

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU

Faculté de génie électrique et informatique

Département d'électronique



Mémoire

De fin d'études

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR D'ÉTAT EN
ÉLECTRONIQUE**

OPTION : COMMUNICATION

Thème

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DES
SYSTEMES ULB SUR FIBRE OPTIQUE**

Présenté par :

M^{elle} MAY MOUSSA Hadiza

M^r LUNTADILA BUYIKA Serge

Dirigé par :

M^r AIT BACHIR

Promotion 2010-2011

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier le Dieu Tout Puissant, sans qui rien de tout cela n'aurait été possible.

Nos remerciements vont à l'égard de notre encadreur Mr AIT Bachir, qui, malgré la contrainte du temps, a su nous conseiller et nous diriger.

Nous remercions aussi le président et membres du jury qui nous feront l'honneur d'évaluer notre travail, ainsi qu'à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

DEDICACES

J'ai le plaisir de dédier ce travail à tous ce qui m'ont soutenu, particulièrement :

- ✚ Mes parents pour leur patience, leur soutien, et leur amour inconditionnels, puisse le Bon Dieu vous récompenser**
- ✚ Mes sœurs Fadji, Mariam, Safia et mes frères Abba, Mamadou, pour leurs conseils et leur amour**
- ✚ Mes amies et sœurs Kouina, Grehma Zeinam, pour vos prières et vos conseils**
- ✚ Mes « sœurs » Titi, Jami, Fourei, Digé, pour votre patience et votre aide infinie**
- ✚ Mes grand-parents, tantes, oncles, cousins et cousines, spécialement à mon oncle Mamadou Ousseini, et mes tantes Halima, Ya Kori, Safia je n'oublierai jamais votre soutien**
- ✚ A la memoire de ma meilleure amie et sœur Rahmatou Weira pour tout ce que tu as apporté à ma vie, paix à son âme.**
- ✚ Tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre ont contribué à la réalisation de ce mémoire**

A VOUS TOUS JE DIS MERCI,

**PUISSE LE BON DIEU DANS SON INFINIE
GRANDEUR, VOUS BENIR**

M^{elle} May moussa Hadiza



Dédicaces

J'ai le plaisir de dédier ce modeste travail :

A la mémoire de mes parents pour leur amour, que le bon Dieu les accueille dans son vaste paradis.

A mes sœurs et mes frères que j'aime bien pour leur soutien et leur amour.

A ma fiancée NAOMIE YAYA NADJO que j'aime tant pour son amour et encouragement

A mes frères et sœurs en Christ pour votre amour et soutien.

Que le bon Dieu vous bénisse d'avantage.

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : système de transmission radio sur fibre	
I.1.Les technologies Radio-sur-Fibre.....	3
I.1. Définition.....	3
I.1.2.Avantages.....	3
I.1.3.Limitation des systèmes RoF.....	5
I.1.4.Applications de la Technologie Radio-sur-Fibre.....	5
I.2.Systèmes de transport des signaux RF, bande de base.....	7
I.2.1.Transport de fréquence RF sur fibre.....	8
I.2.2.Transport du signal en bande de base.....	8
I.3.Les techniques de génération des signaux RF sur la fibre optique.....	9
I.3.1.Modulation d'intensité avec une détection directe (IM-DD).....	9
I.3.2.Génération du signal RF par détection hétérodyne.....	11
I.4. Lien de transmission optique.....	12
I.4.1.Fibre optique.....	12
I.4.2.La modulation optique.....	14
I.4.3. Amplificateur optique.....	15
1.4.4. Emetteurs optiques.....	16
Chapitre II : la technologie ultra large bande	

II.1.Introduction.....	
II.1.1.Définition d'un signal ULB.....	17
II.1.2.Historique et généralités sur les systèmes ULB.....	17
II.1.3.Domainses d'application des systèmes ULB.....	18
II.2. Réglementation des communications ULB.....	19
II.2.1.Réglementation aux Etats-Unis.....	21
II.2.2.Réglementation en Europe.....	22
II.2.3.Réglementation en Asie.....	23
II.3.Contraintes de puissance sur les systèmes ULB.....	24
II.4. Les différents types de modulation ULB.....	24
II.4.1.Système de modulation Multi-Bande OOK (MB-OOK).....	26
II.4.1.1 Modulation OOK classique.....	28
II.4.1.2. Principes de la modulation OOK proposée par Mitsubishi ITE.....	28
II.4.2.Le système de modulation Multi-Bande OFDM (MB-OFDM).....	29
II.4.2.1.Historique et introduction.....	30
II.4.2.2.Transmission multi-porteuses.....	30
II.4.2.3.Principe des transmissions multi-porteuses OFDM.....	32
II.4.2.4 Système MB-OFDM.....	33
II.5.Canal de propagation.....	33

II.5.1.Définition des canaux.....	36
II.5.2.Les différents supports de transmission.....	36
II.6. Technologie ultra large bande sur fibre.....	38
II.6.1 Architecture radio sur fibres RoF.....	38
II.6.1.1 Architecture point-à-point.....	38
II.6.1.2 Architecture point-à-multipoints.....	39
II.6.2.Description d'une liaison optique ULB.....	39
II.6.3.Etat de l'art et intérêt de la distribution et du traitement du signal ULB par voie optique.....	41
Chapitre III : Implémentation d'une liaison optique sur logiciel	43
III.1-les simulateurs.....	
III.1.1.Simulateur système COMSIS.....	45
III.1.1.1.Présentation du logiciel.....	45
III.1.1.2.La simulation.....	45
III.1.1.3. Les résultats de simulation.....	47
III.1.1.3.1. Les différentes analyses.....	48
III.1.1.3.2. La visualisation et le traitement des résultats.....	48
III.1.2 Simulateur système Optiwave.....	50
III.2.Simulation.....	53
III.2.1. Paramètres des modèles.....	

III.2.2. Simulation I : Liaison optique à haut débit à 2.5 GHz et 40 GHz sans compensation.....	60
III.2.3. Simulation II : Liaison optique à haut débit à 2.5 GHz et 40 GHz avec compensation.....	68
Conclusion.....	69
Conclusion générale.....	69
Bibliographie	71
	72

LISTE DE FIGURES :

Figure I.1 système RoF utilisant un transport de signal RoF

Figure I.2 : les techniques de modulations directe(a) et externe(b) du signal optique

Figure I.3:modèle d'un lien de transmission optique

Figure II.1 : DSP pour un système ULB et un système à bande étroite.

Figure II.2 : Positionnement des systèmes ULB par rapport aux systèmes existants en terme de débit et de mobilité (a), en terme de débit et de portée (b).

Figure II.3 : Panorama des systèmes existants autour de la bande ULB.

Figure II.4: Schéma synoptique d'un analyseur de spectre pour la mesure des puissances moyennes et pics des signaux ULB.

Figure II.5 : Transposition de la DSP maximale autour de la fréquence porteuse f

Figure II.6 : Exemple d'impulsions gaussiennes dans le domaine temporel (a) et fréquentiel (b).

Figure II.7: Modulation OOK et spectre fréquentiel associé

Figure II.8 : Schéma synoptique d'une chaîne d'émission/réception OFDM

Figure II.9: Découpage fréquentiel de la bande ULB comprise entre 3,1 et 10,6 GHz en 14 SB regroupées en 5 groupes de bandes.

Figure II.10 : Transmission d'une onde électromagnétique dans un canal

Figure II.11 : Schéma du tunnel optique pour les communications RoF dans une liaison point-à-point.

Figure II.12 : Schéma d'un réseau hybride radio-optique avec liens point-à-multipoints RoF basé sur un coupleur 1 vers N.

Figure II.13 : Schéma d'un lien radio sur fibre basé sur un coupleur N vers N. réseau hybride radio-filaire avec liens multipoints à multipoint

Figure II.14 : Chaîne de transmission ULB sur fibre avec une transmission directe (laser DFB directement modulé).

Figure II.15 : Chaîne de transmission ULB sur fibre avec une modulation externe (modulateur MZM).

Figure III.1 schéma bloc

Figure III- 2 : La bibliothèque de modèles de COMSIS

Figure III- 3 : Le menu d'analyse de COMSIS.

Figure III- 4 : L'écran de visualisation des résultats de COMSIS.

Figure III- 5 : Fenêtre d'évaluation des performances.

Figure III.6 : Interface graphique d'utilisateur d'optisystem

Figure III. 7: Fenêtre du navigateur de projet.

Figure III.8 : Fenêtre de la bibliothèque des composants

Figure III.10 : Fenêtre de description

Figure III. 11: Bar de status

Figure III.12 : L'addition d'un laser CW sur le tracé du projet

Figure III.13 : Addition d'un composant sur le tracé du projet

Figure III.14: Curseur

Figure III.15 : Connexion des composants

Figure III.16 : Visualisation des composants

Figure III.17. Schéma bloc de la liaison de simulation sans compensation

Figure III.18 : Schéma bloc de la liaison de simulation avec compensation

Résultats de simulation

Figure III.19 : les différentes technologies supportées par RoF

LISTE DES TABLAUX

Tableau II.1 : Allocation fréquentielle des groupes de bandes.

Tableau II.2 : Relation entre les distances d'émission et la fréquence centrale de

ACRONYMES

ULB : Ultra Large Bande (Ultra Wide Band en Anglais UWB)

DSP : Densité spectrale de Puissance

MB-OFDM: Multibande Orthogonal Frequency Division Multiplexing

MB-OOK: Multibande On-Off Keying

RF: Radio Fréquence

RoF: Radio over Fiber

CS: Central Station

RAUs: Remote Antenna Units.

BSs: Base Stations

FI: Fréquence intermédiaire (IF en Anglais)

GHz : Gigahertz

THz : Téra hertz

SC : Station centrale

NF : Noise factor

DR : Marge dynamique

RIN : Relative Intensity Noise

SMF : Single Mode Fiber

MMF : Multi Mode Fiber

MVDS : Services Vidéo par Distribution Multipoints

TV : Télévision

MBS : Service Mobile Large bande

B-ISDN : Services Fixes à Large bande

MZM : Mach-Zehnder Modulator

EAM: Electro-Absorption Modulator

IM-DD: Intensity Modulation-Direct Detection

WLAN: Wireless Local Area Network.

RHD: Détection Hétérodyne

OFLL: Optical Frequency-Locked Loop (OIFLL)

OPLL: Optical Phase

OIL: Optical Injection Locking

OIPLL: Injection Optical Phase-Locked

CNR: Rapport Signal sur Bruit.

