vitesse du véhicule.

La situation de référence est la suivante: réception d'un signal numérique dans laquelle un récepteur sur un équipement en mouvement avec antenne est utilisé, à une hauteur d'au moins 1,5 m au-dessus du niveau du sol.

On peut supposer que dans le cas d'un récepteur mobile, l'affaiblissement dans la ligne d'alimentation est faible dans toutes les bandes. Les valeurs du gain d'antenne (par rapport à un doublet demi-onde) sont fixées au départ à $-2,2$ dB dans la Bande III et à 0 dB dans les Bandes IV et V. Toutefois, des dispositifs actifs ou des solutions plus évoluées permettent d'apporter des améliorations. La diversité d'antenne est une technique essentielle pour les futurs récepteurs mobiles multimédia à large bande compatibles DVB-T. L'utilisation de la diversité d'antenne pour la réception mobile présente des avantages potentiels considérables, puisque l'on s'attend à un gain de 6 à 8 dB pour les valeurs C/N dans le cas de la réception mobile avec un véhicule se déplaçant à une faible vitesse. Cela devrait se traduire par une meilleure résistance aux variations des conditions de réception.

La diversité d'antenne n'est pas prise en considération aux fins de la planification.

2.2.3.1. Probabilité de couverture des emplacements pour la réception mobile

Il convient d'utiliser une probabilité de couverture des emplacements de 99%.

2.2.3.2. Discrimination de polarisation pour la réception mobile

La discrimination de polarisation n'est pas prise en compte dans la planification pour la réception mobile.

2.2.4. Facteur de bruit du récepteur pour la radiodiffusion DVB-T



On suppose que le facteur de bruit du récepteur est le même (7 dB) pour tous les modes de réception.

2.3. Critères de planification

Le présent paragraphe traite des différents critères de planification applicables aux systèmes DVB-T dans les Bandes III, IV et V. Les critères de planification sont les suivants:

- les valeurs du rapport C/N carrier to noise;
- les rapports de protection;
- les facteurs de correction pour les emplacements et le pourcentage de temps.

Pour planifier l'introduction de la radiodiffusion numérique de Terre, il est généralement nécessaire de limiter les études de planification intérimaires à un sous-ensemble représentatif de variantes correspondant à des valeurs précises du rapport C/N .

2.3.1. Valeurs du rapport C/N pour la planification

Pour la radiodiffusion DVB-T, il convient d'utiliser les valeurs du rapport C/N pour le mode non hiérarchique qui figurent dans le Tableau 3-5. Les valeurs du rapport C/N données pour le canal de Rice devraient être utilisées pour la réception fixe et celles données pour le canal de Rayleigh devraient être utilisées pour la réception portable et la réception mobile. Toutefois, pour le processus de planification, le nombre de variantes possibles de systèmes DVB-T sera limité.

			C/N nécessaire pour $TEB=2 \times 10^{-4}$ après décodage de Viterbi (quasiment sans erreur après décodage de Reed-Solomon) ⁽¹⁾			Débit binaire net (Mbit/s) pour différents intervalles de garde (IG)			
Variante de système ⁽²⁾	Modulation	Taux de codage	Canal gaussien	Canal de Rice	Canal de Rayleigh	IG = 1/4	IG = 1/8	IG = 1/16	IG = 1/32
Variantes à 8 MHz									
A1	MDP-4	1/2	3,1	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
A2	MDP-4	2/3	4,9	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
A3	MDP-4	3/4	5,9	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
A5	MDP-4	5/6	6,9	8,0	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
A7	MDP-4	7/8	7,7	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
B1	MAQ-16 (M1) ⁽¹⁾	1/2	8,8	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
B2	MAQ-16	2/3	11,1	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
B3	MAQ-16	3/4	12,5	13,0	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
B5	MAQ-16	5/6	13,5	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11



			<i>C/N</i> nécessaire pour $TEB=2 \times 10^{-4}$ après décodage de Viterbi (quasiment sans erreur après décodage de Reed-Solomon) ⁽¹⁾			Débit binaire net (Mbit/s) pour différents intervalles de garde (IG)			
B7	MAQ-16	7/8	13,9	15,0	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
C1	MAQ-64 (M2 ⁽¹⁾)	1/2	14,4	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
C2	MAQ-64 (M3 ⁽¹⁾)	2/3	16,5	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
C3	MAQ-64	3/4	18,0	18,6	21,7	22,39	24,88	26,35	27,14
C5	MAQ-64	5/6	19,3	20,0	25,3	24,88	27,65	29,27	30,16
C7	MAQ-64	7/8	20,1	21,0	27,9	26,13	29,03	30,74	31,67

Tableau 0-5: Valeurs du rapport C/N requises pour une transmission non hiérarchique pour obtenir un $TEB = 2 * 10^{-4}$ après décodage de Viterbi et valeurs du débit binaire net (Mbit/s).

Rq : ⁽¹⁾ Variantes du système de référence de l'UIT-R (Recommandation UIT-R BT.1368).

⁽²⁾ Identificateurs de la variante DVB-T utilisées pour la transmission non hiérarchique.

2.3.2. Rapports de protection

Le rapport de protection est le minimum du rapport Signal sur Interférence attendu en entrée de récepteur. Il est déterminé pour certaines conditions de propagations spécifique tel qu'une qualité de réception requise en sortie de récepteur.

Pour la radiodiffusion DVB-T (vis-à-vis de la radiodiffusion DVB-T, de la radiodiffusion T-DAB, de la télévision analogique et inversement), il convient d'utiliser les rapports de protection donnés dans la Recommandation UIT-R BT.1368 – Critères de planification des services de télévision numérique de Terre dans les bandes d'ondes métriques et décimétriques.

Le rapport de protection peut être défini pour des émetteurs du même service Radio :

- Interférence Co-canal.
- Interférence Canal Adjacent : canal supérieur et inférieur.

On va s'intéresser aux interférences Co-canal seulement puisqu'on travaille sur les canaux 23 et 30 seulement.

- **Protection d'un signal DVB-T de télévision numérique de Terre brouillé par un signal de même type**

Modulation	Taux de codage	Canal gaussien	Canal de Rice	Canal de Rayleigh
MDP-4	1/2	5	6	8
MDP-4	2/3	7	8	11
MAQ-16	1/2	10	11	13
MAQ-16	2/3	13	14	16
MAQ-16	3/4	14	15	18
MAQ-64	1/2	16	17	19
MAQ-64	2/3	19	20	23



MAQ-64	3/4	20	21	25
--------	-----	----	----	----

Tableau 0-6: Rapports de protection cocanal (dB) pour un signal DVB-T brouillé par un signal de même type.

Les rapports de protection sont indiqués pour trois types de canaux de propagation (c'est-à-dire, gaussien, de Rice et de Rayleigh). Pour la réception fixe et portable, il conviendrait d'adopter, respectivement, les valeurs applicables aux canaux de Rice et de Rayleigh.

Les valeurs indiquées sont applicables lorsque les signaux DVB-T utiles et les signaux brouilleurs occupent la même largeur de canal. Les combinaisons différentes de largeurs de canal doivent faire l'objet d'un complément d'étude.

On sait d'après des mesures effectuées sur des récepteurs existants que ces derniers autorisent des rapports de protection inférieurs. Cependant, aux fins de planification, il est préférable d'appliquer ces valeurs.

2.3.3. Facteurs de correction pour les emplacements et pourcentage de temps

En raison de la dégradation importante de la qualité que l'on observe lorsque le rapport requis C/I n'est pas obtenu, il faut utiliser des pourcentages de temps et des pourcentages de couverture des emplacements élevés pour calculer le champ utile (et des pourcentages faibles pour les signaux brouilleurs). Par conséquent, il faut apporter une correction supplémentaire à la valeur calculée.

Dans les variations du champ, on distingue les variations à macro-échelle (macrovariations) et les variations à micro-échelle (microvariations). Les premières concernent des zones dont les dimensions linéaires vont de 10 mètres à 100 mètres et au-delà; elles sont liées principalement à des effets d'occultation et par des réflexions dues à la propagation par trajets multiples, causés par des objets éloignés. Les microvariations, qui concernent des zones dont les dimensions sont de l'ordre d'une longueur d'onde, sont liées principalement à des réflexions dues à la propagation par trajets multiples causées par des objets rapprochés. On peut admettre que, dans le cas de la réception portable, il est possible d'optimiser la position de l'antenne dans la limite d'une longueur d'onde; dans ces conditions, les microvariations ne seront guère significatives pour la planification. Un autre moyen de remédier à ces variations consiste à utiliser un récepteur à diversité d'antenne.

Les macrovariations du champ sont très importantes pour l'évaluation de la couverture. En général, on devra prévoir comme objectif un pourcentage de couverture élevé, afin de compenser la grande vitesse d'extinction des signaux de télévision numérique et des signaux son.

2.3.3.1. Variations du signal en extérieur

La Recommandation UIT-R P.1546-1 donne un écart type de 5,5 dB pour les signaux à large bande. Cette valeur est utilisée pour déterminer la variation du champ extérieur, c'est-à-dire le «facteur de correction pour les emplacements».

On a donc, pour le facteur de correction pour les emplacements pour des macrovariations, les valeurs suivantes:



Objectif de couverture (probabilité de couverture des emplacements) (%)	Facteur de correction pour les emplacements (ondes métriques et décimétriques) (dB)
99	13
95	9
70	3

Tableau 0-7: facteurs de correction en fonction des probabilités de couverture.

Pour la réception mobile, il peut être nécessaire de prévoir une probabilité de couverture des emplacements de 99%. Il n'est pas nécessaire de tenir compte des affaiblissements dus à la pénétration dans les bâtiments mais les spécifications du modèle de canal sont plus contraignantes que pour la réception portable.

2.3.3.2. Variations du signal en intérieur

La variation du champ en intérieur est la résultante de la variation en extérieur et la variation correspondant à l'affaiblissement dû aux bâtiments. Il est peu probable que ces variations soient corrélées. Il est donc possible de calculer l'écart type de la distribution du champ en intérieur en prenant la racine carrée de la somme des carrés des écarts types individuels. En ondes métriques, où les écarts types des signaux sont respectivement de 5,5 dB et 3 dB, la valeur combinée est de 6,3 dB. En ondes décimétriques où les écarts types correspondants sont de 5,5 dB, la valeur combinée est de 7,8 dB.

Le Tableau 3-8 ci-après donne le facteur de correction pour les emplacements pour des macrovariations en intérieur:

Objectif de couverture (probabilité de couverture des emplacements) (%)	Facteur de correction pour les emplacements (ondes métriques) (dB)	Facteur de correction pour les emplacements (ondes décimétriques) (dB)
95	10	13
70	3	4

Tableau 0-8: Facteur de correction des emplacements pour des macrovariations en intérieur.

Le processus global de prévision du champ doit tenir compte de la variation en fonction des emplacements.

2.3.4. Considérations relatives aux niveaux minimaux du signal pour la planification

Le présent paragraphe contient des considérations générales relatives aux niveaux minimaux du signal pour la planification.



Lorsque l'on essaie de construire de nouveaux réseaux numériques de Terre, les principales questions sont l'évaluation de la zone de service et celle de la population desservie. Pour ces évaluations, on estime le niveau des signaux utiles et le niveau des signaux brouilleurs.

Les niveaux minimaux du signal nécessaires pour surmonter le bruit - généralement exprimés sous la forme de la puissance minimale à l'entrée du récepteur ou de la tension équivalente minimale correspondante à l'entrée du récepteur - ne tiennent pas compte des effets dus à la propagation. Or, il est nécessaire d'en tenir compte lorsque l'on considère la réception de télévision ou sonore dans un environnement réel.

En raison du passage très rapide d'une réception presque parfaite à l'absence totale de réception, il faut que la valeur minimale requise du niveau des signaux soit obtenue dans un grand pourcentage d'emplacements. Pour la réception fixe et la réception portable de signaux de télévision numérique, ces pourcentages ont été fixés à 70% pour une réception «acceptable» et à 95% pour une «bonne» réception. Ce dernier chiffre vaut également à la réception des signaux sonores numériques, dans le cas d'une réception portable en intérieur. La valeur de 99% doit être utilisée pour la réception mobile des signaux de radiodiffusion numérique. On peut déterminer la valeur médiane minimale des niveaux des signaux, compte tenu des facteurs de propagation, pour faire en sorte que les minima soient obtenus au pourcentage spécifié d'emplacements.

Les valeurs médianes minimales des niveaux des signaux sont calculées pour:

- quatre modes de réception différents de signaux de télévision numérique (fixe, portable en extérieur, portable en intérieur au rez-de-chaussée et mobile);
- différentes bandes de fréquences;
- différentes valeurs représentatives du rapport C/N ;

Les valeurs pour la bande IV qui nous intéresse sont présentées dans l'annexe.

On peut obtenir des résultats pour toute variante de système en procédant par interpolation entre les valeurs représentatives pertinentes.

2.3.5. Valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ

Les valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ correspondant sont calculées pour différentes bandes de fréquences, pour différentes conditions des pourcentages d'emplacements et de temps et pour des valeurs représentatives du rapport C/N .

On trouvera dans les tableaux précédents (dans l'annexe) des exemples de calcul des valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ pour la radiodiffusion DVB-T.

2.3.6. Paramètres de référence pour la représentation du champ

Pour les différents modes de réception, le meilleur moyen de comparer les valeurs du champ nécessaires pour assurer la probabilité de couverture des emplacements souhaitée pour la réception du signal utile est d'utiliser les valeurs de référence suivantes pour la hauteur de l'antenne de réception, la probabilité de couverture des emplacements et le pourcentage de temps:

- Hauteur de l'antenne de réception: 10 m au-dessus du niveau du sol
- Probabilité de couverture des emplacements: 50%



– Pourcentage de temps: 50%

Les valeurs du champ correspondant à ces conditions sont les «valeurs médianes minimales du champ».

2.3.7. Critères précis dans les réseaux monofréquence

Un des principaux atouts des standards de transmission TV numériques basés OFDM réside dans le fait qu'ils permettent à un ensemble d'émetteurs TV de fonctionner en réseau monofréquence (SFN – Single Frequency Network), lequel améliore la qualité de couverture, notamment dans les zones urbaines denses. Pour garantir le parfait fonctionnement d'un SFN, certains critères doivent être observés avec une très grande précision. Ainsi, tous les émetteurs DVB-T / DVB-H participants doivent émettre exactement sur la même fréquence, l'erreur maximum admise étant de 1 Hz (VHF/UHF).