BER : Taux d'Erreur Binaire.

LED : Light Electroluminescente Diode

dB : Décibel.

L : Longueur

P(L) : Puissance Optique d'un Signal lumineux se propageant sur une distance L (km).

AM: Amplitude Modulation

FM: Frequency Modulation

PM: Phase Modulation

PON: Passive Optical Networks

ASE: Amplification Spontanée

f_c : Fréquence Centrale du signal transmis.

f_H : Fréquence de Coupure Supérieure à -3 dB de la Bande Passante.

f_L : Fréquence de Coupure Inférieure à -3 dB de la Bande Passante.

LBR : Largeur de Bande Relative

FB : Fractional Bandwidth

BP : Bande Passante.

DoD : Departement of Defence

IR: Impulse Radio

PIRE : Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente.

MHz : Mégahertz

GPR : Ground Penetrating Radar

PAN: Personal Area Network

DVD: Digital Versatile Disc

WPAN: Wireless Personal Area Network.

Wimax: World Wide Inter-operability for Microwave

NTIA: National Telecommunications and Information Administration.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute

CEPT: Conférence Européenne des administrations des postes et Télécommunications

ERO : European Radio communication Office.

LDC : Low Duty Cycle

DAA: Detect And Avoid

UFZ: ULB Friendly Zone

ICTSC: Information and Communication Technology Sub Council.

MIC: Ministry of Internal affairs and Communications

RBW: Resolution Band Width

VBW: Video Band Width

RMS: Root Mean Square

PPM: Pulse Position Modulation

PAM: Pulse Amplitude Modulation

OPM: Orthogonal Pulse Modulation

DS-UWB: Direct Sequence Ultra Wide Band

IR-UWB: Impulse Radio Ultra Wide Band

MU: Multi Utilisateurs

SB: Sous Bande

ADSL: Asymmetric subscriber Line

TNT: Télévision Numérique Terrestre.

Wifi: Wireless fidelity.

FFT : Fast Fourier Transform

TFD: Transformée de Fourier Discrète

DMT: Discrete Multi Tone

DAB: Digital Audio Broadcasting

DSL: Digital subscriber Line

HIPERLAN2: High Performance Radio Local Area Network

MIMO: Multiple Input Multiple Output.

PAPR: Peak-to- Average Power Ratio.

FH: Frequency Hopping

TFC: Time Frequency Code

UE: Union Européenne

CIR: Canal Impulse Response

TIA: Trans-Impedance Amplifier

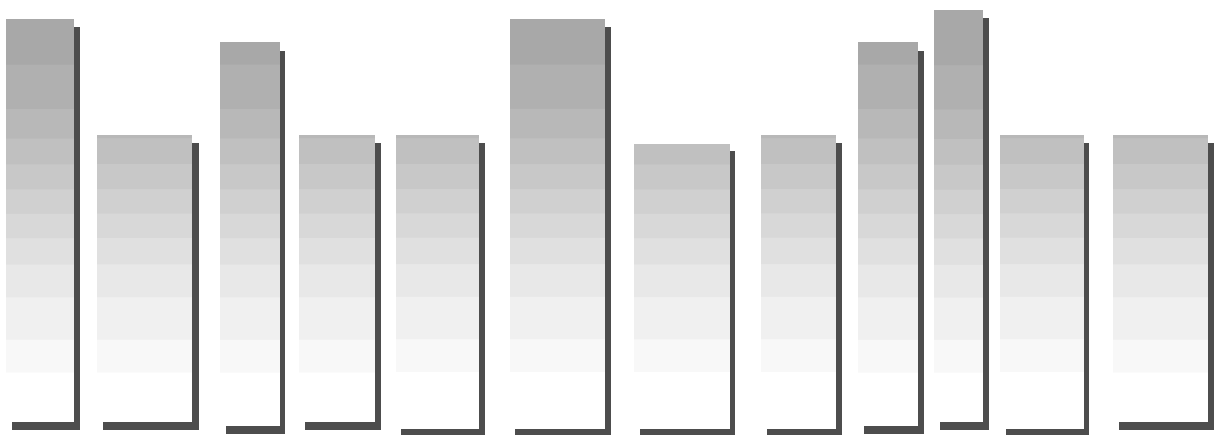
MROF : Multiplexage par Répartition Orthogonale de Fréquence

PD : Photodétecteur

COMSIS : Communication System Interactive Software

IPSIS : Ingénierie Pour Signaux et Systèmes

TEB : Taux d'Erreur Binaire



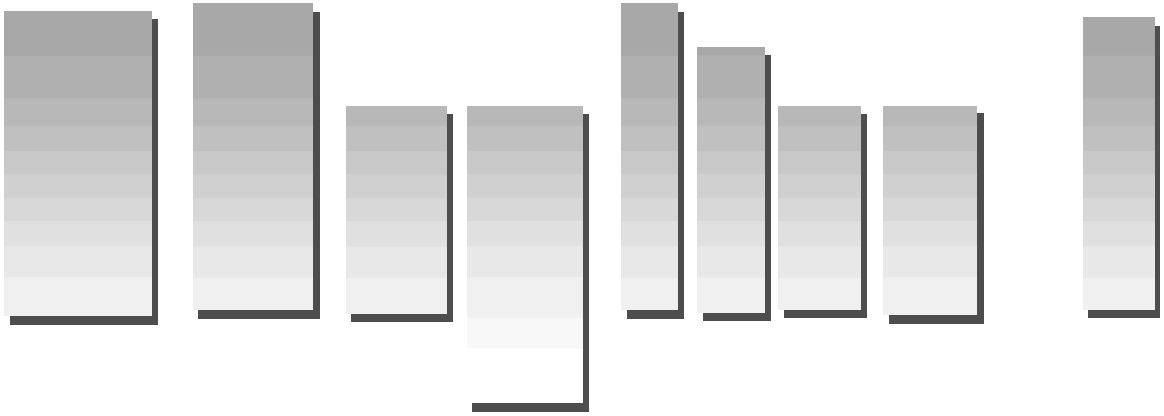
Introduction

Face à la demande permanente pour le « tout sans fil », le monde des radiocommunications doit répondre continuellement à l'attente des consommateurs en augmentant sans cesse les débits de transmission. Parmi les récentes innovations dans ce domaine, la communauté scientifique s'intéresse particulièrement à l'ultra large bande (ULB) ou *ultra wide band* (UWB) en anglais.

Connus depuis le début du 20ème siècle, les signaux large bande ont été pendant longtemps dédiés aux applications militaires radar. Ce fut le cas notamment à cause de nombreuses difficultés de conception et d'implantation dues à des technologies et un savoir faire encore immature et onéreux. Ce n'est que dans les années 1980, alors que les technologies devinrent plus performantes et propices à leur emploi, qu'un regain d'intérêt revint auprès des industriels. L'importance de l'étalement fréquentiel confère en effet aux systèmes larges bandes et d'autant plus pour les systèmes ultra large bande, des caractéristiques uniques. Nous pouvons ainsi citer à titre d'exemple, un fort pouvoir de résolution ou encore la robustesse aux perturbations du canal radio. Ces caractéristiques sont idéales pour les systèmes de localisation ou de communication radio à haut débit et à courte portée.

Il faut attendre l'année 2002 et le coup d'envoi des autorités de régulation américaines pour obtenir l'autorisation d'émettre dans une bande fréquentielle de largeur 7,5 GHz. Comprise entre 3,1 et 10,6 GHz, la Densité Spectrale de Puissance (DSP) du signal est extrêmement faible et inférieure à -41,3 dBm/MHz. Depuis cette date, de grandes divergences sont apparues suivant les différentes autorités de régulation, notamment en ce qui concerne la définition des plages de fréquence. De plus, nous assistons à l'émergence de nouvelles applications dans la bande de fréquence aux alentours des 60 GHz encore libre d'utilisation. Au cours du processus de sélection pour la standardisation des signaux ULB, deux grandes familles de formes d'ondes sont entrées en concurrence. Nous pouvons citer d'une part, des signaux de type impulsif (DS-SS) précurseurs à l'ULB et, d'autre part, les signaux multi-porteurs (MB-OFDM, MB-SS). L'ensemble de ces spécificités fait, qu'aujourd'hui, les acteurs du marché de la transmission d'informations se focalisent d'avantage sur des systèmes modulables (systèmes multi-bandes) susceptibles de s'adapter rapidement aux lois du marché mais également au milieu de l'exportation. Ainsi, à la fin de l'année 2005 les systèmes MB OFDM sortent fort d'une normalisation par l'ECMA.

Nous pouvons ainsi citer la conception de réseaux de communication, l'augmentation considérable des distances de transmission et la transposition fréquentielle pour les futures applications à 60 GHz. Les très faibles puissances d'émission et distances de communication ont conduit à de nouvelles approches de transmission telles que la radio sur fibre. Cette technique lie le domaine de la radiofréquence à celui de l'optique et ouvre la voie à de grandes potentialités, tout en gardant à l'esprit l'aspect faible coût de conception. Ainsi, les réseaux de distributions à fibres optiques déjà installés, apparaissent comme une solution attrayante pour le transport des signaux radio. Elle consiste à transporter, sur fibres optiques, des ondes porteuses RF. L'objectif est de combiner dans un seul réseau les atouts de la fibre optique : le haut débit et la faible atténuation, et celui des systèmes sans fils : la mobilité.



I.1. Les technologies Radio-sur-Fibre

I.1.1. Introduction :

A l'heure actuelle les services de télécommunication accessible aux usagers notamment les services multimédias comme l'internet très haut débit, la visiophonie et la TV haute définition, connaissent une évolution rapide. Ces services nécessitent des débits de l'ordre du Gbit/s. Et donc face à cette demande permanente pour le « tout sans fil », le monde des radiocommunications doit répondre continuellement à l'attente des consommateurs en augmentant sans cesse les débits de transmission.

Réservée il y a encore une vingtaine d'années aux radars, aux communications militaires, la technologie Ultra Large Bande a évolué de façon plus qu'importante au cours de ces dernières années.

Un des tournants dans cette évolution s'est produit en février 2002 lorsque la Fédéral Communications Commission (FCC) a mis en place une réglementation autorisant l'utilisation de la technologie UWB pour les télécommunications grand public aux Etats-Unis. En attribuant une bande de fréquence continue de 7.5 GHz, non soumise à licence, la FCC a potentiellement ouvert la porte du très haut débit, au-delà du Gbps.

Comme toute nouvelle technologie, les technologies ultra large bande offrent une approche résolument nouvelle et différente de toutes celles connues jusqu'alors. Elles nécessitent un travail considérable pour repenser entièrement les systèmes d'émission et de réception actuels qui ne présentent pas les performances requises nécessaires et suffisantes.

Au travers de ce chapitre, nous nous proposons de revenir sur l'historique de l'ULB et sur les atouts majeurs de cette technologie pour le domaine des télécommunications.

I.1.2. Définition

Le terme « Radio-sur-Fibre » (RoF) fait référence à des techniques de génération et/ou de transmission de signaux radiofréquences (RF) par voie optique. La technique de transmission RoF est basée principalement sur la modulation d'une porteuse optique par au moins un signal RF portant lui-même des données à transmettre. Ainsi, les technologies Radio-sur-Fibre s'appuient sur des technologies de transmission par fibre optique pour distribuer des signaux RF entre une station centrale (CS ou headend) et des modules d'antennes distribués (Remote Antenna Units : RAUs ou Base Stations : BSs). Dans les

systèmes de communication à bande étroite et les réseaux locaux sans fil, les fonctions de traitement de signaux RF, telles que la modulation et le multiplexage, sont exécutés au niveau du BS et immédiatement intégrées dans le module d'antenne. La technologie RoF rend possible la centralisation des fonctions de traitement du signal RF dans un emplacement partagé en utilisant la fibre optique afin de distribuer les signaux RF comme le montre la figure 2. Ainsi, les BS sont considérablement simplifiées comme elles ne doivent effectuer que la conversion optoélectronique et les fonctions d'amplification. La centralisation des fonctions de traitement du signal RF permet le partage d'équipement, l'allocation dynamique des ressources et la simplification du système d'exploitation et de maintenance

I.1.3. Avantages

La technologie RoF présente les avantages suivants :

- ***faible atténuation*** : La distribution des signaux radiofréquences sous forme électrique, en espace libre ou par le biais de lignes de transport est coûteuse et peut être fortement limitée en termes de portée. En effet, les pertes de propagation en espace libre sont d'autant plus importantes que la fréquence de la porteuse radio est élevée. Dans les lignes de transmission, l'impédance augmente avec la fréquence impliquant des pertes d'autant plus importantes que la fréquence est élevée. Par conséquent, la distribution des signaux radio à haute fréquence sous forme électrique sur des longues distances nécessite des équipements de régénération coûteux. Une solution à ce problème consiste à distribuer optiquement les signaux en bande de base ou à des fréquences intermédiaires (FI) du CS vers la BS. Toutefois, étant donné que la fibre optique offre une très faible perte, la technologie RoF peut être utilisée pour obtenir à la fois une distribution de signaux sur de longues distances.

- ***Large bande passante*** : Les fibres optiques offrent énormément de bande passante.

Il existe trois principales fenêtres de transmission qui offrent peu d'atténuation, à savoir 850 nm, 1310 nm et 1550 nm. Pour une seule fibre optique monomode, la largeur de bande combinée de ces trois fenêtres excède 50 THz. L'énorme bande passante offerte par les fibres optiques a d'autres avantages en dehors de la grande capacité de transmission des signaux micro-ondes. La grande bande passante permet une haute vitesse de traitement du signal ce qui est plus difficile, voire impossible, de faire en électronique. Certaines fonctions nécessaires au traitement des signaux RF telles que le filtrage, le mélange pour la conversion de fréquence peuvent être mises en œuvre dans le domaine optique. L'utilisation de l'énorme

bande passante offerte par les fibres optiques est gravement entravée par la limitation de la largeur de bande des systèmes électroniques, qui sont les principales sources et récepteurs de transmission de données.

- **Immunité aux interférences des ondes RF** : L'immunité aux interférences électromagnétiques est un avantage qu'offrent les fibres optiques, en particulier vis-à-vis des micro-ondes. Il en est ainsi parce que les signaux sont transmis sous forme lumineuse à travers la fibre optique. En raison de cette immunité, les fibres sont préférables aux câbles électriques, même pour de courtes connexions.

- **Facilité d'installation et d'entretien** : Selon la technologie RoF, les dispositifs complexes et coûteux sont maintenus au niveau du SC permettant de simplifier au maximum l'architecture des BS. Dans les cas les plus simples, la BS comprend juste un photo-détecteur, un amplificateur RF et une antenne. Les équipements de modulation et de commutation sont conservés au niveau du SC de manière à être avantageusement partagés par plusieurs BS. Ce dispositif conduit à des plus petits et plus légers BS, réduisant effectivement le coût d'installation et d'entretien du système.

- **Réduction de la consommation d'énergie** : La réduction de la consommation d'énergie est une conséquence de la simplification des BS avec des équipements réduits rendue possible par la centralisation des fonctions complexes.

La réduction de la consommation d'énergie au niveau des BS est particulièrement avantageuse dans la mesure où celles-ci doivent être parfois placées dans des endroits reculés et ne peuvent pas être alimentées par le réseau électrique (recours à l'utilisation de sources d'énergies renouvelable telles que les cellules photovoltaïques).

- **multi-opérateurs et multiservices** : La technologie RoF offre une souplesse opérationnelle. En fonction de la technique de génération des signaux RF, la distribution des signaux peut être faite d'une manière transparente en allouant par exemple des longueurs d'ondes à chaque technologie ou à chaque opérateur.

Ainsi, le système RoF peut être partagé entre plusieurs opérateurs pour distribuer une pluralité de services. Cette utilisation « multi-opérateurs » et « multiservices » permettant à chaque opérateur de disposer d'un nombre de longueurs d'ondes, entraîne d'énormes économies.

- **Allocation Dynamiques des Ressources** : Puisque la commutation, modulation et autres fonctions sont effectuées au niveau du CS, il est possible d'allouer dynamiquement les ressources aux différentes stations de base. Par exemple, dans un système RoF de distribution de trafic GSM, une capacité accrue peut être ponctuellement attribuée à une zone (par exemple, centre commercial) pendant les heures de pointe, puis réaffectée à d'autres zones

(par exemple à des zones peuplées dans la soirée). Cet objectif peut être atteint par une allocation de longueurs d'onde optiques par multiplexage en longueurs d'ondes (WDM).

L'allocation dynamique des ressources est utilisée pour éviter l'attribution d'une capacité permanente, qui serait un gaspillage de ressources (longueurs d'ondes).

I.1.4. Limitation des systèmes RoF

Etant donné que le système RoF utilise une modulation analogique, il est fondamentalement considéré comme un système de transmission analogique. Par conséquent, les imperfections du système telles que le bruit et les distorsions dues à des non-linéarités propres à la transmission analogique doivent être considérées pour le système RoF. Ces handicaps ont tendance à limiter le facteur de bruit (NF) et la marge dynamique (DR) des liens RoF.

Les sources de bruit considérées dans les liens optiques en mode analogique sont le bruit relatif d'intensité (RIN) du laser, le bruit de grenaille de la photodiode, le bruit thermique de l'amplificateur et la dispersion de la fibre. La dispersion chromatique limite la longueur des liens à base de fibre monomode (SMF), tandis que pour une fibre Multimode (MMF), la principale limitation est due à la dispersion multi-modes.

I.1.5. Applications de la Technologie Radio-sur-Fibre

Les applications de la technologie RoF sont multiples et comprennent notamment les communications par satellite, communications radio-mobiles, les Services Vidéo par distribution multipoint (MVDS), mobile haut débit, les communications routières, et les réseaux locaux sans fil reliés aux réseaux optiques. Les principaux domaines d'application sont brièvement discutés ci-dessous :

- ***Réseaux cellulaires*** : Les réseaux mobiles représentent un domaine d'application important de la technologie RoF. Le nombre toujours croissant d'abonnés mobiles et l'augmentation de la demande des services à large bande passante ont maintenu une pression soutenue sur les réseaux mobiles pour offrir une plus grande capacité. Par conséquent, le trafic mobile (GSM ou UMTS) peut être efficacement acheminé entre la station de contrôle et la station de base en exploitant les avantages de la fibre optique.

- ***Communications par satellite*** : Les communications par satellite constituent une première application de la technologie RoF pour le déport d'antennes sur des sites adaptés.

Dans ce cas, des liens optiques de courte distance (inférieure à 1 km) fonctionnant à des fréquences comprises entre 1 GHz et 15 GHz sont utilisés. Ainsi, les équipements à haute fréquence peuvent être centralisés.

Une seconde application dans le domaine satellitaire concerne la commande à distance des stations terrestres dont les antennes doivent être en dehors d'une zone de contrôle. Grâce à la technologie RoF, les antennes peuvent être situées à plusieurs kilomètres de distance par rapport à la zone de contrôle, dans le but par exemple d'améliorer la visibilité du satellite ou réduire des interférences avec d'autres systèmes terrestres. Les équipements de commutation peuvent également être placés de façon appropriée pour des raisons concernant le coût des locaux, sans avoir besoin d'être à proximité de la station des antennes.

- ***Système de distribution vidéo*** : L'un des principaux domaines d'application prometteurs de la technologie RoF concerne les systèmes de distribution vidéo, tels que les Services de distribution vidéo multipoint (MVDS). MVDS est un système cellulaire de transmission terrestre pour la vidéo (TV). Il a été initialement conçu pour faire uniquement de la diffusion sur un lien descendant, mais récemment, un canal de retour (lien montant) a été intégré afin de rendre le service interactif. MVDS peut être utilisé pour servir des zones de la taille d'une petite ville. Les fréquences attribuées à ce service appartiennent à une bande spectrale centrée autour de 40 GHz. A ces fréquences, la taille maximale des cellules est d'environ 5 km. Pour étendre la couverture, des stations relais sont nécessaires, d'où le recours à la technologie RoF.

- ***Services mobiles à haut débit*** : Le service mobile large bande (MBS) est destiné à étendre les services fixes à large bande (B-ISDN) aux utilisateurs de téléphones portables de toutes sortes. De futurs services seront développés sur le B-ISDN et les réseaux mobiles doivent également supporter ces services sur le système MBS. Ainsi, un très haut débit de l'ordre de 155 Mbps par utilisateur doit être fourni. Par conséquent, des bandes de fréquences autour de 60 GHz ont été allouées. Une bande de 62-63 GHz est attribuée pour la liaison descendante tandis qu'une autre bande de 65-66 GHz est allouée pour la transmission en liaison montante. Les cellules ont un diamètre de plusieurs centaines de mètres (microcellules). Par conséquent, une haute densité de cellules est nécessaire pour atteindre la couverture souhaitée. Les microcellules peuvent être connectées à la station B-ISDN fixe par fibre optique. L'utilisation de la technologie RoF pour générer les ondes millimétriques permettrait de simplifier l'architecture des stations de base et donc de réduire leurs coûts (de fabrication et de maintenance), rendant ainsi le déploiement des réseaux MBS économiquement viable.