De plus grands écarts occasionneraient des canaux à variations temporelles dans la zone de service et par là même, une augmentation des erreurs binaires pour les récepteurs stationnaires et par conséquent, une diminution du rayon de couverture.

Des intervalles de protection temporels (intervalles de garde) dont la durée dépend du mode de transmission choisi dans les normes DVB-T/H sont en outre définis. Dans des intervalles de garde, les récepteurs DVB-H et DVB-T sont à même de compenser les différences de temps de retard entre les signaux d'émission SFN reçus en direct et ceux reçus par réflexion ou ce qu'on appelle échos. L'optimisation des réseaux SFN nécessite l'ajustement d'un certain temps de retard sur chaque émetteur pour que l'intervalle de garde puisse être respecté en tout lieu couvert par le réseau. Le non respect de cet intervalle de garde, ne serait-ce que de quelques microsecondes, pourrait provoquer pour de grandes zones de service notamment – des problèmes similaires à ceux rencontrés lors de dérives de la fréquence d'émission.

La spécification DVB-T prévoit d'une part différents intervalles de garde (1/4, 1/16, 1/8 et 1/32 du temps de symbole utile) et de l'autre, deux temps de symbole, $T_u = 896 \mu s$ et $224 \mu s$. Le plus court indique que le nombre de porteuses est réduit en conséquence et qu'on utilise un système TFR 2k au lieu de 8k. La spécification DVB-T tient ainsi compte de six valeurs d'intervalle de garde, comprises entre 7 et $224 \mu s$. Cette flexibilité de l'intervalle de garde permet d'optimiser l'efficacité des transmissions en fonction de la structure du réseau.

Paramètres	Mode de transmission							
	Mode 2K (1705 porteuses)				Mode 8K (6817 porteuses)			
Porteuses pour véhiculer le signal								
Intervalle de garde Δ/T_s	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Durée symbole utile T_s (μs)	224				896 μs			
Durée intervalle de garde Δ (μs)	56	28	14	7	224	112	56	28
Distance maximale entre 2 émetteurs en SFN (km)	17	9	4	2	67	34	17	9

Tableau 0-9: caractéristiques de la modulation COFDM. (7)

2.4. Configurations et structure des réseaux

2.4.1. Considérations générales



2.4.1.1. Configurations types pour la radiodiffusion numérique de Terre: réseaux MFN, réseaux SFN ou configuration mixte MFN-SFN

Les possibilités de mise en œuvre des réseaux pour les systèmes de radiodiffusion numérique de Terre, comme les systèmes DVB T et T-DAB, sont nombreuses. Par exemple, on a le choix entre plusieurs critères: des variantes de la radiodiffusion numérique de Terre dans le cas de la télévision ou des modes d'émission dans le cas de la radiodiffusion sonore. De même, on peut choisir les paramètres pour ce qui est de l'infrastructure: réseaux MFN, SFN ou mixtes MFN-SFN.

Dans ce présent rapport on va s'intéresser aux réseaux SFN. Il y a deux types de structure pour la mise en œuvre de ces réseaux: la structure de type réseau «ouvert» et la structure de type réseau «fermé». On suppose que ces deux types de réseau sont conçus de façon à fournir le champ utile minimum à la limite de la zone de couverture.

– Dans le cas d'un réseau ouvert, on ne prend aucune mesure pour minimiser le niveau de rayonnement en direction des zones situées à l'extérieur de la zone de couverture. A la limite, un réseau ouvert peut être constitué d'un seul émetteur.

– Dans un réseau fermé, on réduit délibérément le niveau de rayonnement en direction des zones situées à l'extérieur de la zone de couverture sans pour autant limiter la couverture de la zone voulue. Pour ce faire, on peut équiper les stations d'émission proches de la périphérie de la zone de couverture d'antennes directives.

Dans le cas d'un réseau réel couvrant une vaste zone, les émetteurs seront très espacés. Si un tel réseau est conçu comme un réseau fermé, il causera, à une distance donnée à l'extérieur de sa zone de couverture, moins de brouillage que s'il avait été conçu comme un réseau ouvert. Cela tient au fait que le niveau de brouillage est déterminé principalement par la puissance rayonnée par les émetteurs les plus proches de la limite de la zone de couverture dans la direction considérée.

Toutefois, dans le cas d'un réseau fermé couvrant une petite zone, la puissance rayonnée par les émetteurs situés du côté de la zone de couverture opposée à la direction considérée intervient pour une part relativement plus grande dans le niveau de brouillage sortant que dans le cas d'un réseau fermé couvrant une grande zone. Ainsi, l'utilisation d'antennes d'émission directives pour les émetteurs proches de la limite de la zone de couverture présente moins d'avantages que dans le cas de réseaux couvrant de grandes zones.

Au vu de ce qui précède, pour des zones de couverture relativement grandes, l'espacement entre des zones utilisant un même canal sera, en règle générale, plus petite pour des réseaux fermés que pour des réseaux ouverts. Pour des zones de couverture plus petites, l'espacement pour des réseaux fermés se rapproche de celle des réseaux ouverts.

2.4.1.2. Sites d'émission (distance entre sites et puissance apparente rayonnée)

Les systèmes de radiodiffusion numérique de Terre peuvent utiliser les sites existants, de nouveaux sites ou d'autres architectures de réseau.

Le nombre d'émetteurs déployés et la distance entre eux varieront beaucoup selon la zone à couvrir, de sa taille et des frontières, du mode de réception (fixe, portable ou mobile). Pour la radiodiffusion numérique de Terre, la distance entre les émetteurs peut aller de 30 à 50 km dans les zones les plus peuplées ou dans les zones vallonnées et de 75 à 125 km dans les zones moins peuplées ou dans les zones moins vallonnées.

Dans un réseau SFN utilisant les normes de radiodiffusion numérique de Terre appropriées, la distance entre les émetteurs a une incidence sur le choix de l'intervalle de garde, qui à son tour, limite la taille



du réseau. La distance de séparation et la hauteur équivalente de l'antenne ont une incidence sur la puissance apparente rayonnée (p.a.r.).

Dans le cas de réseaux SFN, l'utilisation de «réseaux denses» constitué par des stations de puissance moyenne et de faible puissance, peut présenter certains avantages par rapport à des réseaux utilisant des émetteurs à forte puissance séparés par de grandes distances (de 60 à plusieurs centaines de kilomètres).

En particulier, dans le cas de réseaux SFN régionaux, mais également nationaux, il est possible d'envisager différentes formes de réseaux denses, dont tous les émetteurs utiliseraient le même canal mais avec une p.a.r. sensiblement inférieure à celle que nécessiterait un émetteur unique desservant la même zone. Pour ce qui est de la radiodiffusion numérique de Terre, la notion «d'émission distribuée» peut fournir le champ nécessaire sur la totalité de la zone de service grâce à un certain nombre d'émetteurs de réseau SFN synchronisés de faible puissance répartis sur un quadrillage plus ou moins régulier.

Par exemple, on peut envisager des topologies d'émetteurs dans lesquelles la partie centrale de la zone de service est couverte par un grand réseau SFN (avec des émetteurs à forte puissance séparés par de grandes distances), mais où, près des frontières, un réseau d'émetteurs dense est mis en place (avec une p.a.r. faible et des antennes directives peu élevées). Cela permettrait d'adapter la p.a.r. en fonction du contour de la zone de service, tout en réduisant les brouillages causés aux zones adjacentes et en conservant une disponibilité du service élevée à l'intérieur de la zone de service. Cette technique peut être également utile aux frontières des réseaux SFN nationaux.

2.4.1.3. Types d'antenne d'émission et diagrammes de rayonnement

Les antennes d'émission auront un diagramme équidirectif ou directif. Pour les stations situées le long ou à proximité des frontières d'un pays ou pour les stations situées au bord de la mer ou à proximité, il serait préférable d'utiliser des antennes directives pour réduire les brouillages à l'extérieur des zones de service. Cela permettra de diminuer la distance de réutilisation pour les fréquences en question et de protéger les zones de couverture des stations de télévision existantes. Cela est particulièrement vrai pour les stations à forte ou moyenne puissance et débouchera en général sur une utilisation plus efficace du spectre des fréquences radioélectriques.

2.4.1.4. Facteurs ayant une incidence sur la distance de séparation entre émetteurs

La distance de séparation entre émetteurs a une incidence non négligeable sur le nombre de blocs de fréquences ou de canaux nécessaires pour assurer la couverture d'une zone plus étendue englobant plusieurs pays ou régions ayant chacun ou chacune ses propres programmes émis dans un bloc de fréquences ou dans un canal.

Les zones de couverture desservies par des émetteurs situés le long de la périphérie et utilisant des antennes directives pointant vers l'intérieur (c'est à dire, dans le cas d'un réseau fermé) entraîneront des distances de séparation un peu plus courtes par rapport à la couverture équivalente obtenue grâce à l'utilisation d'antennes non directives (c'est à dire dans le cas d'un réseau ouvert). Dans le cas de trajets de propagation dont une grande partie est située au-dessus de la mer, les distances de séparation seront plus grandes que pour les trajets entièrement terrestres.

2.4.2. Configurations de planification de référence



2.4.2.1. Considérations générales

La radiodiffusion T-DAB et la radiodiffusion DVB-T donnent la liberté de mettre en œuvre un grand nombre de possibilités de services de radiodiffusion. En particulier pour la radiodiffusion DVB-T, plusieurs milliers de configurations de planification pourraient être envisagées en combinant les divers schémas possibles de modulation, de taux de codage, des modes en transformée de Fourier rapide (TFR), des intervalles de garde, des modes de réception, des classes de qualité de couverture, des approches de réseaux, etc. Par conséquent, une configuration de planification décrit la somme de tous les aspects techniques pertinents de la mise en œuvre d'un service de radiodiffusion. Les divers aspects relatifs aux configurations de planification, pour l'exemple de la radiodiffusion DVB-T, sont récapitulés dans le Tableau suivant :

Aspect	Elément
Mode de réception	fixe avec antenne de toit portable en extérieur portable en intérieur mobile
Qualité de la couverture (pourcentage des emplacements)	70% 95% 99%
Structure du réseau	MFN (un seul émetteur) SFN SFN dense
Variante de système DVB-T	de MDP-4-1/2 à MAQ-64-7/8
Bande de fréquences	Bande III (200 MHz) Bande IV (500 MHz) Bande V (800 MHz)

Tableau 0-10: Aspects relatifs aux configurations de planification pour la radiodiffusion DVB T.

Toutefois, un grand nombre de ces combinaisons théoriquement possibles ne représentent guère d'intérêt, d'un point de vue économique ou technique ou du point de vue de la gestion des fréquences.

Pour les besoins de la planification des fréquences, on peut se limiter à un très petit nombre de configurations de planification de référence (CPR), lesquelles sont alors abstraites en ce sens qu'elles ne correspondent plus à des configurations de planification réelles particulières. Par conséquent, une configuration de planification de référence représente une mise en œuvre de la radiodiffusion DVB T avec les paramètres d'une configuration de planification type.

2.4.2.2. Configurations de planification de référence pour la radiodiffusion DVB-T

Pour la radiodiffusion DVB-T, les configurations de planification peuvent être regroupées en fonction du mode de réception et de la bande de fréquences:

- réception fixe;



- réception portable en extérieur, réception mobile et réception portable en intérieur avec une moindre qualité de couverture;
- réception portable en intérieur avec une meilleure qualité de couverture.

Pour les fréquences de référence:

- 200 MHz (ondes métriques);
- 650 MHz (ondes décimétriques).

Pour ce type de regroupement, on suppose qu'on utilise pour la réception fixe des variantes de système DVB-T moins robustes, avec une capacité de données élevée. Cela est possible étant donné que le canal de transmission pose moins de problème que dans le cas de la réception portable ou mobile. Dans ce dernier cas, on suppose qu'on utilise des variantes de système DVB-T plus robustes, ce qui est nécessaire pour pallier les effets négatifs du canal de transmission en réception portable ou mobile. Toutefois, cette plus grande robustesse se fait au détriment de la capacité de données.

Ainsi, pour la radiodiffusion DVB-T, on peut ramener les nombreuses configurations de planification possibles à trois CPR pour chacune des deux fréquences de référence, ce qui facilite l'établissement du plan de fréquences et la définition des procédures de coordination.

Les CPR sont récapitulés dans le Tableau suivant.

Configuration de planification de référence	CPR 1	CPR 2	CPR 3
Probabilité de couverture des emplacements de référence	95%	95%	95%
Rapport C/N de référence (dB)	21	19	17
$(E_{med})_{réf}$ de référence (dB(μ V/m)) à 200 MHz	50	67	76
$(E_{med})_{réf}$ de référence (dB(μ V/m)) à 650 MHz	56	78	88

Tableau 0-11: CPR pour la radiodiffusion DVB T.

$(E_{med})_{réf}$: champ équivalent médian minimal.

CPR 1: CPR pour la réception fixe avec antenne de toit.

CPR 2: CPR pour la réception portable en extérieur ou pour la réception portable en intérieur avec une qualité de couverture moindre ou bien encore pour la réception mobile.

CPR 3: CPR pour la réception portable en intérieur avec une meilleure qualité de couverture.

Pour d'autres fréquences, l'interpolation des valeurs du champ de référence proposées précédemment devrait suivre les règles suivantes:



- pour la réception fixe, $\text{Corr} = 20\log (f/f_r)$, f étant la fréquence réelle et f_r étant la fréquence de référence de la bande considérée mentionnée ci-dessus;
- pour la réception portable et la réception mobile, $\text{Corr} = 30\log (f/f_r)$, f étant la fréquence réelle et f_r la fréquence de référence de la bande considérée mentionnée ci-dessus.

Les paramètres de référence des CPR, qui sont donnés dans le Tableau précédent (probabilité de couverture des emplacements, rapport C/N , champ médian minimum) ne sont pas associés à une variante de système DVB-T particulière ou à une mise en œuvre de réseau DVB-T réelle; ils correspondent à un grand nombre de mises en œuvre réelles différentes.