- **Réseaux locaux sans fil** : Comme les terminaux mobiles (ordinateurs, téléphones, assistants personnels numériques) deviennent de plus en plus répandus, la demande en haut débit mobile pour l'accès aux réseaux locaux sera également à la hausse. Cela entraînera une fois de plus l'utilisation de fréquences porteuses élevées dans le but de répondre à la demande de capacité. Par exemple, les réseaux locaux sans fil fonctionnent actuellement dans la bande ISM de 2,4 GHz permettant d'offrir un débit maximal de 11 Mbps (IEEE 802.11b). Les prochaines générations des réseaux locaux sans fil sont prêtes à offrir jusqu'à 54 Mbps, et exigent des fréquences porteuses plus élevées dans la bande des 5 GHz (IEEE 802.11g). Mais des fréquences porteuses supérieures conduisent à des micro-cellules ou pico-cellules, et à toutes les difficultés associées à la couverture (interférences). Un moyen pour un bon rapport coût-efficacité est de contourner ce problème et de déployer la technologie RoF.

- **Communication routière** : C'est un autre domaine d'application potentiel de la technologie RoF. Les fréquences entre 63-64 GHz et 76-77 GHz ont été déjà allouées pour ce service en Europe (donner un exemple de standard utilisant ces fréquences pour ce type d'application). Un objectif est de fournir en continu une couverture des communications mobiles sur les principaux axes routiers. En vue de répondre aux besoins de couverture du réseau routier, il est nécessaire de déployer un grand nombre de stations de base. Celles-ci peuvent être réalisées de manière simple et avec un coût faible par le biais de la technologie RoF, ce qui rend le système efficace et gérable

I.2.Systèmes de transport des signaux RF, bande de base

Les systèmes radio-sur-fibre sont généralement classés selon trois principaux types d'architecture de transport: Radio Fréquence (RF), fréquence intermédiaire (IF) et bande de base. Le choix de l'architecture détermine le matériel nécessaire au niveau de la BS et sa complexité. Un système duplex complet peut utiliser des architectures de transport différentes sur la liaison montante et sur la liaison descendante.

I.2.1.Transport de fréquence RF sur fibre

Principe : L'architecture RF-sur-fibre permet de transporter via un lien optique les signaux RF directement à la fréquence à laquelle ils sont destinés à être rayonnés en espace libre comme illustré sur la figure I.1.

Avantages : Cette approche présente l'avantage que les signaux ne subissent aucune transposition de fréquence au niveau des stations de bases qui bénéficient d'une architecture

simple nécessitant uniquement des conversions électro-optique et opto-électrique, amplification RF, et émission/réception RF.

En outre, un contrôle centralisé de traitement des signaux permet de faciliter l'évolutivité du système.

Inconvénients : Toutefois, la transmission directe des signaux RF s'avère d'autant plus difficile que la fréquence RF est élevée en raison des effets néfastes de la dispersion chromatique. Par ailleurs, dans le domaine millimétrique (30-300 GHz), les prix des composants optoélectroniques demeurent élevés. Des photodiodes à large bande passante avec un bon rendement de conversion sont nécessaires tant au niveau du CS que de chaque BS. La modulation externe est effectuée à l'aide des modulateurs ultra-rapides permettant d'atteindre des vitesses de modulation élevées (> 40 GHz) comme le modulateur Mach-Zehnder (MZM) ou le modulateur à électro-absorption (EAM).

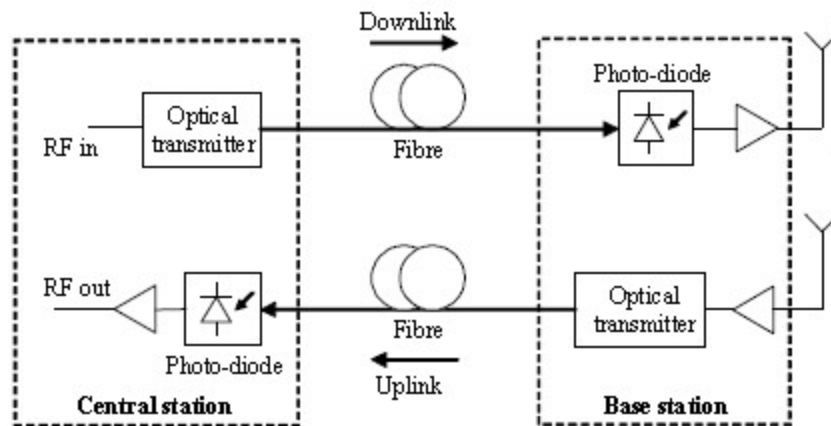


Figure I.1 Système RoF utilisant un transport de signal RF.

I.2.2. Transport du signal en bande de base

Dans cette architecture, un signal en bande de base est généré et transmis à travers la fibre optique depuis la station de contrôle jusqu'aux stations de base.

Sur le lien descendant, le signal en bande de base détecté au niveau de la station de base est transposé sur une porteuse RF (i.e. onde millimétrique) avant qu'il soit rayonné par l'antenne. Réciproquement sur le lien montant, le signal RF reçu par l'antenne doit être converti en bande de base avant d'être acheminé vers la station centrale. L'avantage de cette technique est qu'elle permet de réduire considérablement les effets de la dispersion du fait d'une transmission en bande de base, mais elle exige des équipements électro-optiques à haute fréquence coûteux (mélangeurs).

I.3. Les techniques de génération des signaux RF sur la fibre optique :

I.3.1. Modulation d'intensité avec une détection directe (IM-DD)

NB : Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons uniquement à la méthode IMDD et non pas aux systèmes cohérents qui nécessitent de fournir au photodétecteur un signal d'oscillateur local optique pour assurer la récupération du signal RF analogique modulé (moyennant un traitement post-détection).

La méthode la plus simple pour la distribution de signaux radiofréquences dite IM-DD (Intensity Modulation – Direct Detection) consiste à moduler directement l'intensité d'une porteuse optique par le signal radiofréquence lui-même et puis utiliser la détection directe par la photodiode pour récupérer le signal radiofréquence. Il existe deux façons de faire la modulation de la porteuse optique.

Une première solution dite « *modulation directe* » est de laisser le signal radiofréquence directement moduler la porteuse optique d'une source de lumière (i.e. laser), comme illustré à la figure I.2.a ci-dessous. Une deuxième solution dite « *modulation externe* » consiste à utiliser un modulateur externe (e.g. Mach-Zehnder (MZM)) pour moduler la porteuse optique issue d'une source lumineuse comme illustré à la figure I.2 b) ci-dessous. Dans les deux cas, le signal modulant l'intensité de la porteuse optique est le signal radiofréquence destiné à être distribué.

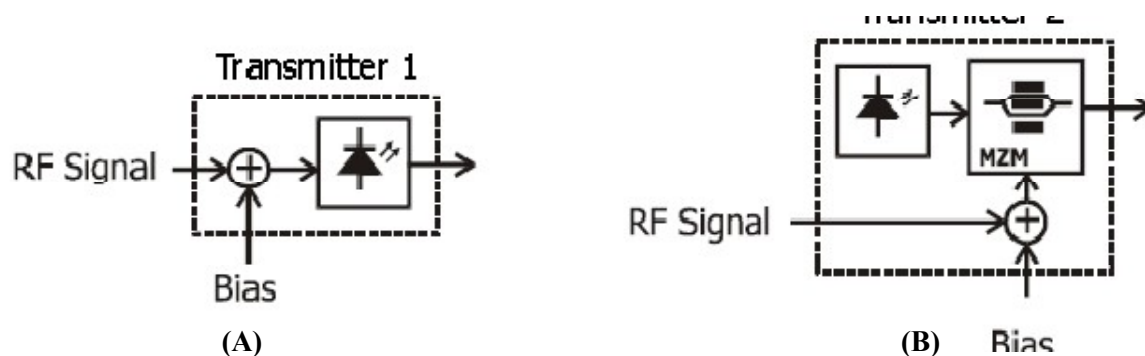


Figure I.2 : Les techniques de modulation directe (A) et externe (B) du signal optique

Le signal RF doit être correctement pré-modulé avec des données avant d'être transmis optiquement. Le photo-courant obtenu par détection directe par une photodiode subit une amplification de trans-impédance pour produire une tension qui est à son tour utilisée pour exciter l'antenne. Ainsi, si le signal RF utilisé au niveau de l'émetteur est lui-même modulé par les données numériques à transmettre, le signal RF détecté au niveau du récepteur porte les mêmes données. Le format de la modulation sera préservé.

La plupart des systèmes RoF, y compris ceux utilisant IM-DD, utilisent les fibres monomodes (SMF) pour la distribution. Toutefois, l'utilisation de la technique IM-DD pour le transport de signaux RF sur fibre multi-modes a également été démontrée pour les signaux WLAN en dessous de 6 GHz.

Premièrement, l'avantage de cette méthode est sa simplicité de mise en œuvre.

Deuxièmement, si une fibre à faible dispersion est utilisée avec un modulateur externe, le système devient linéaire. En conséquence, la liaison optique agit seulement comme un amplificateur ou un atténuateur et elle est donc transparente au format de modulation du signal RF.

Un tel système nécessite peu de mises à jour (ajout d'un autre format de modulation, codage...) Chaque fois qu'il y aura des changements dans le format de modulation du signal RF. En outre, contrairement à la modulation directe du laser, les modulateurs externes tels que les modulateurs de Mach Zehnder (MZM) peuvent moduler des ondes millimétriques de près de 100 GHz, même si cela a un coût énorme en ce qui concerne l'efficacité et les exigences de linéarisation.

Un inconvénient de la méthode IM-DD est qu'elle est difficile à utiliser pour les ondes millimétriques à haute fréquence. Il en est ainsi parce que, pour générer des signaux avec une fréquence plus élevée, le signal modulé doit avoir la même fréquence que celle du signal généré. Par une modulation directe de laser, ça sera difficile en raison de la largeur de bande limitée et les non-linéarités introduites par le laser, ce qui conduit à des termes de produits d'intermodulation provoquant des distorsions.

I.3.2. Génération du signal RF par détection hétérodyne

Pour générer un signal RF, la plupart des techniques reposent sur le principe de cohérence de mélange dans la photodiode. Ces techniques sont généralement désignées par le terme « Détection Hétérodyne (RHD) ».