En règle générale, une capacité de données d'environ 20 à 27 Mbit/s est associée à la CPR 1; cette capacité est d'environ 8 à 24 Mbit/s pour la CPR 2, et d'environ 13 à 16 Mbit/s pour la CPR 3. Toutefois, il faut souligner qu'un compromis est fait entre la couverture et la capacité de données. On peut accroître la zone de couverture dans une CPR déterminée lorsqu'on choisit une variante de système DVB-T plus robuste, ce qui se traduit par une réduction de la capacité de données, et vice versa.

: Application et Simulation

1. Description

L'objectif est d'étudier la mise en place d'un réseau SFN limité comportant trois émetteurs : Zaer qui est l'émetteur principal, l'émetteur situé à Rabat studio et l'émetteur de Temara qui sont des émetteurs complémentaires. La localisation géographique et la distance reliant les trois émetteurs sont présentés sur la carte suivante :



Figure 0-1: Emplacement des trois émetteurs sur la carte.

10Km séparant Zaer et Rabat studio, 10Km séparant Zaer et Temara et 15Km entre Rabat studio et Temara, donc une distance de séparation maximale de 15Km.

Un intervalle de garde de $1/8 T_u$ (temps symbole utile) offre une protection sur une distance de 33,6km qui sera très suffisant pour notre cas.

$$\begin{aligned} \text{Correspondance temps} &\rightarrow \text{distance} \\ \text{Vitesse d'une onde} &= 300\,000\text{km/s} \\ 1\mu\text{s} &\rightarrow 300\text{m} \\ 112\mu\text{s} &\rightarrow 33,6\text{km} \quad (\text{voir tableau 3-9}) \end{aligned}$$

On travaillera sur la bande IV (470-606 MHz) qui contient les canaux 21 jusqu'à 38.

L'émetteur Zaer est un émetteur principal qui diffuse la TNT (DVB-T) sur la totalité de la région de Rabat alors on ne va pas changer sa configuration dans notre essai qui fera en sorte à ne pas influencer négativement la réception actuelle que ça soit du premier service qui comporte la TNT (DVB-T) ou du deuxième service où l'on diffuse sous les deux normes DVB-T et DVB-H en vue d'une réception mobile.

On présente ici les propriétés des trois émetteurs :

- **Zaer :**



Coordonnées géographiques	Latitude	33°55'06,00 N
	Longitude	006°49'11'',0 W
	Altitude	154 m
Hauteur		135 m
Puissance		3 KW
Gain		12 dB
Retard ajouté pour la synchronisation		0s

Tableau 0-1: Caractéristiques de l'émetteur Zaer.

Remarque : L'émetteur Zaer va être notre référence pour la synchronisation puisqu'il possède la plus grande puissance, donc il va être le premier à émettre.

- **Rabat Studio :**

Coordonnées géographiques	Latitude	34°00'50,00 N
	Longitude	006°49'50'',0 W
	Altitude	51 m
Hauteur		40 m
Puissance		300 W
Gain		10 dB
Retard pour la synchronisation		34 μ s \leftrightarrow 10,2 km

Tableau 0-2: Caractéristiques de l'émetteur Rabat Studio.

Remarque : On ajoute un retard de 34 μ s (fraction de l'intervalle de garde qui est de 112 μ s) correspondant à 10,2km, la distance séparant les émetteurs Zaer et Rabat Studio afin de synchroniser les signaux reçus de la part de ces deux derniers dans les zones d'interférence. Ainsi on aura des signaux constructifs qui vont améliorer la qualité de la réception.

- **Temara :**

Coordonnées géographiques	Latitude	33°53'54,00 N
	Longitude	006°55'18'',0 W
	Altitude	96 m



Hauteur	45 m
Puissance	300 W
Gain	10 dB
Retard pour la synchronisation	$34\mu s \Leftrightarrow 10,2 \text{ km}$

Tableau 0-3: Caractéristiques de l'émetteur Temara.

Pour le service 1 où on diffuse la DVB-T sur le canal 30.

- La fréquence associée à ce canal est $f = 306 + (8 \cdot \text{canal})$

$$f = 546 \text{ MHz}$$

- Le gain d'antenne de réception est :

$$G_r = 10 + 10 \log (546/500) = 10.38 \text{ dB (voir 2.2.1.1).}$$

- L'affaiblissement dans la ligne d'alimentation est :

$$f(500) = 3 \text{ et } f(800) = 5 \rightarrow f(546) = 3,3 \text{ dB (voir tableau 3-2)}$$

Les critères nécessaires pour l'essai sont résumés dans les tableaux suivants :

- Pour une réception fixe :

Hauteur d'antenne de réception	10 m
Gain d'antenne de réception	10.38 dB
Couverture des emplacements	95%
Mode de transmission	Non hiérarchique 8K
Canal présentatif	Canal de Rice
Modulation	QAM64
Taux de codage	3/4
C/N nécessaire pour $TEB=2.10^{-4}$	18,6
Débit utile	24,88 Mbits/s
Rapport de protection cocanal	21 dB
Facteur de bruit dans le récepteur	7 dB
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation	3,3 dB
Puissance minimale du signal à l'entrée du récepteur P_{smin}	-110,2 dBW
Tension équivalente minimale à l'entrée du récepteur, 75 ΩU_{smin}	28,46 dB(μV)
Puissance surfacique minimale à l'emplacement du récepteur ϕ_{min}	-103,9 dB(W/m^2)
Champ minimal à l'emplacement du récepteur E_{min}	42 dB($\mu V/m$)
Marge pour le bruit artificiel P_{mmn}	0 dB



Pour une probabilité de couverture des emplacements: 95%	
Facteur de correction pour les emplacements C_l	9 dB
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements ϕ_{med}	-95 dB(W/m ²)
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements E_{med}	51 dB(μ V/m)

Tableau 0-4: Critères nécessaires pour la diffusion de la DVB-T sur le canal 30.

Pour le service 2 où on diffuse la DVB-H et la DVB-T sur le canal 23.

- La fréquence associée à ce canal est $f = 306 + (8 \cdot \text{canal})$
 $f = 490\text{MHz}$

- Le gain d'antenne de réception est :

$$G_r = 10 + 10 \log(490/500) = 9,91 \text{ dB (voir 2.2.1.1)}$$

- L'affaiblissement dans la ligne d'alimentation est :

$$f(200) = 2 \text{ et } f(500) = 3 \rightarrow f(490) = 2,96 \text{ dB (voir tableau 3-2)}$$

Les critères nécessaires pour l'essai sont résumés dans les tableaux suivants :

- Pour une réception fixe (DVB-T) :

Hauteur d'antenne de réception	10 m
Gain d'antenne de réception	9,91 dB
Diagramme de rayonnement	Directif (yagi)
Couverture des emplacements	95%
Mode de transmission	Non hiérarchique 8K
Canal présentatif	Canal de Rice
Modulation	QAM16
Taux de codage	2/3
C/N nécessaire pour $TEB = 2 \cdot 10^{-4}$	11,6
Débit utile	14,75 Mbits/s
Rapport de protection cocanal	14 dB
Facteur de bruit dans le récepteur	7dB
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation	2,96 dB
Puissance minimale du signal à l'entrée du récepteur P_{smin}	-116,2 dBW



Tension équivalente minimale à l'entrée du récepteur, $75 \Omega U_{s \min}$	22,6 dB(μ V) -86,2 dBm
Puissance surfacique minimale à l'emplacement du récepteur ϕ_{\min}	-110,3 dB(W/m ²)
Champ minimal à l'emplacement du récepteur E_{\min}	35,6 dB(μ V/m)
Marge pour le bruit artificiel P_{mmn}	0 dB
Probabilité de couverture des emplacements: 95%	
Facteur de correction pour les emplacements C_l	9 dB
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements ϕ_{med}	-101,4 dB(W/m ²)
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements E_{med}	44,6 dB(μ V/m)

Tableau 0-5: Critères nécessaires pour la diffusion de la DVB-T sur le canal 23.

- Pour une réception mobile (DVB-H) :

Hauteur d'antenne de réception	1,5 m
Gain d'antenne de réception	0 dB
Diagramme de rayonnement	omnidirectif
Couverture des emplacements	99%
Mode de transmission	Non hiérarchique 8K
Canal présentatif	Canal de Rayleigh
Modulation	QAM16
Taux de codage	2/3
C/N nécessaire pour $TEB=2.10^{-4}$	14,2
Débit utile	14,75 Mbits/s
Rapport de protection cocanal	16 dB
Facteur de bruit dans le récepteur	7 dB
Puissance minimale du signal à l'entrée du récepteur $P_{s \min}$	-114,2 dBW
Tension équivalente minimale à l'entrée du récepteur, $75 \Omega U_{s \min}$	24,6 dB(μ V) -84,2 dBm
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation L_f	0 dB
Puissance surfacique minimale à l'emplacement du récepteur ϕ_{\min}	-100,9 dB(W/m ²)
Champ minimal à l'emplacement du récepteur E_{\min}	45 dB(μ V/m)
Marge pour le bruit artificiel P_{mmn}	0 dB
Affaiblissement dû à la hauteur	16 dB
Probabilité de couverture des emplacements: 99%	



Facteur de correction pour les emplacements C_l	13 dB
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements ϕ_{med}	-72 dB(W/m ²)
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements E_{med}	74 dB(μ V/m)

Tableau 0-6: Critères nécessaires pour la diffusion de la DVB-H sur le canal 23.

2. Etude à l'aide du logiciel Radio mobile:⁽⁸⁾

L'étude préliminaire a été faite à l'aide du simulateur de propagation **Radio Mobile version 10.7.1**. Les données topographiques sont tirées en format **SRTM** (Shuttle Radar Topography Mission) en provenance des bases de données de la **NASA** (National Aeronautics and Space Administration) avec une résolution de trois arcs seconds (90 m).

Les emplacements des trois émetteurs constituant notre réseau SFN ont été relevés sur place à l'aide d'un **GPS** en coordonnées géographiques (longitude, latitude et altitude).

Le but de cette étude est de s'assurer d'avoir une bonne réception et de ne pas avoir des interférences.

2.1. Présentation du logiciel Radio Mobile :

Le logiciel Radio Mobile est la propriété intellectuelle de Roger Coudé VE2DBE. Radio Mobile est voué à la radio amateur et à des fins humanitaires. Ce logiciel est un outil servant à la prédiction de la performance d'un système radio. Il utilise des données topographiques numérisées pour extraire les altitudes le long des profils terrestres reliant les stations émettrices et réceptrices. Ces données s'ajoutent aux paramètres environnementaux et techniques du système pour alimenter les routines du modèle de propagation radio, Ce programme vous permettra de visualiser la couverture d'un émetteur en fonction de ces paramètres radioélectriques. Le logiciel permet les affichages 3D et stéréoscopiques avec animation. Les images en arrière-plan peuvent être mélangées à des cartes numérisées comme notre cas on a fait le mélange avec internet virtual earth. Radio mobile peut être lié à un GPS, il peut calculer les interférences...

2.2. Etude par simulation :

Une étude a été réalisée à partir des cartes topographiques numériques permettant de relever avec suffisamment de précision, les positions des reliefs ainsi que les obstacles rencontrés le long du parcours entre les stations.

A l'aide des coordonnées géographiques des sites, ces derniers et les parcours sont tracés sur la carte, et les informations sont relevées point par point pour toute la région à couvrir.

2.2.1. Pour une réception fixe :

2.2.1.1. Couverture de l'émetteur principal situé à Zaer

On va se limiter ici par la simulation du deuxième service qui concerne la DVB-T/ DVB-H.

On crée notre réseau sur Radio mobile en faisant entrer les coordonnées géographiques de chaque émetteur, leurs hauteurs, puissances et gains, la bande de fréquence sur laquelle elles vont opérer.

Pour une réception les antennes de réception vont être à 10 au-dessus du sol avec un gain de 9.91 dB comme mentionné avant.

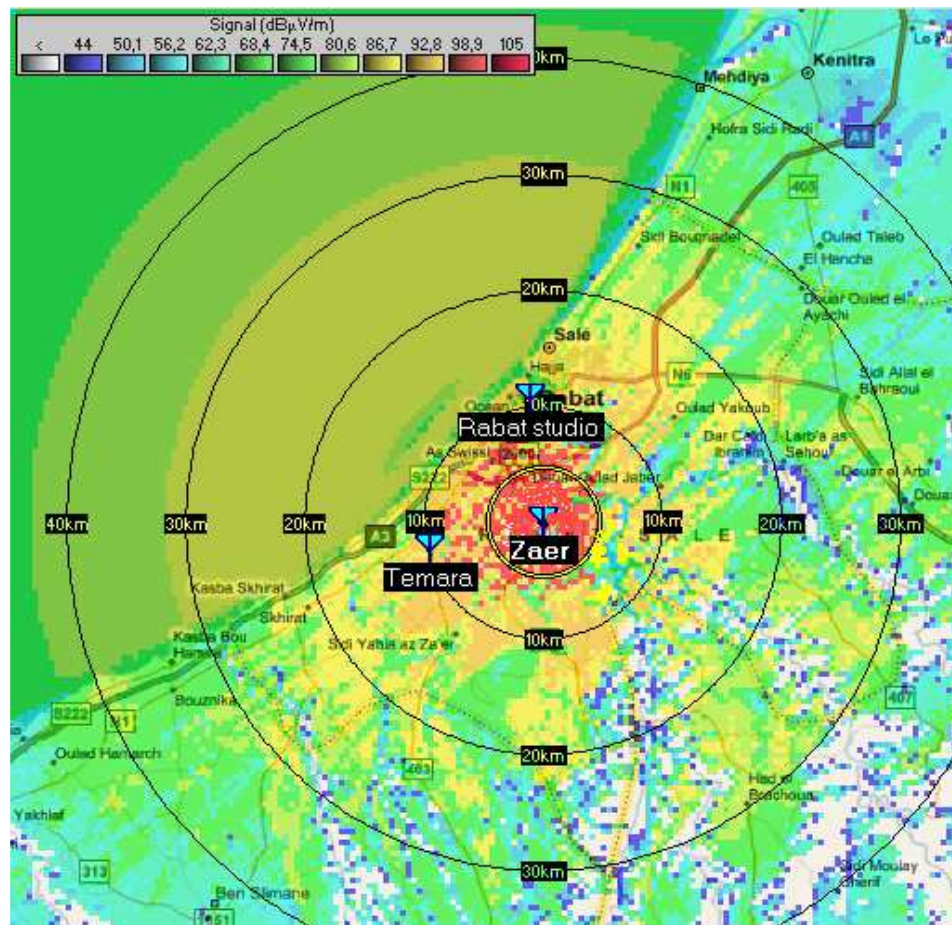


Figure 0-2: Couverture de l'émetteur Zaer par radio mobile.