La seule limite de la fréquence du signal qui peut être généré reste la bande passante de la photodiode.

Étant donné que la fréquence d'émission laser est très sensible aux variations de température, il est nécessaire d'utiliser des techniques (qui sont citées ci-dessous) pour maintenir la différence de fréquence entre les deux lasers, telles que:

- Optical Frequency-Locked Loop (OFLL) : boucle à verrouillage de fréquence optique
- Optical Phase-Locked Loop (OPLL) : boucle à verrouillage de phase optique
- Optical Injection Locking (OIL) : verrouillage par injection optique

- Injection Optical Phase-Locked Loop (OIPLL) : boucle à verrouillage de phase optique par injection.

Ces techniques ne seront pas traitées en détails car elles n'entrent pas dans l'intérêt du travail.

L'utilisation de l'hétérodynage optique permet la génération de très hautes fréquences.

En outre, cette technique conduit à un bon rapport de puissance détecté et de rapport signal sur bruit (CNR) étant donné que les deux champs optiques contribuent à la puissance RF générée.

La détection hétérodyne a un avantage par rapport à la dispersion chromatique. Si une seule des deux porteuses optiques est modulée par les données, la sensibilité du système à la dispersion chromatique peut être réduite considérablement.

Parmi les autres avantages de la RHD on peut citer le traitement photonique du signal radio tels que le contrôle de phase, le filtrage et la conversion de fréquence.

L'inconvénient majeur de la RHD est la forte influence du bruit de phase du laser et l'influence de la variation de fréquence sur la stabilité de signal RF généré, et puisque les lasers à semi-conducteurs ont de grandes largeurs spectrales, des mesures supplémentaires doivent être prises pour réduire la raie de la génération de signaux RF.

I.4. Lien de transmission optique

La liaison optique comprend une fibre optique, un émetteur (source laser), un récepteur (photo-détecteur) et éventuellement un ou plusieurs amplificateurs comme illustré schématiquement sur la figure 8 ci-dessous. Chacun de ces composants sera traité dans ce paragraphe (le récepteur et l'émetteur seront traités plus en détail dans le paragraphe 2.

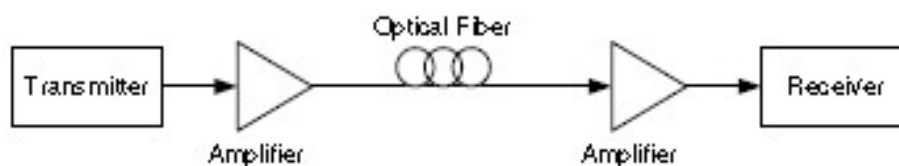


Figure I.3:Modèle d'un lien de transmission optique.

I.4.1.Fibre optique

La fibre optique est un milieu diélectrique utilisé pour le transport d'informations d'un point à un autre sous forme de lumière. Pour être plus précis, la fibre optique est

essentiellement constituée de verre mince qui agit comme un guide d'ondes. Un guide d'ondes est un dispositif permettant la propagation des ondes électromagnétiques, comme la lumière.

La fibre optique présente deux régions spectrales à faible atténuation. Dans une première région centrée à environ 1300 nm la fibre présente une atténuation inférieure à 0,5 dB/km. La bande passante totale de cette région est d'environ 25 THz. Une deuxième région centrée à 1550 nm est une région avec une atténuation faible de 0,2 dB/ km.

Ensemble, ces deux régions fournissent une borne supérieure théorique de 50 THz de bande passante. En utilisant ces grandes zones de faible atténuation pour la transmission de données, la perte de signal pour une ou plusieurs longueurs d'onde peut être très faible, réduisant ainsi le nombre d'amplificateurs. Outre son énorme bande passante et faible atténuation, la fibre offre aussi un faible taux d'erreur.

Les systèmes de communication à base de fibre optique fonctionnent habituellement à des taux d'erreur binaire (BER) inférieurs à 10^{-11}

a. Fibre multimode et fibre monomode

En optique, un mode correspond à une possibilité pour la quelle l'onde peut se propager à l'intérieur de la fibre. Il peut également être considéré comme une onde qui se propage dans le plan transversal de la fibre. Plus formellement, un mode correspond à une solution des équations de Maxwell.

Si plus d'un mode se propage dans la fibre, la fibre est appelée fibre multimodale. En général, un plus grand diamètre de fibre ou une haute fréquence de fonctionnement permet de laisser propager un plus grand nombre de modes.

Un avantage de la fibre multimodale est que son diamètre est relativement important, de sorte que l'injection de la lumière dans la fibre avec une faible perte de couplage peut être réalisée à l'aide de sources à grande surface de lumière telles que les diodes électroluminescentes (LED). Un inconvénient de ce type de fibre est le phénomène de dispersion intermodale, car chaque mode se propage à une vitesse différente en raison de différents angles d'incidence sur le cœur.

La dispersion intermodale augmente avec la distance de propagation, ce qui limite le débit du signal transmis. Ainsi, dans les réseaux RoF, les fibres multimodales ne sont pas utilisées autant que les fibres monomodes.

La fibre monomode permet de faire propager un seul mode, en général, elle a un diamètre de cœur de l'ordre de $10\mu\text{m}$, tandis que la fibre multimodale a généralement un diamètre de cœur

compris entre 50µm et 100µm. La fibre monomode élimine la dispersion intermodale et peut donc permettre la transmission sur des distances beaucoup plus longues. Cependant, elle introduit le problème de la concentration de puissance dans un cœur très petit.

b. Atténuation due à la fibre

L'atténuation du signal optique au cours de sa propagation à travers la fibre conduit à une réduction de la puissance du signal optique. Ainsi, pour déterminer la distance maximale sur laquelle peut se propager le signal, il faut tenir compte de cette atténuation. Soit $P(L)$ la puissance optique d'un signal lumineux se propageant sur une distance L (km) de l'émetteur le long d'une fibre optique présentant une atténuation A (en dB/km). La puissance optique à la distance L est déterminée selon la formule suivante :

$P(L) = 10^{-AL/10} P(0)$ où $P(0)$ est la puissance optique à la sortie de l'émetteur.

c. Dispersion dans la fibre

De manière générale, la dispersion se traduit par un élargissement de la durée d'une impulsion lors de son passage à travers la fibre. Comme l'impulsion s'élargit, elle peut s'élargir suffisamment pour interférer avec les impulsions voisines, ce qui conduit à des interférences inter-symboles.

Comme indiqué précédemment, la dispersion intermodale est une première forme de dispersion qui peut avoir lieu lorsque plusieurs modes se propagent à différentes vitesses le long de la fibre.

Une deuxième forme de dispersion est la dispersion chromatique. Elle est due au fait que l'indice de réfraction varie en fonction de la longueur d'onde. Ainsi, si le signal transmis est constitué de plusieurs longueurs d'ondes, certaines d'entre elles vont se propager plus rapidement que les autres. Étant donné qu'aucun laser ne peut créer un signal composé d'une seule longueur d'onde précise, la dispersion chromatique se produit dans la plupart des systèmes.

Une troisième forme de dispersion est la dispersion du guide d'ondes. Cette dispersion est due au fait que la propagation de différentes longueurs d'ondes dépend des caractéristiques du guide d'ondes.

I.4.2. La modulation optique

Pour transmettre des données dans une fibre optique, les informations doivent moduler le signal laser. Les techniques de modulation analogique comprennent la modulation d'amplitude (AM), la modulation de fréquence (FM), et la modulation de phase (PM). Les techniques numériques comprennent les modulations ASK, FSK, et PSK. De toutes ces techniques, la modulation ASK est actuellement la meilleure méthode de modulation numérique en raison de sa simplicité. En ASK binaire, aussi connu sous le nom de On-Off Keying (OOK), le signal passe entre deux niveaux de puissance. Un niveau de basse puissance représente un bit « 0 », tandis qu'un niveau de haute puissance représente un bit « 1 ».

Dans les systèmes employant OOK, la modulation du signal peut être réalisée d'une manière simple, cependant, cela peut conduire à des « chirps » ou des variations en amplitude et en fréquence du signal laser. Une approche privilégiée pour le très haut débit (10 Gb/s) est de disposer d'un modulateur qui module la lumière provenant du laser. À cette fin, l'interféromètre de Mach-Zehnder ou le modulateur à électro-absorption sont largement utilisés.

Comme indiqué précédemment, on distingue deux types de modulation :

- Une modulation directe qui ne nécessite aucun composant supplémentaire mais qui présente beaucoup de distorsions dans le système (conversion électro-optique), ce qui limite la fréquence de modulation du système à quelques GHz.

- Une modulation externe, qui peut être soit de type électro-optique soit à électroabsorption et qui présente peu de distorsions, ainsi, on peut atteindre facilement des fréquences de modulation de l'ordre de 40 GHz.

I.4.3. Amplificateur optique

Même si un signal optique peut se propager sur une longue distance avant de devoir être amplifié, les réseaux étendus et les réseaux locaux peuvent bénéficier de l'amplification optique. Toutefois, l'amplification optique n'est pas préconisée dans le cadre des réseaux d'accès de type PON : Passive Optical Networks.

Les amplificateurs optiques utilisent le principe de l'émission stimulée, comme l'approche utilisée dans un laser. Parmi les amplificateurs optiques, on distingue les amplificateurs à base de semi-conducteurs et les amplificateurs à base des fibres dopées.

Les amplificateurs à base de fibres dopées comportent des tronçons de fibre dopée à un élément qui peut amplifier la lumière. Le plus souvent, l'élément dopant est l'erbium présentant des longueurs d'onde d'émission comprises entre 1525 nm et 1560 nm.

À une extrémité de la fibre, un laser de pompage émet un signal fort à une longueur d'onde inférieure (appelée longueur d'onde de pompage). Ce signal excite les atomes des éléments dopants (ions erbium Er^{3+}) vers un niveau d'énergie plus élevé. Cela permet au signal de données de stimuler les atomes et de libérer les photons excités. La plupart des amplificateurs dopés à l'erbium (EDFA) sont pompés par des lasers dont la longueur d'onde est de 980 nm ou 1480 nm. Une limitation de ce type d'amplificateurs optiques est l'inégalité de gain spectral, donc même si l'amplificateur optique fournit un gain sur toute la gamme des longueurs d'onde du signal d'entrée, celui-ci ne sera pas nécessairement amplifié sur toutes les longueurs d'onde de la même manière, ajoutant à ceci que l'amplificateur amplifie également le bruit, ce qui limite le nombre d'amplificateurs sur le lien (pour limiter la quantité du bruit introduite).