L'émetteur Zaer couvre la quasi-totalité de la région de Rabat à part quelques zones d'ombre et les niveaux du champ sont mentionnés sur la figure ci-dessus.

2.2.1.2. Etude des interférences :



Université Sidi Mohamed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques Fès
Département Génie Electrique



Radio mobile comporte la fonction « couverture sous interférence » qui précise les zones d'interférences selon le signal minimal à recevoir pour avoir au moins une qualité acceptable et le rapport de protection S/I pour protéger notre champ utile. En effet pour ne pas avoir des interférences, le champ utile doit être supérieur à la somme du champ brouilleurs provenant des autres émetteurs et le rapport de protection ($S > I + S/I$). Si cette condition n'est pas satisfaite on pourra ne pas avoir des interférences si les émetteurs sont synchronisés de telle sorte que dans un point de réception situé dans les zones de couverture des deux émetteurs ou même plus, les signaux provenant de ces derniers arrivent au même temps ou à un retard minimal que l'intervalle de garde peut tolérer.

On commencera par une simulation sans prise en compte du retard de transmission entre les trois émetteurs pour préciser les zones où on pourra avoir des interférences.

- **Interférence entre les émetteurs Zaer et Rabat Studio :**

Pour tous les résultats de la simulation des interférences par Radio mobile :

- Le jaune signifie que le signal utile est supérieur à la somme des signaux brouilleurs et le rapport de protection.
- Le rouge signifie que le signal utile est inférieur à la somme des signaux brouilleurs et le rapport de protection.
- Le bleu signifie que le signal utile est inférieur à la somme des signaux brouilleurs et le rapport de protection mais le délai de réception des signaux brouilleurs est inférieur à l'intervalle de garde et donc ils vont s'ajouter au signal utile.
- Sans couleur signifie que le signal utile est inférieur au seuil de la réception.

Simulation sans prise en compte du retard :

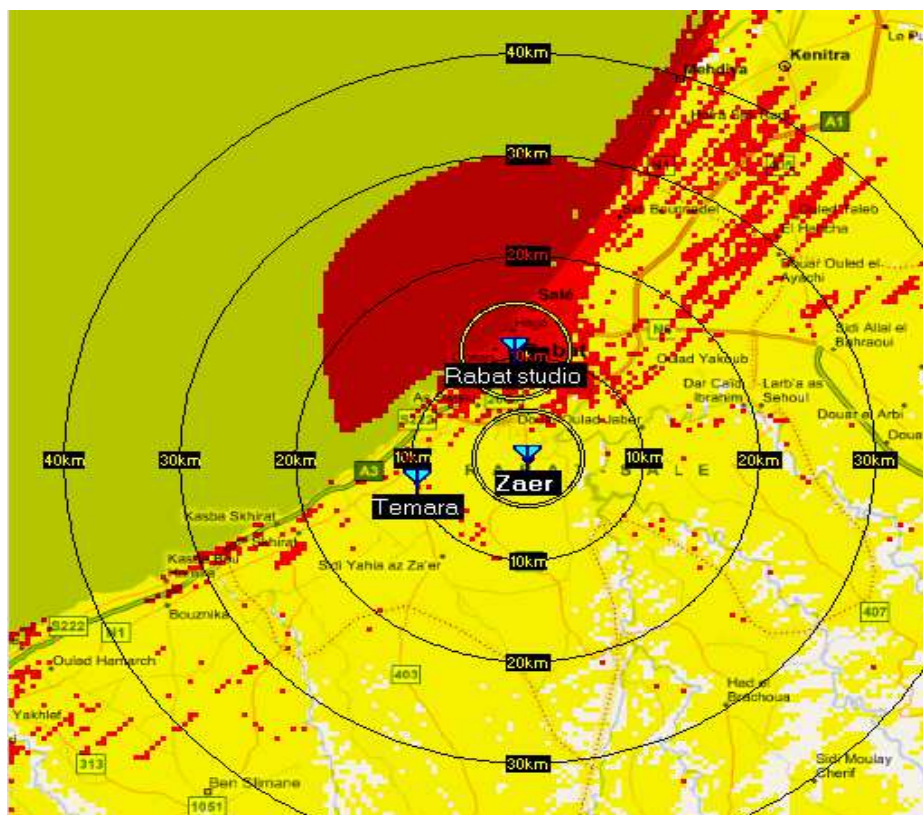


Figure 0-3: Interférences entre l'émetteur Zaer et l'émetteur Rabat studio dans le canal23.

- **Interprétation :**

La zone rouge est la zone où il peut y avoir une interférence, la majorité de cette zone se situe déjà dans la mer ce qui est favorable pour nous mais le reste qui entoure l'émetteur Rabat Studio causera une dégradation de la qualité de réception voire une disparition totale du signal vu l'effet destructif des deux signaux en déphasage dans un point de réception. Malgré que la modulation COFDM offre la solution de ce genre de situation par l'ajout de l'intervalle de garde qui quoiqu'il diminue le débit utile en ne transmettant pas des informations, il présente un mal nécessaire pour avoir une meilleure protection contre les échos et les interférences aussi. Sachant qu'un signal contenant la même information et provenant d'un autre émetteur et donc un signal retardé par rapport au signal principal, est considéré comme un écho. Malheureusement cet intervalle de garde a comme valeur maximale $224 \mu s$ (67Km) et donc pour des réseaux SFN plus étendus on sera obligé de s'appuyer sur d'autres réglages pour éviter ou au moins minimiser les interférences.

Pour notre cas on ajoutera des portions de l'intervalle de garde dans le délai d'activation des émetteurs complémentaires pour synchroniser les signaux.

Simulation avec prise en compte du délai :

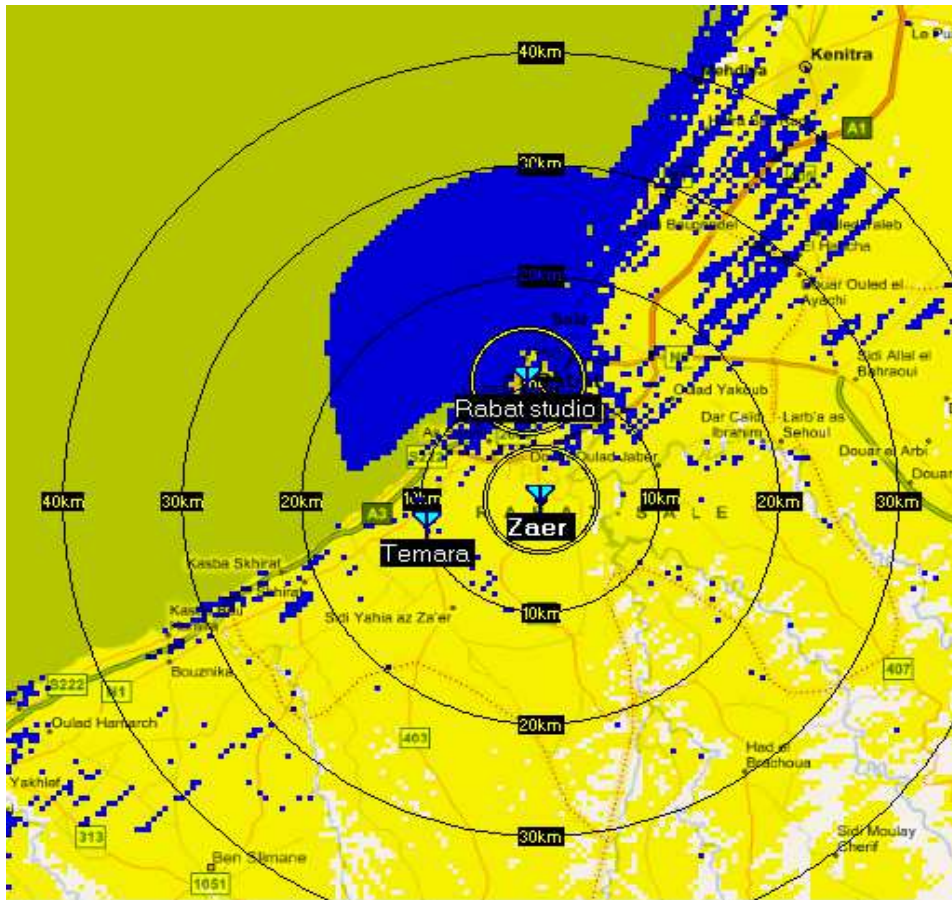


Figure 0-4: Zones d'interférences entre les émetteurs. Zaer et Rabat Studio avec prise en compte du délai.

- **Interprétation :**

Après avoir ajouté un délai de $34\mu\text{s}$ on a vu que les signaux arrivent à la zone d'interférence avec un délai acceptable, inférieur à l'intervalle de garde. Ils se coincident et s'ajoutent donc principalement un effet constructif améliorant la qualité de la réception.

- **Interférence entre les émetteur Zaer et Temara:**

Simulation avec prise en compte du retard :

On refait la même chose pour les émetteurs Zaer et Temara et on remarque que le délai de $34\mu\text{s}$ peut minimiser les interférences voir les éliminer.

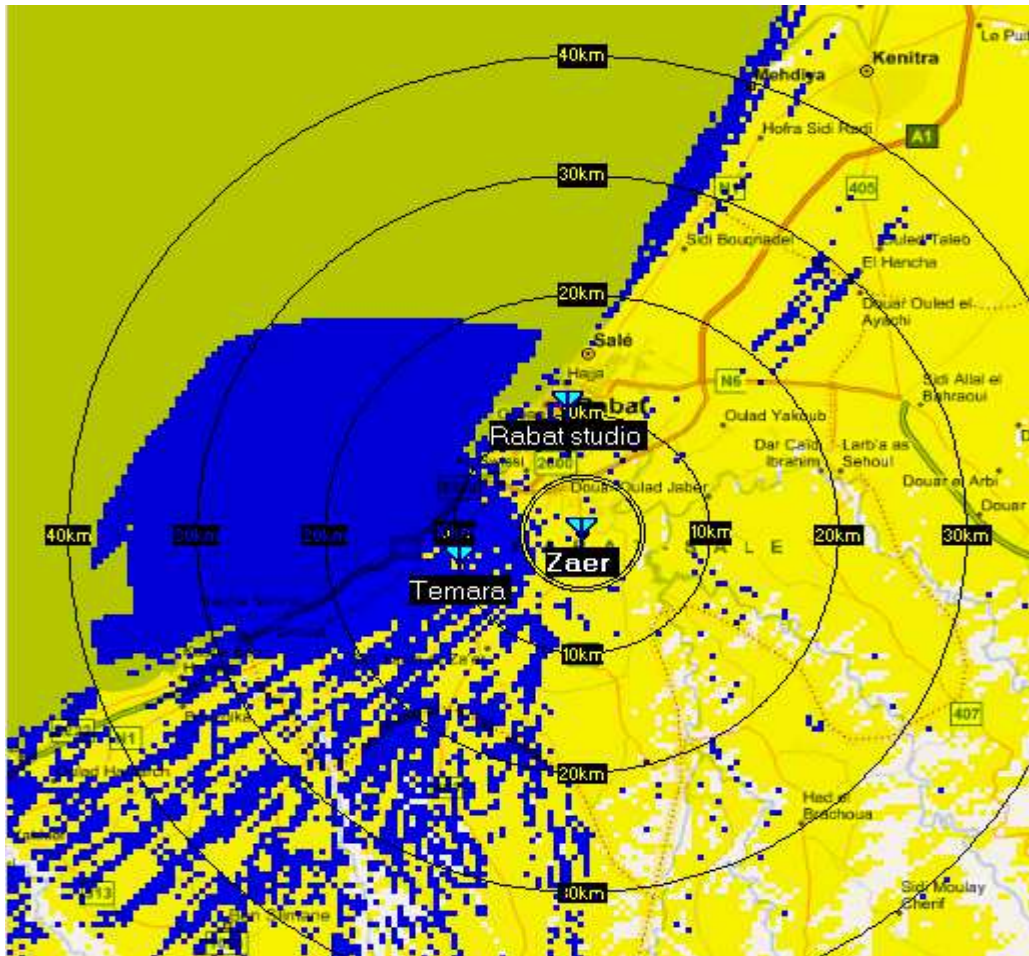


Figure 0-5: Zones d'interférences entre les émetteurs Zaer et Temara avec prise en compte du délai.

2.2.2 Pour une réception mobile :

2.2.2.1. *Couverture de l'émetteur de Zaer :*

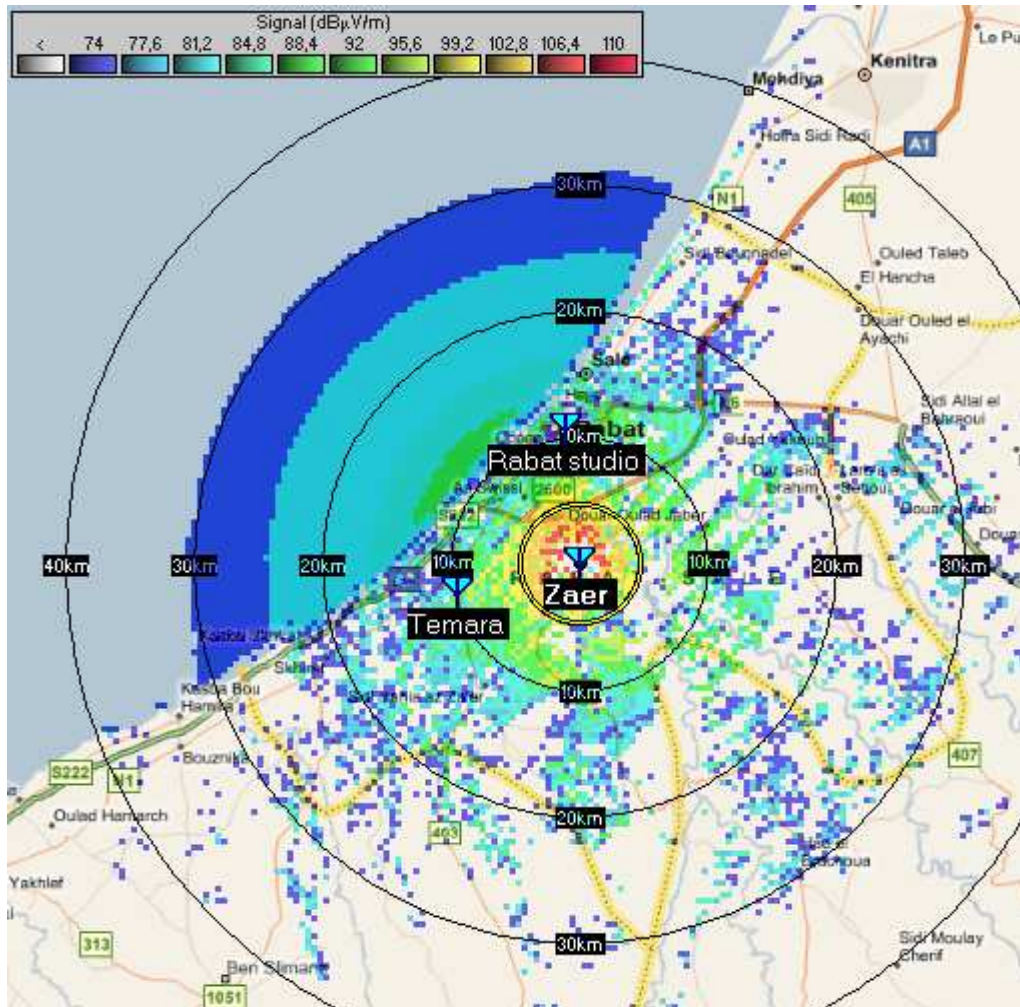


Figure 0-6: Couverture de l'émetteur Zaer pour une réception mobile sur le canal 23.

La réception mobile nécessite un champ médian plus puissant par rapport à une réception fixe, la raison pour laquelle on remarque que la zone de couverture assurée par le même émetteur s'est rétrécie.

2.2.2.2. Etudes des interférences :

- Interférence entre Zaer et Rabat Studio :

Avec prise en compte du retard :

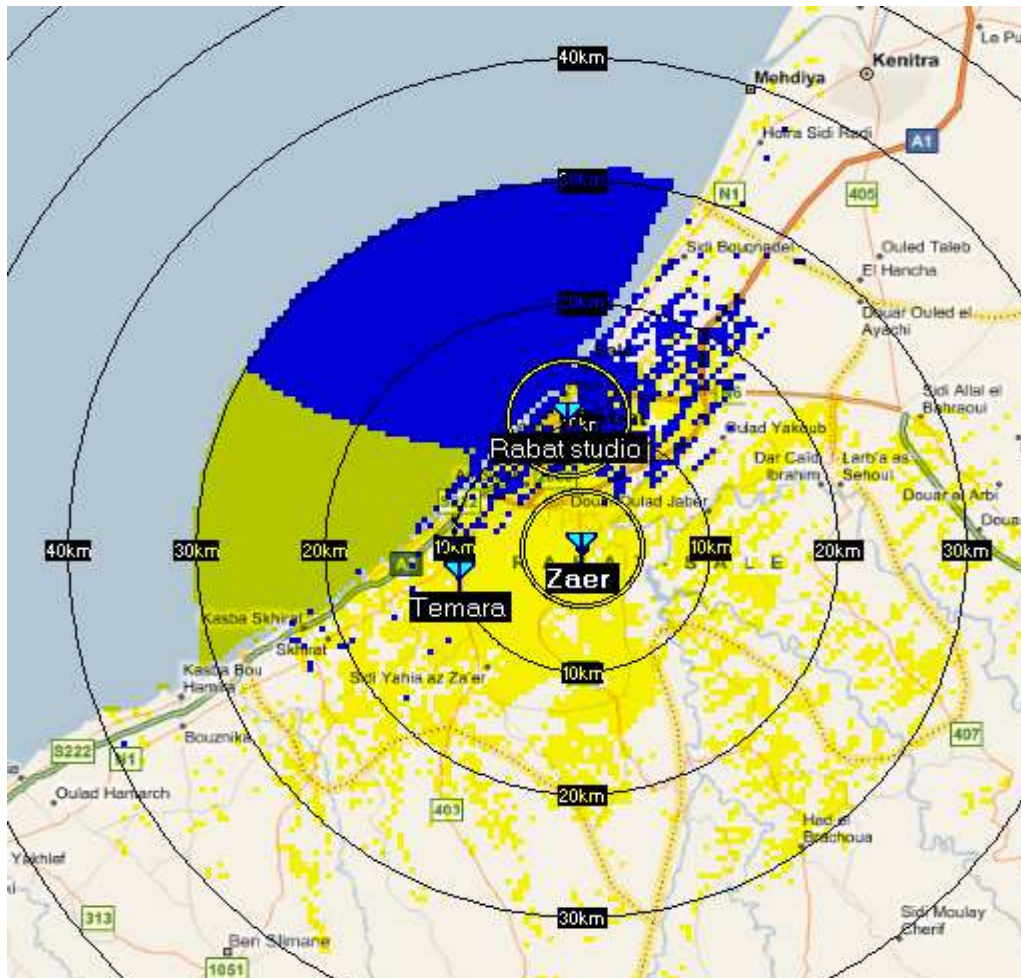


Figure 0-7: Zone d'interférences entre les émetteurs Zaer et Rabat Studio sur le canal 23 pour une réception mobile.

L'intervalle de garde et le délai d'activation de l'émetteur Rabat Studio qui est de $34\mu\text{s}$ ont résolu le problème des interférences qui aurait du être dans la zone bleue. Avec un délai acceptable les signaux provenant des deux émetteurs vont s'ajouter. Pour la zone jaune on n'aura pas de problème car le signal utile provenant de l'émetteur Zaer est assez puissant, il excède la somme du signal brouilleur provenant de l'autre émetteur et le rapport de protection.

- Interférence entre Zaer et Temara :

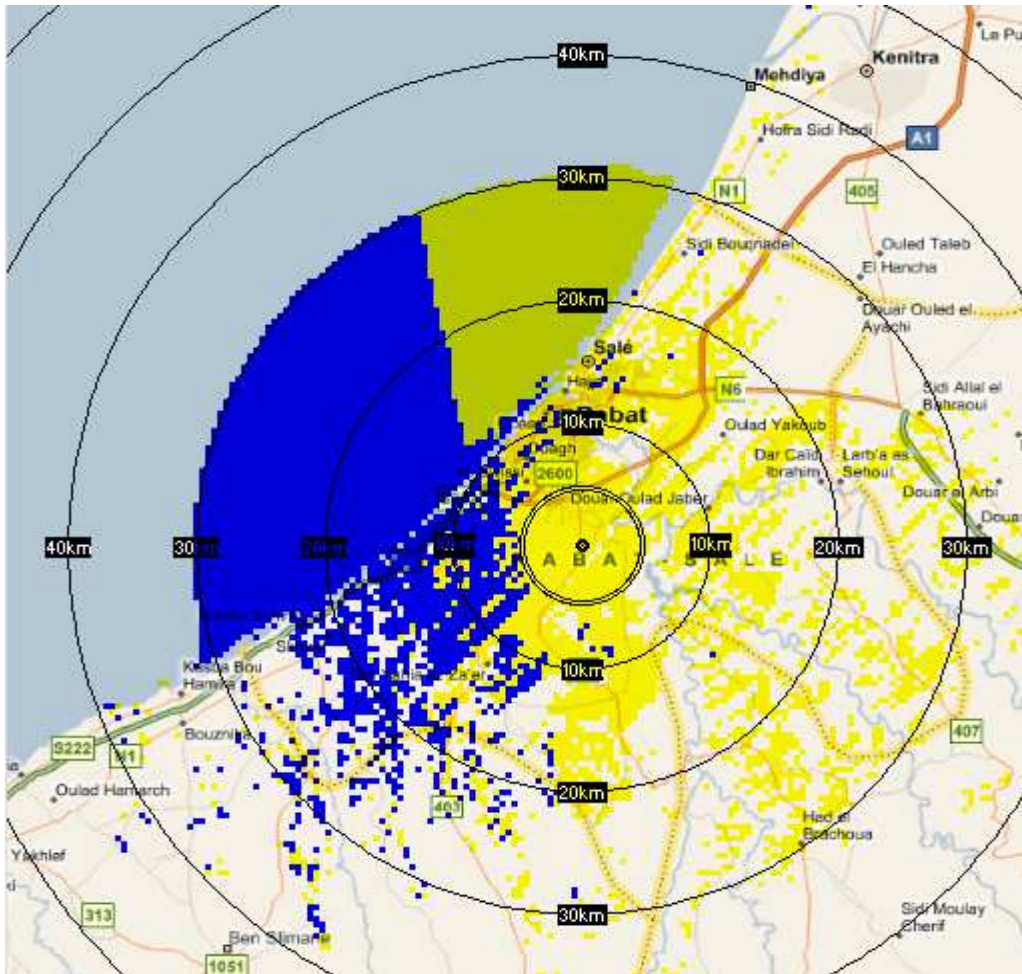


Figure 0-8: Zone d'interférences entre les émetteurs Zaer et Temara sur le canal 23 pour une réception mobile.

Radio mobile est un logiciel des radio-amateurs, il a ses limitations. Il ne prend pas en considération la variante du système, la fréquence exacte sur lequel l'émetteur émet et l'auto-brouillage créé par plusieurs émetteurs. Il traite seulement l'interférence entre deux émetteurs. Il ne fait pas de différence entre un système analogique et numérique, une réception fixe et une autre portable ou mobile, un réseau multifréquence et un réseau monofréquence. On refait une autre simulation en utilisant les même paramètres déjà calculé et testé mais cette fois-ci par un logiciel professionnel, **Chirplus_BC v5.0.2 de LS telecom**.

2.3. Présentation du logiciel CHIRplus BC ^(i2,i3):

CHIRplus est un outil de pointe de planification et de coordination pour les Services de Radiodiffusion analogiques et numériques.

De nombreuses fonctions de CHIRplus_BC se basent sur les Plans de Radiodiffusion ST61, GE75, RJ81, GE84, RJ88, GE89 et GE06 (triés par année d'inauguration). Signification de ces abréviations :

- "Accord régional pour la zone européenne de radiodiffusion concernant l'utilisation de fréquences par le service de radiodiffusion dans les bandes VHF et UHF, Stockholm, 23 juin 1961"
- "Accord régional relatif à l'utilisation par le service de radiodiffusion de fréquences dans les bandes de moyenne fréquence applicables aux régions 1 et 3 et dans les bandes de basse fréquence applicables à la région 1, Genève, 22 novembre 1975"



- "Accord régional relatif au service de radiodiffusion moyenne fréquence applicable à la région 2, Rio de Janeiro, 19 décembre 1981"
- "Accord régional relatif à l'utilisation de la bande 87,5 - 108 MHz pour la radiodiffusion sonore en modulation de fréquence (Région 1 et une partie de la région 3), Genève, 7 décembre 1984"
- "Accord régional pour l'utilisation de la bande 1 605 - 1 705 kHz dans la région 2 (Accord de Rio 88), Rio de Janeiro, 8 juin 1988"
- "Accord régional (Genève 1989) relatif à la planification de la radiodiffusion télévisuelle VHF/UHF dans la zone africaine de radiodiffusion et les pays voisins, Genève, 8 décembre 1989"
- "Accord régional relatif à la planification du service numérique de radiodiffusion terrestre dans la région 1 (certaines parties de la région 1 situées à l'ouest du méridien 170° E et au nord du 40° parallèle S, à l'exception du territoire de la Mongolie) et en république islamique d'Iran dans les bandes de fréquence 174 - 230 MHz et 470-862 MHz, Genève 16 juin 2006".

CHIRplus_BC se fonde sur les recommandations de l'UIT, les rapports et les publications les plus récentes d'organismes liés à la radiodiffusion (p. ex. EBU) et d'entreprises techniques d'ordre général (p. ex. ETSI).

2.3.1 Simulations :

Pour le service 1 où on diffuse la DVB-T sur le canal 30.

La couverture de la région de Rabat est assurée par un seul émetteur qui est celui installé à ZAER qui donne une puissance apparente rayonnée de :

$$\begin{aligned} \text{PAR} &= 10 \log P_e + G_e \text{ -affaiblissement} \\ &= 10 \log 3000 + 11 - 1 \\ \text{PAR}_{\text{ZAER}} &= 44.771 \text{ dB} \end{aligned}$$

Avec

P_e : La puissance nominale de l'émetteur.

G_e : gain de l'émetteur.

On sait que pour avoir une qualité acceptable il suffit d'utiliser une probabilité de couverture de 70%, on calcule la valeur du champ médian correspondant. On se basant sur le tableau 4-5.

On a C/N nécessaire pour une réception fixe dans le canal 30 est égale à 18. En effectuant une interpolation entre les valeurs représentatives de C/N prises du tableau A-1 on aura :

$$\begin{aligned} (x-41)/(18-14) &= (47-x)/(20-18) \\ x &= 45 \text{ } \mu\text{dB/m} \end{aligned}$$

En ajoutant le facteur de correction de l'emplacement qui est de 3dB on aura un niveau de champ minimal de 48dB μ V/m

Pour avoir une bonne qualité de couverture il faut utiliser une probabilité de couverture de 95%. En calculant la valeur du champ médian minimal correspondant et en ajoutant le facteur de correction qui est de 9dB on aura une valeur de champ minimal équivalent de : 51+9= 60dB μ V.