La principale source de bruit dans les EDFA est l'amplification spontanée amplifiée (ASE), qui a presque le même spectre que le spectre de gain de l'amplificateur. Le facteur de bruit dans un EDFA idéal est de 3 dB, alors que dans la pratique, on peut avoir des amplificateurs avec un facteur de bruit entre 6 dB et 8 dB.

1.4.4. Emetteurs optiques

L'objectif du lien analogique est de fournir un signal de sortie RF similaire au signal d'entrée. Typiquement, les fibres, les amplificateurs optiques, les photo-détecteurs et les amplificateurs de puissance RF ont une très bonne performance en termes de linéarité. C'est généralement l'émetteur optique qui limite la performance du lien. Pour un laser à semi-conducteur, la distorsion est originaire des caractéristiques physiques non-linéaires du laser, la distorsion de l'émetteur est un facteur limitant pour les systèmes multi-canal et conduit à une réduction de la dynamique du système .

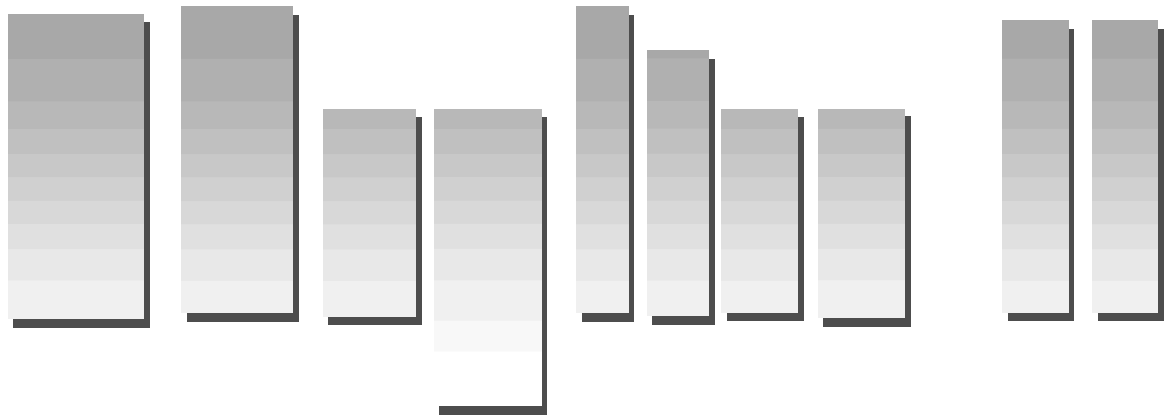
Conclusion :

Les industriels doivent de nos jours répondre à un essor fulgurant de la demande des consommateurs pour le tout sans fil et l'augmentation des débits de transmission de données. Pour donner suite à cette attente, les milieux industriels et de la recherche se tournent vers des solutions de type ULB qui permettent de maximiser l'occupation spectrale et ainsi d'accroître les débits.

Connus depuis plus de 40 ans, les applications large bande ont été pendant longtemps réservées à des systèmes de détection radar. L'évolution des compétences et des technologies nous permet aujourd'hui de transposer ces applications pour la transmission d'informations. En effet, l'importance de l'occupation spectrale confère aux systèmes ULB des caractéristiques uniques, comme par exemple un fort pouvoir de résolution ainsi que la Robustesse aux perturbations extérieures. Ces caractéristiques sont idéales pour les systèmes de localisation ou de communication radio à haut débit et à courte portée qui sont dédiés aux applications de type WLAN.

C'est en 2002 que la FCC a autorisé l'émission de signaux ULB dans une bande de fréquence comprise entre 3,1 et 10,6 GHz avec une DSP extrêmement faible ; les systèmes ULB se sont alors amplement développés. Depuis, de nombreuses divergences sont apparues suivant les différentes autorités de régulation des grandes régions géographiques, notamment en ce qui concerne la définition des plages de fréquences. Avec une largeur de bande initiale de 7,5 GHz, le spectre en fréquence n'a cessé de diminuer en Europe, où il sera compris entre 6 et 8,5 GHz à l'horizon 2010 soit une largeur utilisable de 2,5 GHz.

Contrairement aux Etats-Unis, l'Europe reste très prudente en ce qui concerne l'ouverture de son spectre fréquentiel et réclame l'utilisation de protocoles de sécurité afin de protéger les systèmes déjà mis en place ou à venir, présents dans les canaux adjacents. Dans tous les cas, la valeur de PIRE est limitée à -41,3 dBm/MHz dans les bandes passantes autorisées pour l'EU et les USA. Les autorités de régulation ne définissent pas seulement les DSP, elles décrivent également la façon de les mesurer.



II.1. Introduction

Depuis quelques années, nous avons constaté une forte demande sur les services large bande, à travers les réseaux d'accès sans fils, fixes et mobiles. Face à cette demande, les bandes fréquentielles allouées sont insuffisantes. Pour remédier à ce problème, il convient d'augmenter les fréquences porteuses radio et d'exploiter le potentiel spectral de la bande des ondes millimétriques (30-70 GHz).

D'un autre côté, en raison d'un nombre élevé de pertes liées à la propagation des ondes millimétriques en espace libre, une solution en « propagation guidée » à faible atténuation s'impose. Ainsi, les réseaux de distributions à fibres optiques déjà installés, apparaissent comme une solution attrayante pour le transport des signaux radio. Une nouvelle approche basée sur une architecture hybride fibre radio (HFR) a été proposée.

Elle consiste à transporter, sur fibres optiques, des ondes porteuses RF centimétriques (3-30 GHz) ou millimétriques modulés.

L'objectif est de combiner dans un seul réseau les atouts de la fibre optique le haut débit et la faible atténuation, et celui des systèmes sans fil : la mobilité.

II.1.2. Définition d'un signal ULB

L'appellation Ultra Large Bande (ULB) vient de la traduction du terme anglo-saxons Ultra Wide Band (UWB) qui est un terme générique désignant les systèmes qui transmettent et reçoivent des ondes dont la Largeur de Bande Relative (LBR) ou Fractional Bandwidth (FB) est supérieure ou égale à 0,25 . La LBR à -3 dB est définie suivant l'équation :

$$LBR_{-3dB} = \frac{f_H - f_L}{f_c} \quad \text{avec, } f_c = \frac{f_H + f_L}{2} \quad (I.1)$$

Où :

- f_c est la fréquence centrale du signal transmis.
- f_H et f_L sont respectivement la fréquence de coupure supérieure et inférieure à - 3 dB de la bande passante (BP).

La commission fédérale de communication FCC (Federal Communication Commission) des Etats-Unis a étendu cette définition en incluant les signaux dont la LBR à - 10 dB est supérieur à 20 % ou présentant une bande de fréquence supérieure à 500 MHz. Une illustration est apportée par la figure II.1.

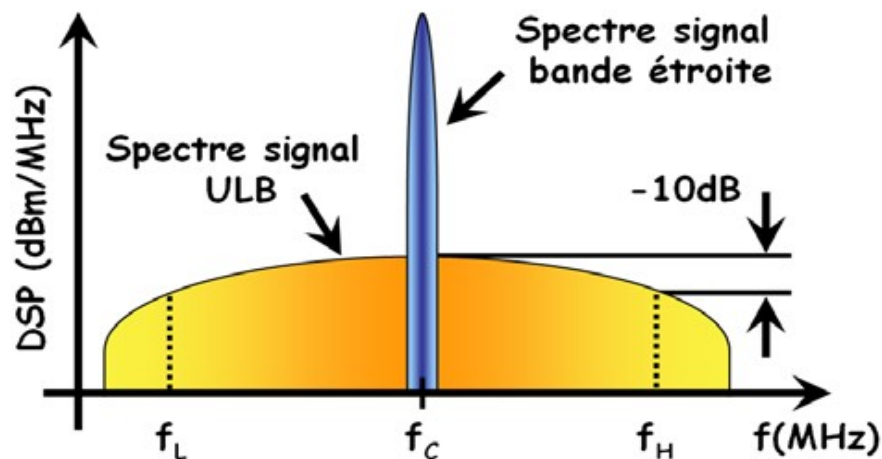


Figure II.1 : DSP pour un système ULB et un système à bande étroite.

Le terme ULB regroupe tout un ensemble de protocoles de communication différents. Il comprend à la fois des systèmes de type impulsionnel, sans porteuse, en bande de base, à porteuse orthogonales et d'autres encore. L'ULB définit un signal de largeur de bande comprise entre 500 MHz et plusieurs GHz sur un spectre en fréquence qui s'étale de 3.1 à 10.6 GHz d'après la définition de la FCC.

II.1.3. Historique et généralités sur les systèmes ULB

Depuis la nuit des temps, l'homme a cherché à communiquer. Il a dû s'adapter en élaborant des techniques de plus en plus originales et complexes afin de répondre à ses besoins. L'histoire des radiocommunications est très récente puisqu'elle ne commence qu'au début du 20^{ème} siècle, où elle a rapidement été dynamisée par les intérêts stratégiques des applications militaires dans les conflits majeurs.

Il a fallu attendre 1952 avec les travaux de Pierce et Hopper pour assister aux prémices des communications pulsées. En effet, les radiocommunications ont été, et sont encore très souvent basées sur la modulation d'une porteuse sinusoïdale à bande étroite. Initialement réservées aux militaires dans les applications radars, de nombreuses informations sur les systèmes impulsionnels sont rendues public par H. F. Harmuth dès 1960. Bien que les systèmes pulsés présentent de nombreuses particularités très intéressantes en raison de la nature large bande des signaux, leurs développements ont été néanmoins limités et longtemps retardés en raison du besoin d'un fort pouvoir de résolution temporelle et d'une électronique très rapide. A ce titre, G. F. Ross dépose en 1973 le premier brevet pour un système de communication impulsionnelle inférieure à la nanoseconde. Une étude complète dans ce

domaine sera présentée en 1978 par Bennett. Il s'en suivra un grand nombre de travaux et publications.

En 1989, le terme d'Ultra Wide Bande est introduit par le département Américain de la défense DoD (Department of Defence). Les Etats-Unis utilisent principalement les signaux ULB pour des applications radar et non à des fins de radiocommunication. La recherche pour les communications a été plus tardive, puisqu'elle débute dans les années 90. Il faudra attendre 1997 pour que le terme d'ULB soit repris dans le titre d'une publication consacrée aux systèmes radios pulsés IR (Impulse Radio).

En 1998, une étude sur la possibilité d'utiliser les systèmes ULB a été lancée par la FCC et a reconnu en 2000 les nombreux avantages que pourraient avoir les systèmes larges bandes. En réponse, de nombreux industriels, partenaires, et milieux de la recherche commencent à s'y intéresser de plus en plus. Ils incitent par ailleurs le gouvernement Américain à prendre des mesures de réglementations, en particulier à statuer sur l'autorisation pour émettre sans licence. En effet, jusqu'en 2002, aucun texte de réglementation ne traite le cas de l'ULB.

Il faut attendre février 2002 pour que la FCC se prononce sur la définition des systèmes communicants ULB sans fil aux Etats-Unis, en définissant un masque limitant la Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente (PIRE) ainsi que les bandes fréquentielles allouées. Cette définition impose alors une DSP de -41,3 dBm/MHz sur une plage de fréquences comprises entre 3,1 et 10,6 GHz.

II.1.4. Domaines d'application des systèmes ULB

Destinée à l'origine pour des applications militaires, les systèmes ULB présentent aujourd'hui un large potentiel dans de nombreux domaines d'application, que ce soit dans l'imagerie, la détection ou pour les transmissions de données. Nous regroupons ses applications dans trois grandes familles dont voici quelques exemples actuels et potentiels.

✚ Système d'imagerie radar

Les signaux ULB pulsés présentent des propriétés de forte pénétration. Ils peuvent pénétrer dans les sols et les murs, mais également les traverser pour permettre la détection et

l'imagerie d'éléments présents. Les signaux ULB possèdent d'une part, un fort contenu spectral permettant la mesure de distances avec précision. Ils permettent, d'autre part, d'obtenir des résultats sur toute la bande de fréquence allouée à partir d'une mesure unique. Ses domaines d'application sont :

- La localisation et la détection de mouvements : pour les services de sécurité, de sauvetage et d'incendie dans des applications telles que la détection et la recherche d'individu.
- L'imagerie par radar à pénétration du sol GPR (Ground Penetrating Radar) : pour la détection de gisements minéraux, canalisations, mines, sites archéologiques, analyse de structures d'édifices tels que les ponts et autres voies de communication.
- Les applications médicales : pour l'imagerie des organes internes d'un être vivant.

Systèmes radars détection et contrôle

Cette catégorie comprend de nombreuses applications dans les domaines qui gravitent autour de la métrologie, des capteurs et des relevés d'information pour des utilisations externes ou en mouvements.

- Radars automobiles pour les systèmes anticollisions, capteur d'activation des coussins gonflables, détection de l'état et du relief de la route, etc.
- Diverses autres applications de métrologie, comme les systèmes d'étiquetage, les détecteurs et capteurs de niveau de liquide, les systèmes de surveillance, les systèmes de localisation et de remplacement des connexions câblées à haut débit de données sur de courtes distances.

Systèmes de communication

Cette catégorie comprend deux grandes familles d'applications. La première est dite de bas débit, avec le groupe de travail IEEE 802.15.4a sur les réseaux ad hoc (débits jusqu'à 1 Mbit/s). La seconde, de haut débit, commence initialement avec le groupe de travail IEEE 802.15.3a, qui a été par la suite dissoute et dont les travaux ont été repris par l'ECMA pour les réseaux personnels (débits > 53 Mbit/s) avec une faible distance de couverture (< 20 m).

Nous trouvons alors les réseaux personnels sans fil WLAN (Wireless Local Area

Network) et les systèmes de mesure. Il est prévu une utilisation massive de ces dispositifs dans les domaines suivants :

➤ Réseaux de communication sans fil haut débit, courte portée et bon marché. Pour des applications domestiques personnel de type PAN (Personal Area Network) permettant aux téléviseurs, lecteurs DVD (Digital Versatile Disc), chaînes stéréo, ordinateurs, Imprimantes, etc., de communiquer entre eux sans liaison filaire. Ou bien encore, dans le cas d'applications industrielles où les liaisons ULB pourraient aisément remplacer les connexions entre instruments de mesure, machines-outils, ...

➤ Systèmes de communication sécurisés pour le transfert de données nécessitant une faible probabilité d'interception et de détection.

La figure II.2 permet de positionner les système ULB parmi les protocoles de communication déjà existants .La figure I.2a illustre la mobilité des systèmes en fonction de leur débit. La figure I.2b présente le positionnement de l'ULB par rapport aux principaux standards WLAN et WPAN en termes de débit et de portée maximale.

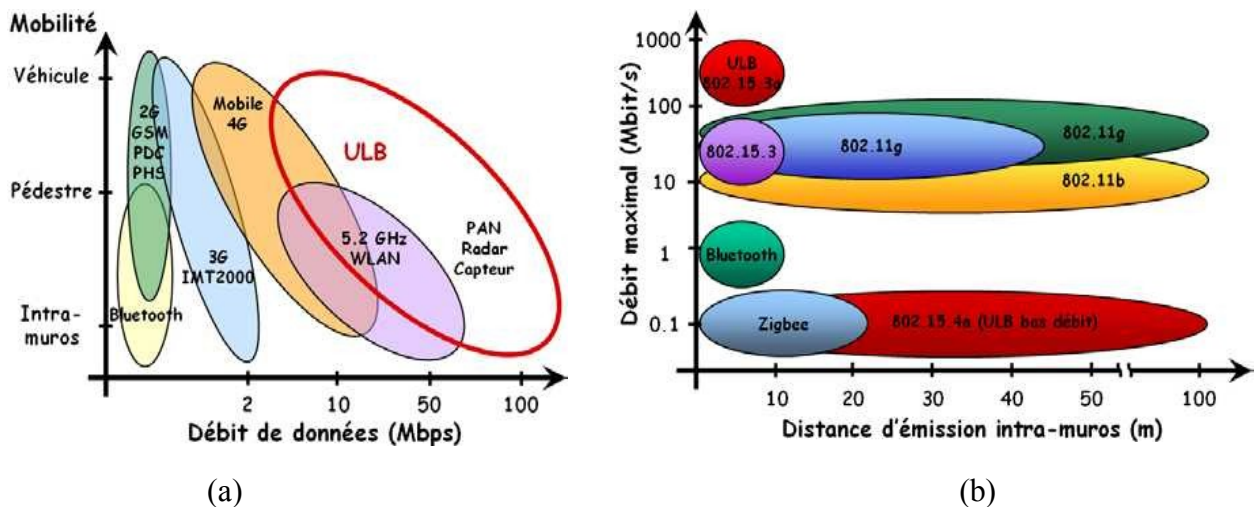


Figure II.2 : Positionnement des systèmes ULB par rapport aux systèmes existants en terme de débit et de mobilité (a), en terme de débit et de portée (b).

Les systèmes ULB ont un fort potentiel d'application aussi bien dans les communications mobiles que statiques (figure I.2a).les applications potentiels de la technologie radio ULB concernent donc les deux niches techniques : les systèmes très haut débit courte portée et les systèmes bas débit longue portée et atteindre 1 Gbit/s.

II.2 .Réglementation des communications ULB

De manière systématique, l'introduction d'une nouvelle technique de communications sur le marché intervient après approbation par les organismes de réglementation et certification, ceci afin d'assurer la coexistence avec l'ensemble des dispositifs déjà existants. Nous dénombrons trois régions géographiques de normalisation en ce qui concerne les normes globales : les Etats-Unis d'Amérique (USA), l'Union européenne (UE) et le Japon. Bien qu'il soit peu probable que l'harmonisation mondiale soit réalisable, l'inter-opérabilité permet d'adopter des règles identiques pour tous. Des produits harmonisés profiteraient bien sûr au consommateur, toutefois nous pensons que les réglementations aux Etats –Unis et en Europe présentent suffisamment des points communs pour que les fabricants souhaitent produire des équipements qui pourront être utilisés dans des régions différentes.

📊 Panorama de cohabitation des systèmes existants

La figure II.3 présente un nombre important de normes RF actuellement présentes dans le spectre en fréquence compris entre 1 et 2,5 GHz. Nous remarquerons que la définition de la

FCC pour les systèmes ULB englobe également les systèmes WLAN fonctionnant à 5 GHz, ainsi que les systèmes connus sous le nom commercial WiMAX localisés à 3,5 GHz. Même si les niveaux de puissance d'émission ULB sont suffisamment faibles et ne semblent pas être perturbants pour de tels systèmes, l'inverse n'est en revanche pas vérifié.

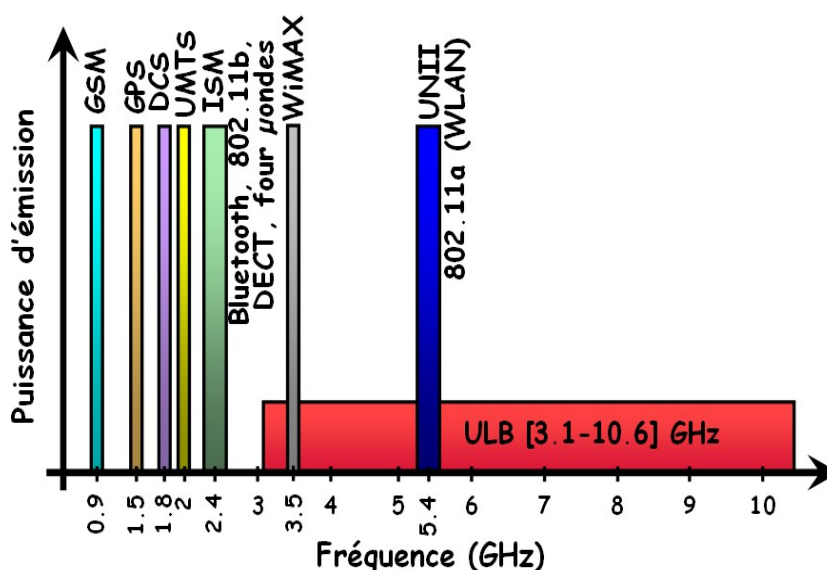


Figure II.3 : Panorama des systèmes existants autour de la bande ULB.

La cohabitation de l'ensemble de ces protocoles de communication nécessite une grande rigueur dans le respect des masques d'émission. Cela nous permet ainsi de minimiser les interférences et perturbations susceptibles de se produire.