Le diagramme de rayonnement utilisé à l'émetteur Zaer est présenté ci-dessous :

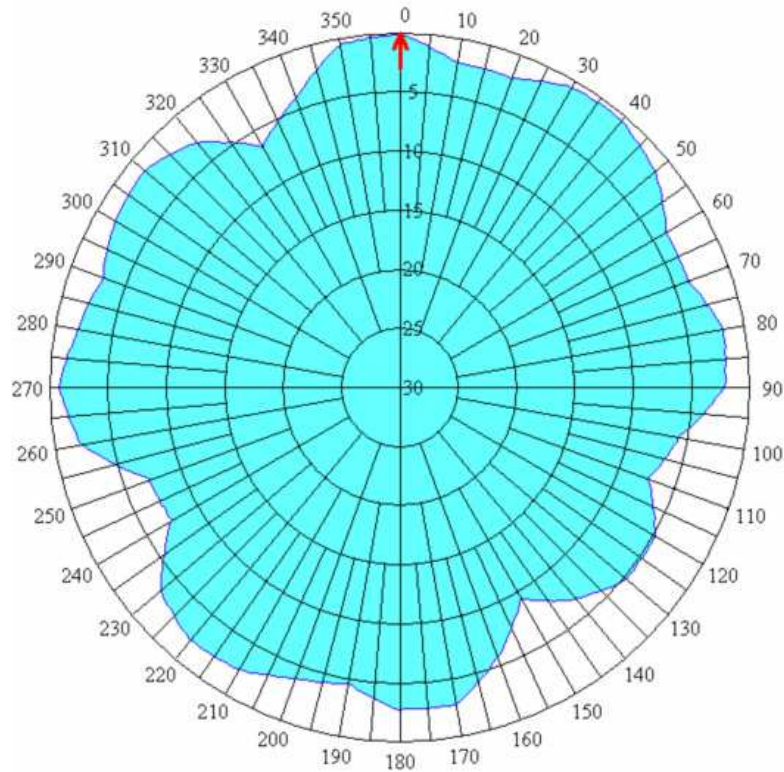
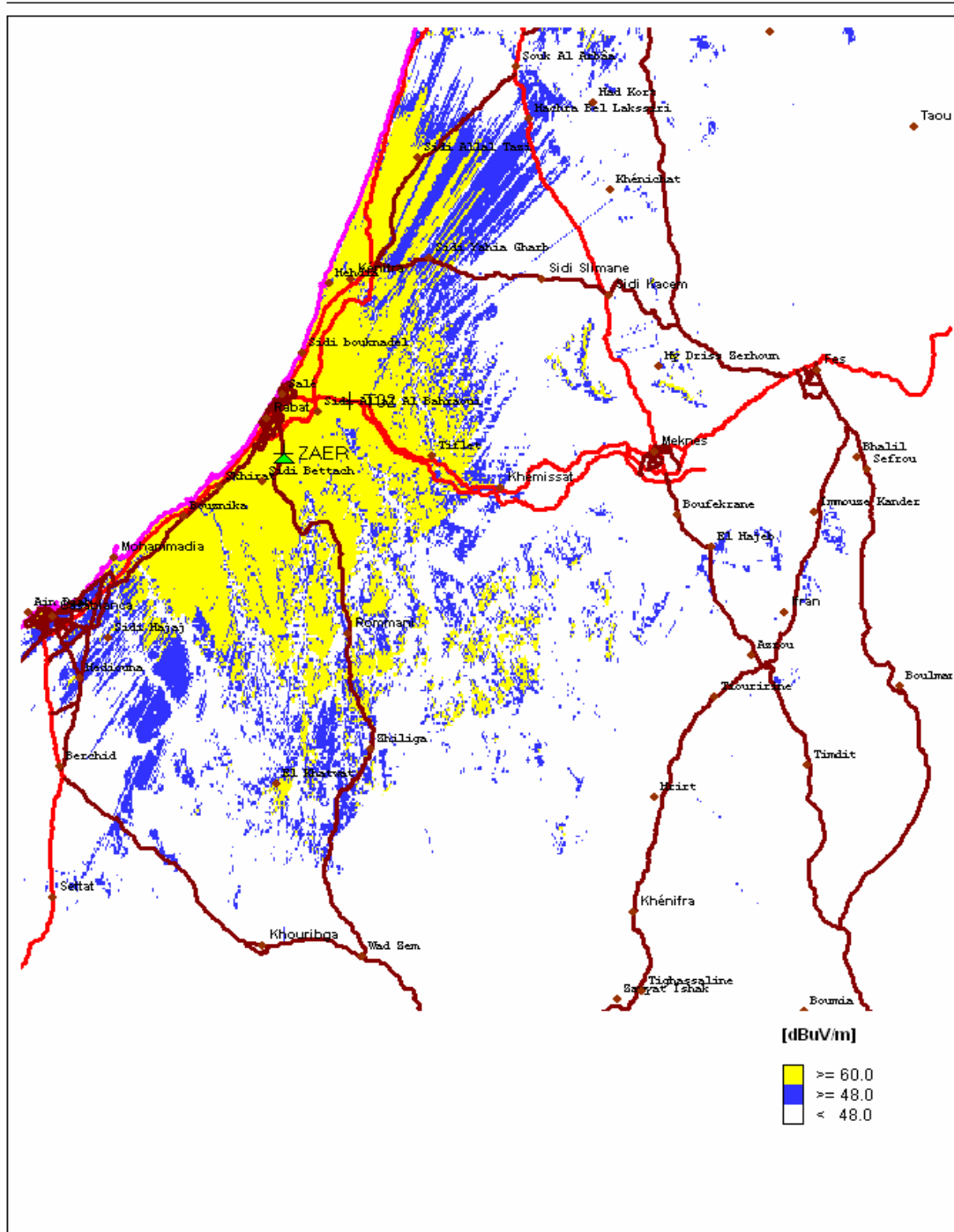



Figure 0-9: Diagramme de rayonnement de l'émetteur Zaer.

On fait une simulation à base des niveaux de champ calculé pour les différents pourcentages de probabilités de couverture.

Pour une réception fixe l'émetteur Zaer couvre une zone qui dépasse 60 Km de diamètre comme le montre la figure 4-10. Dans les zones où le champ dépasse 60dB (zone jaune) on a une bonne réception, et pour les zones bleues on a une réception acceptable. Pour le service numérique, sur la région de Rabat on a deux canaux, 30 et 23 donc il n'y a pas une possibilité des interférences car on n'utilise pas les canaux tabous ($N\pm 4$, $N\pm 9$) et de même on n'utilise pas des canaux adjacents ($N\pm 1$).



	Couverture de l'émetteur Zaer	
	DVB-T canal 30 réception fixe.	
	Société Nationale de Radiodiffusion et Télédiffusion	sysadmin 15/06/2010

CHIRplus_BC V.5.0.2 ©LS @com AG

Figure 0-10: Couverture de l'émetteur Zaer canal 30 réception fixe.



Pour le service 2 où on diffuse la DVB-T/DVB-H sur le canal 23.

- **DVB-T réception fixe :**

Sur le canal 23 trois émetteurs vont diffuser, celui de Zaer et l'émetteur Rabat Studio et enfin l'émetteur de Temara ce qui forme un petit réseau SFN donc des auto-interférences peuvent se produire.

$$PAR_{\text{Rabat Studio}} = PAR_{\text{Temara}} = 10 \log 300 + 10 - 1 = 33.771 \text{ dB}$$

Pour une probabilité de couverture de 70% on a un champ médian minimal de :

$$\begin{aligned} (x-35)/(11.6-8) &= (41-x)/(14-11.6) \\ x &= 38.6 \text{ dB}\mu\text{V/m} \end{aligned}$$

En ajoutant le facteur de correction des emplacements on aura une valeur de champ minimal de : 41.6 dB μ V/m

De même pour une couverture des emplacements de 95% on aura une valeur de

$$44.6 + 9 = 53.6 \text{ dB}\mu\text{V/m}$$

On commence d'abord par visualiser la couverture de notre réseau.

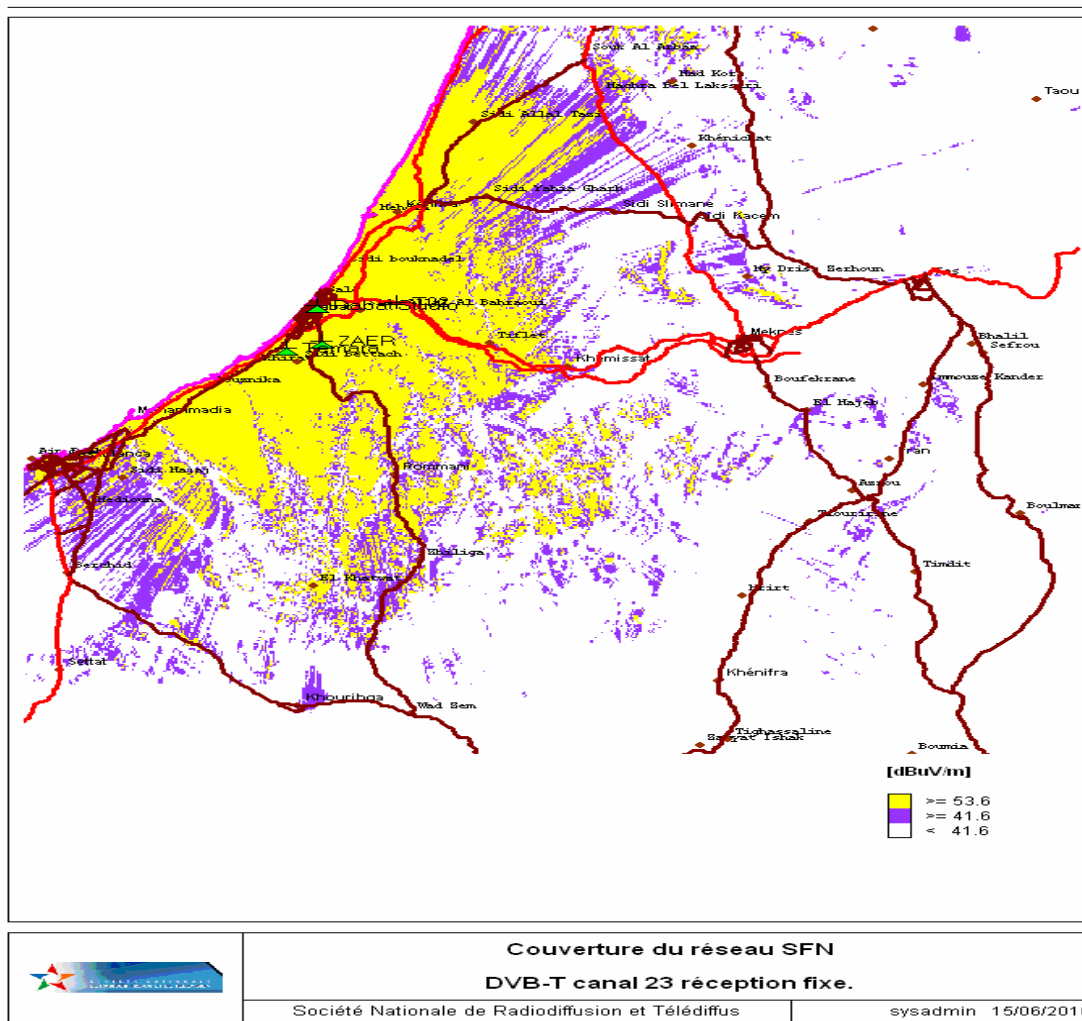


Figure 0-11: Couverture SFN canal 23, DVB-T réception fixe.

Au dessus de 41.6dB μ V/m on a une réception acceptable donc une zone de couverture dépassant 80Km de diamètre à part quelques zones d'ombre.

L'utilisation des trois émetteurs produira des auto-interférences d'où la nécessité de quelques réglages pour y remédier. Deux solutions sont possibles, soit ajuster les niveaux de la P.A.R et les diagrammes de rayonnement des émetteurs de sortes à ne pas avoir des interférences ou les déplacer vers une zone non peuplée, la mer dans notre cas, soit utiliser un intervalle de garde un peu grand et ajuster les temps de retard sur chaque émetteur pour avoir une synchronisation au niveau du récepteur de telle sorte que les signaux reçus ne dépassent pas l'intervalle de garde comme expliqué avant.

Les paramètres étudiés avant vont être testé cette fois ci via Chirplus_BC et le résultat est illustré sur la figure suivante :

La fonction utilisée ici est la marge de couverture (coverage reserve) qui calcule la différence entre le signal utile et la somme du signal brouilleur et le rapport de protection, $E_u - (E_b + R_p)$. Le résultat est exprimé en dB, si cette valeur est positive on n'a pas des interférences sinon on les aura et si la valeur est à -100dB cela veut dire qu'on n'a pas de couverture.

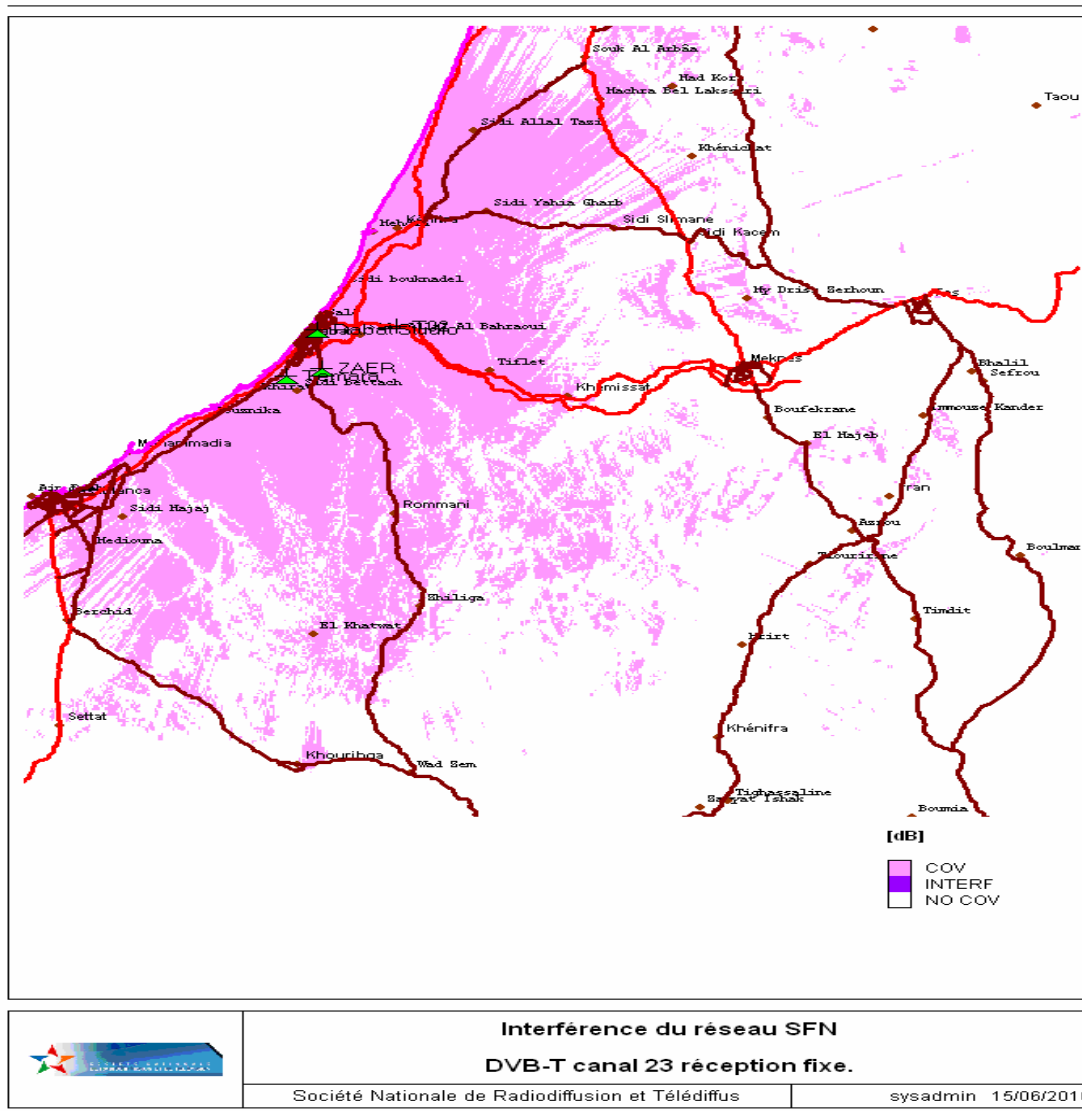


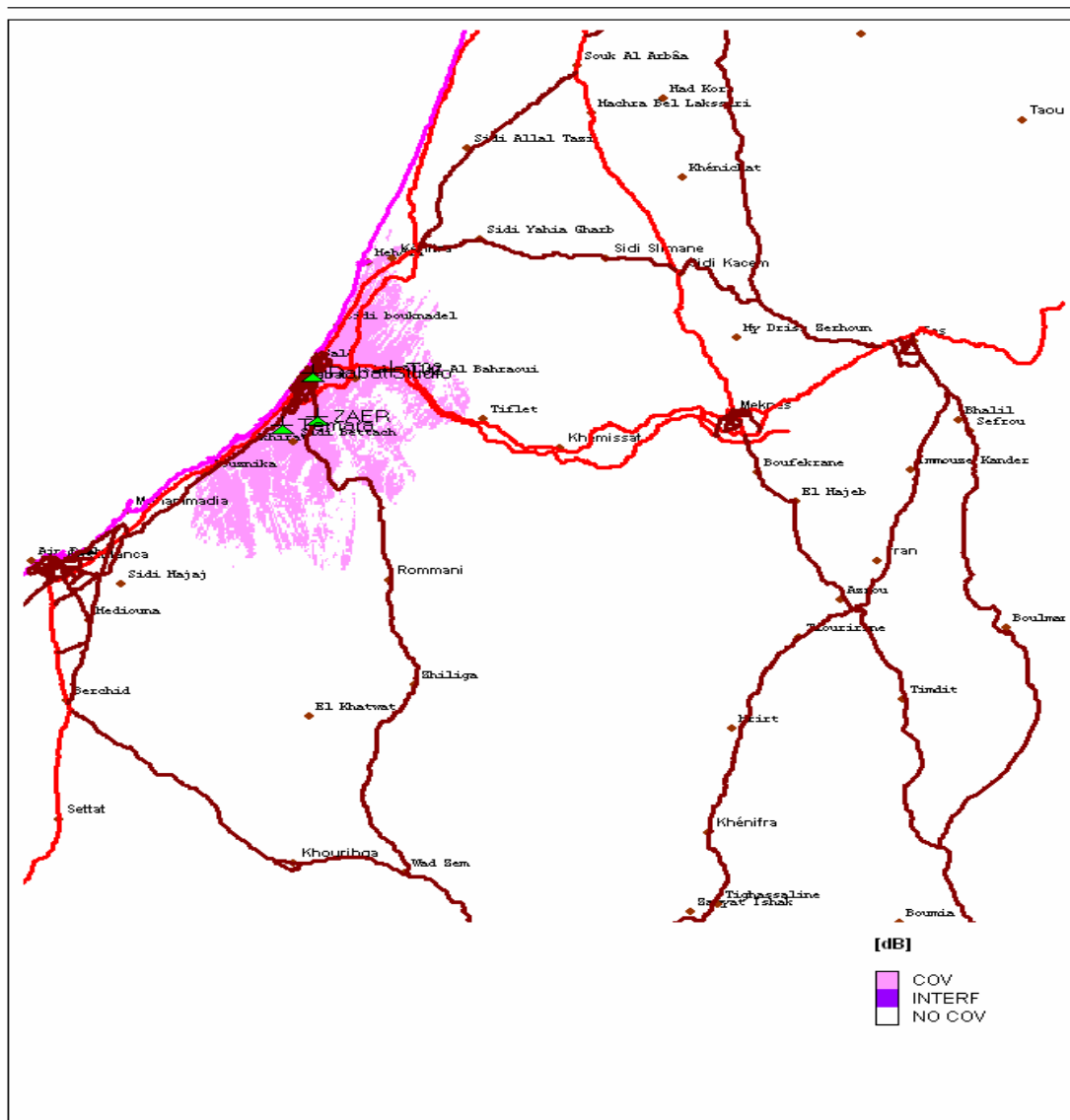
Figure 0-12: Zones d'interférences pour le DVB-T canal 23 réception fixe.

La simulation montre qu'il n'y aura pas des interférences.

- **DVB-H réception mobile :**

De même on refait la procédure en changeant cette fois-ci le type de la réception, le pourcentage de la couverture des emplacements qui deviendra 99% comme montré sur le tableau 4-6, le niveau du champ médian et la hauteur de l'antenne de réception. Pour le rapport de protection, le logiciel se charge de le changer et d'utiliser la valeur convenable pour la simulation.

Les résultats sont présentés ci-dessous :



	intérférence dans le réseau SFN	
	DVB-H canal 23 réception mobile.	
	Société Nationale de Radiodiffusion et Télédiffusion	sysadmin 15/06/2010

CHIRplus_BC V.5.0.2 ©LS telecom AG

Figure 0-14: Zone d'interférences pour la DVB-H sur le canal 23.

La simulation montre qu'on n'aura pas des interférences ainsi nos paramètres ont permis de créer un réseau monofréquence sans auto-interférences donc on a évité le problème majeur de ce genre de réseau.



Conclusion générale:

Malgré un début difficile dû au retard pris pour le commencement de mon projet, j'ai quand même réussi à réaliser la tâche qui m'était assignée dans un délai nettement plus court que prévu. Cela m'a permis, d'un côté, de fournir un travail plus conséquent afin de rendre un travail concret et fini.

Afin de bien mener le projet, il était nécessaire de commencer par bien comprendre la chaîne de diffusion de la DVB-T qui est un élément de base, facilitant par la suite la détection de quelques paramètres intéressants suivi d'une étude des différentes configurations des réseaux et du processus de la planification selon les recommandations de l'Union Internationale des Télécommunications pour pouvoir calculer les paramètres nécessaires à la création de notre réseau monofréquence (SFN). Une simulation à l'aide des logiciels de la radiocommunication était un complément de mon étude, permettant ainsi la prédiction de la couverture des émetteurs et des interférences possibles et c'était aussi un ajout intéressant à mon bagage en tant que futur ingénieur. Enfin, on a fait des mesures sur terrain du champ provenant de l'émetteur Zaer pour tester la qualité de la réception et confronter les résultats de la simulation au cas réel.

La dernière étape a permis de confirmer que la simulation est le cas idéal. Evidemment les niveaux du champ en réalité sont un peu inférieurs à ceux trouvés par le logiciel vu qu'en réalité il y a d'autres critères qui ne sont pas pris en compte par le logiciel comme le climat, les bâtiments. Aussi les incertitudes au niveau du GPS ou du mesureur du champ et la hauteur de l'antenne utilisée pour les mesures qui est inférieure à celle utilisée pour la simulation.

Malgré tout, la simulation présente toujours la meilleure approche de la réalité et actuellement le meilleur outil de la prédiction de la couverture. Mais il est d'usage de confronter la simulation aux mesures, ainsi une étude sur terrain me paraît essentielle.

On attend actuellement la mise en service des deux émetteurs Rabat Studio et Temara pour tester notre réseau SFN et s'assurer qu'il n'y a pas d'auto-interférences et pourquoi pas élargir le projet et implanter des réseaux SFN plus étendus.



Liste des abréviations:

- BER** : Bit error rate.
COFDM : Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex.
CPR : Configuration de Planification de Référence.
CSA : Common Scrambling Algorithm.
DVB : Digital Video Broadcast.
DVB-C : Digital Video Broadcasting – Cable.
DVB-H : Digital Video Broadcasting - Handheld.
DVB-ISC : Digital Video Broadcasting - Services interactifs.
DVB-MHP : Digital Video Broadcasting – Moteur d'interactivité.
DVB-S : Digital Video Broadcasting - Satellite
DVB-T : Digital Video Broadcasting – Terrestrial.
DVB-TXT : Digital Video Broadcasting – Teletext.
EBU : European Broadcasting Union.
ES : Elementary Stream.
ETSI : European Telecommunication Standards Institute.
FEC : Forward Error Correction.
GPS : Global Positioning System.
HP : High Priority
ISO : International Organization for Standardization.
ITU : International Telecommunication Union.
LP : Low Priority.
MFN : Multiple Frequency Network.
MP@ML: Main Profile at Mail Level.
MPEG : Moving Pictures Expert Group.
MTPS : Multiple Program Transport Stream.
P.A.R. : Puissance Apparente Rayonnée.
PES : Packetized Elementary Stream.
QAM : Quadrature Amplitude Modulation.
QPSK : Quaternary Phase Shift Keying.
RF : Radio Frequencies.
RS : Reed Solomon.
SFN : Single Frequency Network.
SI : Service Information.
STPS : Single Program Transport Stream.
T-DAB : Terrestrial Digital Audio Broadcasting
TFR : Transformée de Fourier Rapide.
TNT : Télévision Numérique Terrestre.
TS : Transport Stream.
UHF : Ultra High Frequency.
VHF : Very High Frequency.



Bibliographie :

Ouvrages:

- (o1): Hervé Benoit : La télévision numérique satellite, câble, terrestre 3ème édition.

Documents internes de la SNRT:

- (i1): Rapport de la conférence européenne régionale de la radiodiffusion en onde métrique et décimétrique. CRR04.
- (i2): Chirplus BC user manual.
- (i3): Chirplus BC DVB-T extensions.

Sites Internet :

- (1) : www.dvb.org : site officiel du groupe DVB.
- (2) : www.ste.ore: Téléchargement des standards techniques de diffusion.
- (3) : cjt.eljako.org/cnam/pr_detail.php?dl=90 : Mémoire Probatoire Informatique CNAM Nantes.
- (4) : www.tdf.fr
- (5) : morin80s.free.fr/TNT/PresentationProbatoireTNTDavidARNOULT.pdf
- (6): <http://www.mpeg.org> : Site de l'organisation MPEG
- (7): http://www.ebu.ch/en/technical/trev/trev_270-weck_fr.pdf
- (8): <http://radiomobile.pe1mew.nl/>: Site de téléchargement et du logiciel Radio mobile
- (9): http://www.sefram.fr/PDF_FR
- (10): http://www.sefram.fr/www/PDF_FR/LEXIQUE_MESUREURS.pdf.

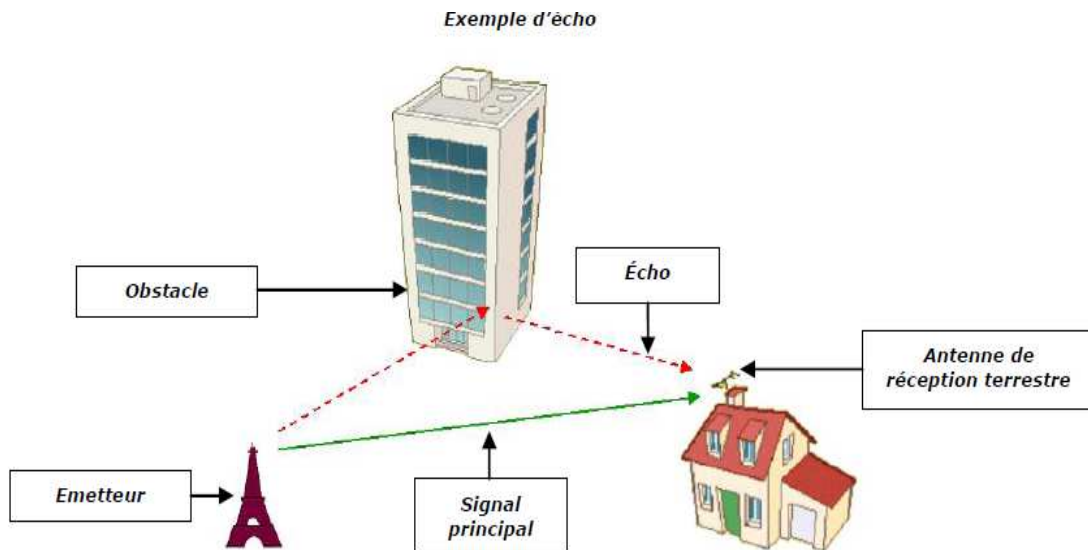


Annexe :

Echo: ⁽⁹⁾

En diffusion TV terrestre, les échos sont causés par les trajets multiples empruntés par le signal à transmettre. En effet, la propagation des ondes est soumise à son environnement et ces ondes peuvent rencontrer divers obstacles sur leur trajet. Le temps de propagation des ondes de l'émetteur jusqu'au récepteur est alors différent pour chacune d'entre elles. Ce phénomène s'appelle l'écho, l'information arrive par plusieurs trajets à des moments différents.

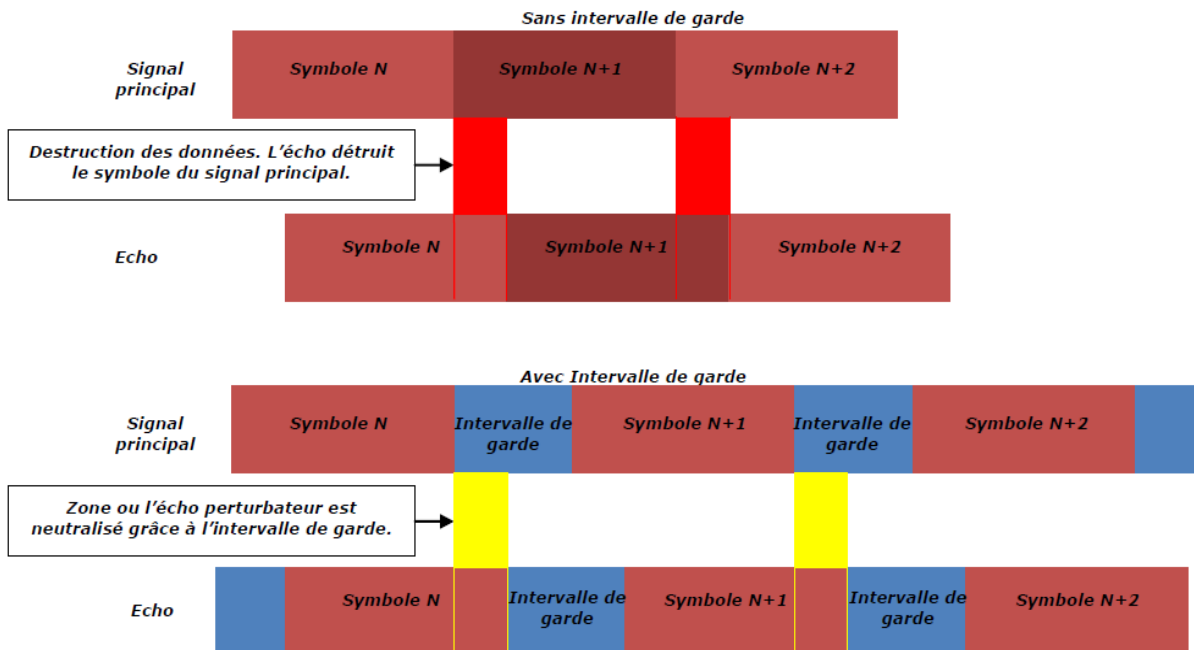
Le retard d'un écho par rapport au signal principal est donné soit en unité de distance (km/mile) soit en unité de temps (μ s).



Exemple d'echo.

Intervalle de garde : ⁽⁹⁾

Pour les signaux numériques, l'intervalle de garde correspond à un temps pendant lequel la réception n'est pas perturbée par les échos. Pendant cet intervalle de garde, la transmission des données numériques (symboles) est interrompue afin de laisser les différents échos arriver sur le récepteur, avant d'émettre une nouvelle donnée. Les signaux numériques et leur sensibilité accrue aux interférences ont rendu indispensable l'utilisation d'un intervalle de garde.



Canal de propagation gaussien ⁽ⁱ¹⁾

Canal utilisant un mode de propagation dans lequel seul le signal utile, sans signaux retardés, est présent à l'entrée du récepteur, en ne tenant compte que du bruit gaussien.

Canal de propagation de Rayleigh ⁽ⁱ¹⁾

Canal utilisant un mode de propagation dans lequel plusieurs signaux statistiquement indépendants ayant des temps de propagation différents, dont aucun n'est dominant, sont présents à l'entrée du récepteur, en tenant compte du bruit thermique. On observe des variations rapides et fortes du signal d'entrée en fonction des emplacements, en raison de la propagation par trajets multiples.

Canal de propagation de Rice ⁽ⁱ¹⁾

Canal utilisant un mode de propagation dans lequel un signal utile dominant et des signaux retardés de niveau inférieur sont présents à l'entrée du récepteur, en tenant compte du bruit thermique.

Facteur de correction d'affaiblissement dû à la hauteur ⁽ⁱ¹⁾

Correction en décibels appliquée au champ prévu au niveau du toit lors de l'établissement de la prévision pour des hauteurs d'antenne de réception plus petites.

Facteur de correction pour les emplacements ⁽ⁱ¹⁾

Rapport, exprimé en décibels, du champ dépassé, pour un pourcentage donné des emplacements de réception, sur le champ dépassé pour 50% des emplacements de réception.

Taux de compression

Rapport entre la taille des informations non comprimées et leur taille une fois qu'elles ont été compressées.



Bouquet ⁽¹⁰⁾

Ensemble de chaînes numériques diffusées et commercialisées par un même opérateur (TPS, Canal Satellite...).

Constellation ⁽¹⁰⁾

Moyen de vérification de la qualité du signal par un regroupement de points formant des taches sur l'écran du mesureur de champs. Plus les taches de la constellation sont circulaires et distinctes plus le signal est de qualité.

SI

Service information : un service comportant les informations du réseau physique, les services du système, les services d'un bouquet, les événements des services, et les informations sur la date et l'heure...

Probabilité de couverture des emplacements ⁽ⁱ¹⁾

Pourcentage d'emplacements de réception pour lesquels un champ donné est atteint ou dépassé.

Affaiblissement dans la ligne d'alimentation ⁽ⁱ¹⁾

Affaiblissement du signal entre l'antenne de réception et l'entrée RF du récepteur.

Le champ perturbateur ⁽ⁱ¹⁾

(E_n), exprimé en dB(μ V/m), est le champ, pour 50% des emplacements et pour un pourcentage de temps donné, d'un signal non désiré provenant d'une source brouilleuse potentielle auquel on a ajouté le rapport de protection correspondant en décibels.

Champ utilisable ⁽ⁱ¹⁾

Valeur minimale du champ nécessaire pour obtenir la qualité de réception voulue, dans des conditions de réception spécifiées, en présence de bruits naturels ou artificiels et en présence de brouillages.

Valeur médiane minimale du champ E_{med} (dB(μ V/m)) ⁽ⁱ¹⁾

Valeur appropriée du champ minimal utilisable, à utiliser pour les besoins de la planification, uniquement dans le cas où la couverture est assurée par un seul émetteur, pour 50% des emplacements et 50% du temps, à 10 m au-dessus du niveau du sol.

P.A.R

La puissance apparente rayonnée (PAR) est une mesure théorique standardisée d'énergie des ondes radioélectriques émises par une antenne exprimée en décibels. Elle résulte de la différence entre les gains et les pertes d'un système de transmission.

BER ⁽¹⁰⁾

Calcul du nombre de bits erronés par rapport au nombre de bits transmis. Le BER traduit la dégradation des informations numériques transmises.

Illustration des valeurs minimales de la puissance surfacique médiane et du champ médian pour la radiodiffusion télévisuelle numérique de Terre (DVB-T)



Fréquence	f (MHz)	500				
Rapport C/N minimal nécessaire pour le système	(dB)	2	8	14	20	26
Puissance minimale du signal à l'entrée du récepteur	$P_{s\ min}$ (dBW)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Tension équivalente minimale à l'entrée du récepteur, 75 Ω	$U_{s\ min}$ (dB(μ V))	12,6	18,6	24,6	30,4	36,6
Affaiblissement dans la ligne d'alimentation	L_f (dB)	3				
Gain de l'antenne par rapport à un doublet demi-onde	G_D (dB)	10				
Ouverture d'antenne équivalente	A_a (dBm ²)	-3,3				
Puissance surfacique minimale à l'emplacement du récepteur	ϕ_{min} (dB(W/m ²))	-119,9	-113,9	-107,9	-101,9	-95,9
Champ minimal à l'emplacement du récepteur	E_{min} (dB(μ V/m))	26	32	38	44	50
Marge pour le bruit artificiel	P_{mmn} (dB)	0				

Probabilité de couverture des emplacements: 70%

Facteur de correction pour les emplacements	C_l (dB)	3				
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	ϕ_{med} (dB(W/m ²))	-117	-111	-105	-99	-93
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	E_{med} (dB(μ V/m))	29	35	41	47	53

Probabilité de couverture des emplacements: 95%

Facteur de correction pour les emplacements	C_l (dB)	9				
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	ϕ_{med} (dB(W/m ²))	-111	-105	-99	-93	-87
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	E_{med} (dB(μ V/m))	35	41	47	53	59

Tableau A-1: Valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ dans la Bande IV pour une probabilité de couverture des emplacements de 70% et 95%, réception fixe
Condition de réception: fixe, Bande IV

Fréquence	f (MHz)	500				
Rapport C/N minimal nécessaire pour le système	(dB)	2	8	14	20	26
Puissance minimale du signal à l'entrée du récepteur	$P_{s\ min}$ (dBW)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Tension équivalente minimale à l'entrée du récepteur, 75 Ω	$U_{s\ min}$ (dB(μ V))	12,6	18,6	24,6	30,4	36,6



Gain de l'antenne par rapport à un doublet demi-onde	G_D (dB)	0				
Ouverture d'antenne équivalente	A_a (dBm ²)	-13,3				
Puissance surfacique minimale à l'emplacement du récepteur	ϕ_{min} (dB(W/m ²))	-112,9	-106,9	-100,9	-94,9	-88,9
Champ minimal à l'emplacement du récepteur	E_{min} (dB(μ V/m))	33	39	45	51	57
Marge pour le bruit artificiel	P_{mmn} (dB)	0				
Affaiblissement dû à la hauteur	L_h (dB)	16				

Probabilité de couverture des emplacements: 70%

Facteur de correction pour les emplacements	C_l (dB)	3				
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	ϕ_{med} (dB(W/m ²))	-94	-88	-82	-76	-70
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	E_{med} (dB(μ V/m))	52	58	64	70	76

Probabilité de couverture des emplacements: 95%

Facteur de correction pour les emplacements	C_l (dB)	9				
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	ϕ_{med} (dB(W/m ²))	-88	-82	-76	-70	-64
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	E_{med} (dB(μ V/m))	58	64	70	76	82

Tableau A-2: Valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ dans la Bande IV pour une probabilité de couverture des emplacements de 70% et 95%, réception portable en extérieur
Condition de réception: portable en extérieur (classe A), Bande IV

Fréquence	f (MHz)	500				
Rapport C/N minimal nécessaire pour le système	(dB)	2	8	14	20	26
Puissance minimale du signal à l'entrée du récepteur	$P_{s min}$ (dBW)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2
Tension équivalente minimale à l'entrée du récepteur 75 Ω	$U_{s min}$ (dB(μ V))	12,6	18,6	24,6	30,4	36,6
Gain de l'antenne par rapport à un doublet demi-onde	G_D (dB)	0				
Ouverture d'antenne équivalente	A_a (dBm ²)	-13,3				
Puissance surfacique minimale à l'emplacement du récepteur	ϕ_{min} (dB(W/m ²))	-112,9	-106,9	-100,9	-94,9	-88,9
Champ minimal à l'emplacement du récepteur	E_{min} (dB(μ V/m))	33	39	45	51	57
Marge pour le bruit artificiel	P_{mmn} (dB)	0				



Affaiblissement dû à la hauteur	L_h (dB)	16				
Affaiblissement dû à la pénétration dans les bâtiments	L_b (dB)	8				

Probabilité de couverture des emplacements: 70%

Facteur de correction pour les emplacements	C_l (dB)	4				
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	ϕ_{med} (dB(W/m ²))	-85	-78	-73	-67	-61
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	E_{med} (dB(μ V/m))	61	67	73	79	85

Probabilité de couverture des emplacements: 95%

Facteur de correction pour les emplacements	C_l (dB)	13				
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	ϕ_{med} (dB(W/m ²))	-76	-70	-64	-58	-52
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	E_{med} (dB(μ V/m))	70	76	82	88	94

Tableau A-3: Valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ dans la Bande IV pour une probabilité de couverture des emplacements de 70% et 95%, réception portable en intérieur, rez-de-chaussée

Condition de réception: portable en intérieur, rez-de- chaussée

NOTE 1 – Les valeurs minimales du champ médian à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements devraient être:

- Inférieures de 6 dB aux valeurs indiquées si la réception doit se faire dans des salles au premier étage;
- Inférieures de 12 dB aux valeurs indiquées si la réception doit se faire dans des salles situées plus haut que le premier étage.

Fréquence	f (MHz)	500					
Rapport C/N minimal représentatif	(dB)	2	8	14	20	26	32
Puissance minimale du signal à l'entrée du récepteur	$P_{s\ min}$ (dBW)	-126,2	-120,2	-114,2	-108,2	-102,2	-96,2
Tension équivalente minimale à l'entrée du récepteur 75 Ω	$U_{s\ min}$ (dB μ V)	12,6	18,6	24,6	30,4	36,6	42,6
Gain de l'antenne par rapport à un doublet demi-onde	G_D (dB)	0					
Ouverture d'antenne équivalente	A_a (dBm ²)	-13,3					
Puissance surfacique minimale à l'emplacement du récepteur	ϕ_{min} (dB(W/m ²))	-112,9	-106,9	-100,9	-94,9	-88,9	-82,9
Champ minimal à l'emplacement du récepteur	E_{min} (dB(μ V/m))	33	39	45	51	57	63



Marge pour le bruit artificiel	P_{mmn} (dB)	0					
Affaiblissement dû à la hauteur	L_h (dB)	16					

Probabilité de couverture des emplacements: 70%

Facteur de correction pour les emplacements	C_l (dB)	3					
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	Φ_{med} (dB(W/m ²))	-94	-88	-82	-76	-70	-64
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	E_{med} (dB(μ V/m))	52	58	64	70	76	82

Probabilité de couverture des emplacements: 95%

Facteur de correction pour les emplacements	C_l (dB)	9					
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	Φ_{med} (dB(W/m ²))	-88	-82	-76	-70	-64	-58
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	E_{med} (dB(μ V/m))	58	64	70	76	82	88

Probabilité de couverture des emplacements: 99%

Facteur de correction pour les emplacements	C_l (dB)	13					
Puissance surfacique médiane minimale à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	Φ_{med} (dB(W/m ²))	-84	-78	-72	-66	-60	-54
Champ médian minimal à 10 m au-dessus du sol pour 50% du temps et 50% des emplacements	E_{med} (dB(μ V/m))	62	68	74	80	86	92

Tableau A-4: Valeurs médianes minimales de la puissance surfacique et du champ pour des probabilités de couverture des emplacements de 70%, 95% et 99%
Condition de réception: mobile, Bande IV