II.2.1.Réglementation aux Etats-Unis

Aux Etats-Unis, l'organisme en charge de la réglementation du spectre fréquentiel à des fins non militaires est la FCC. Il est épaulé dans sa tâche par la National Telecommunications and Information Administration (NTIA) qui supervise l'usage du spectre pour le gouvernement fédéral. Dès 1998, la FCC a entamé le processus de réglementation de l'ULB qui s'est terminé en février 2002 par la mise en disposition de 7.5 GHz de la bande continue non soumise à licence entre 3.1 GHz et 10.6 GHz , avec une puissance totale de l'ordre de 0.5mw et une DSP de -41.3 dBm/MHz pour cette bande. En outre la FCC définit un masque d'émission fixant les niveaux de puissance en fonction des bandes de fréquence. Le reste d'informations relatives à cette réglementation au quel nous n'avons pas accès se trouve dans la partie 15 des textes de la FCC.

II.2.2.Réglementation en Europe

Dans la zone géographique de l'Europe, deux organismes complémentaires sont chargés de la réglementation des systèmes de télécommunications. L'European Telecommunications Standards Institute (ETSI) est chargé de la normalisation et de la compatibilité électromagnétique des systèmes communicants tandis que la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (CEPT) prend les décisions concernant l'attribution spectrale. L'European Radiocommunications Office (ERO) intervient entre ces deux institutions afin d'y faciliter les échanges. Cependant, chaque pays peut aussi passer outre ces règles européennes et mettre en place sa propre réglementation si besoin.

La situation en Europe vis-à-vis de la réglementation de l'ULB n'est pas aussi claire que celle proposée aux Etats-Unis. En 2005, la division ECC (Electronic Communications Committee) de la CEPT adopte une approche séquentielle en divisant les 7.5 GHz de bande de la FCC en plusieurs sous-bandes afin d'analyser les problèmes de coexistence relatifs à chacune de ces sous-bandes.

La première étape dans le processus de réglementation européen fut la décision prise en avril 2006, qui autorise une activité ULB limitée à la bande 6 - 8.5 GHz avec une puissance

moyenne à l'émission de -41.3 dBm/MHz. Concernant les spécifications hors-bande, elles sont plus sévères que celle de la FCC -85 dBm/MHz en deçà de 3.4 GHz par exemple car des études ont montré que le masque de la FCC ne suffit pas à protéger une majorité des services de télécommunications déjà en fonctionnement.

Concernant la bande 3.4 - 4.8 GHz, une seconde décision a suivi en décembre 2006. Cette décision autorise une activité ULB dans cette bande 3.4 - 4.8 GHz sous la condition de mettre en œuvre une technique dite de faible rapport cyclique en Anglais Low Duty Cycle (LDC) visant à réduire la durée des émissions des dispositifs UWB. La mise en place de cette technique a pour objectif de protéger les systèmes Worldwide Inter-opérabilité for Microwave Access (Wi MAX) fonctionnant autour de 3.5 GHz dans une bande soumise à licence. Elle a été choisie au détriment d'une technique de type Detect And Avoid (DAA) qui consiste à réduire la puissance d'émission lorsqu'un système voisin bande étroite est détecté ; cette dernière fut considérée comme n'étant pas suffisamment mature pour pouvoir être mise en œuvre.

Il a fallu attendre février 2007 pour voir enfin se dessiner les traits du masque d'émission « définitif », pour les communications ULB en Europe. Ce masque d'émission pour l'UE a connu de profond remaniement depuis son ouverture en 2002. La largeur des bandes allouées a particulièrement diminué. Contrairement à son homologue nord américain, l'EU est beaucoup plus prudente pour l'ouverture de son spectre en exigeant d'avantage en terme de mécanismes de sécurité (DAA, LDC...).

II.2.3.Réglementation en Asie

Les principaux acteurs dans la régulation des systèmes ULB en Asie sont le Japon et Singapour.

Dès février 2002, un comité de recherche sur les activités ULB, nommé ULB Friendly Zone (UFZ), a été élaboré par les autorités Singapouriennes de régulation. Il autorisait l'émission de signaux ULB compris entre 2.2 et 10.6 GHz. Cette action avait pour but d'étudier la coexistence des systèmes ULB avec les applications existantes, ainsi que d'utiliser ces expérimentations pour une réglementation ultérieure autorisant le déploiement de l'ULB à des fins commerciales.

De son côté, le groupe de travail japonais Information and Communication Technology SubCouncil (ICTSC) a présenté ses premières investigations sur l'introduction

des technologies ULB en 2002. Dans un premier temps les niveaux de puissance considérés en 2003 étaient extrêmement faibles. Il faut attendre août 2005 pour que le ministère de l'intérieur et de la communication MIC (Ministry of Internal affairs and Communications) japonaise autorise l'émission de signaux ULB sans licence. En février 2006, après consultation des autorités de régulation, un masque d'émission est finalement alloué à deux bandes de fréquence. La bande basse est comprise entre 3,4 et 4,8 GHz et la bande haute comprise entre 7,25 à 10,25 GHz. Dans les deux cas, les contraintes de puissances sont similaires à celles de la FCC avec - 41,25 dBm/MHz.

II.3. Contraintes de puissance sur les systèmes ULB

Les autorités de régulation ne spécifient pas seulement les bandes de fréquence ou même la PIRE, elles décrivent également les méthodes qui permettent de les mesurer.

Par exemple, les spécifications de la FCC pour les émissions ULB imposent que la valeur de PIRE ne puisse pas excéder -41,3 dBm par largeur de bande de 1 MHz, dans une bande fréquentielle maximale comprise entre 3,1 et 10,6 GHz. Deux autres limites assurent également la régulation de la puissance rayonnée par les systèmes ULB : une contrainte sur la puissance moyenne, une autre sur la puissance pic.

Pour avoir une bonne compréhension des limites de puissance sur les signaux ULB, il est intéressant de rappeler les protocoles de mesures de puissance réalisés à partir d'un analyseur de spectre. Un schéma synoptique est donné sur la figure II.4. Des recommandations concernant la mesure de ces puissances moyennes et pics sont disponibles dans les documents [FCC02] pour les Etats-Unis et [ETS05], [Off07] pour l'Europe.

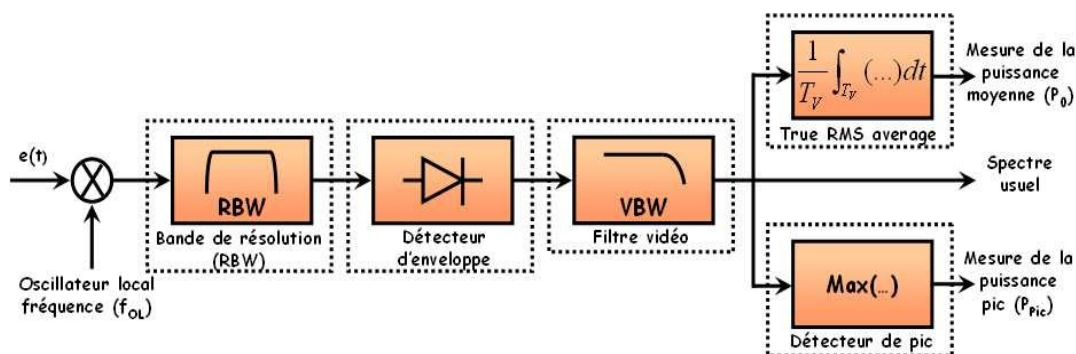


Figure II.4: Schéma synoptique d'un analyseur de spectre pour la mesure des puissances moyennes et pics des signaux ULB.

Le signal traité est initialement transposé autour d'une fréquence centrale f pour laquelle la DSP est maximale. Une illustration est portée sur la figure II.5.

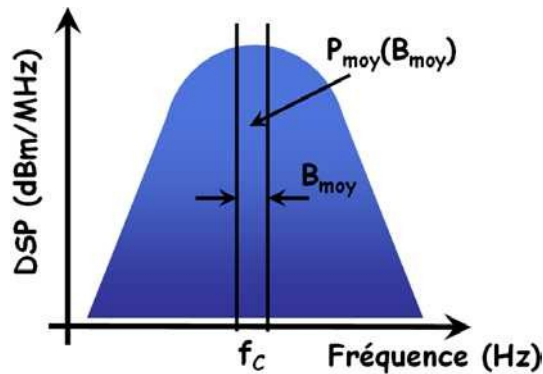


Figure II.5 : Transposition de la DSP maximale autour de la fréquence porteuse f

Après transposition, le signal est filtré par un filtre passe-bande de résolution RBW (Resolution BandWidth). Il passe ensuite dans un détecteur d'enveloppe afin de mesurer et d'étudier les puissances moyenne et pic.

En ce qui concerne les deux puissances, il est à noter:

❖ Puissance moyenne

La FCC définit la puissance moyenne transmise comme étant la moyenne de la puissance mesurée dans une bande RBW de largeur 1 MHz. L'acquisition est réalisée à l'aide d'un détecteur de type RMS (Root Mean Square) vrai (détection du niveau efficace vrai) comme l'indique la figure II.4

❖ Puissance pic

La puissance pic est définie comme étant la puissance intégrée dans une bande fréquentielle de largeur RBW comprise entre 1 MHz et 50 MHz, centrée sur la fréquence à laquelle le maximum de puissance est rayonné. La valeur limite envisagée par la FCC est de 0 dBm dans une bande de 50 MHz. Dans le cas de l'analyseur de spectre, il faut une fréquence vidéo VBW (Video BandWidth) supérieure à la bande de résolution ainsi qu'un détecteur de pics (maximum-hold trace mode).

Il est à savoir que l'ensemble de ces contraintes sur les puissances moyennes et pics sont à appliquer quelque soit le type de modulation envisagé.

II.4. Les différents types de modulation ULB

Pour ce qui est des signaux ULB, deux grandes familles de formes d'ondes sont envisageables. Nous citerons d'une part, les signaux de type impulsionnel précurseurs à l'ULB et d'autre part, les signaux multi-porteurs. D'une manière plus générale, ces deux techniques opposent des formes d'ondes dans lesquelles les trains de symboles sont transmis en série ou en parallèle. Elles emploient usuellement une approche synchrone qui nécessite des structures souvent complexes et qui occupe une place importante en termes de consommation d'énergie. Elles demandent également une bonne connaissance du canal de propagation.

Pour ce qui va suivre, seul le type multi-bande OFDM sera considéré.

➤ L'approche impulsionnelle

Les systèmes ULB impulsionnels sont basés sur une transmission d'impulsions très brèves de l'ordre de certaines de picosecondes. On distingue de nombreuses formes d'impulsions (gaussiennes, dérivée première ou dérivée seconde) qui se caractérisent principalement par leurs différences d'occupation et de localisation dans le domaine fréquentiel, que nous illustrons sur la figure II.6.

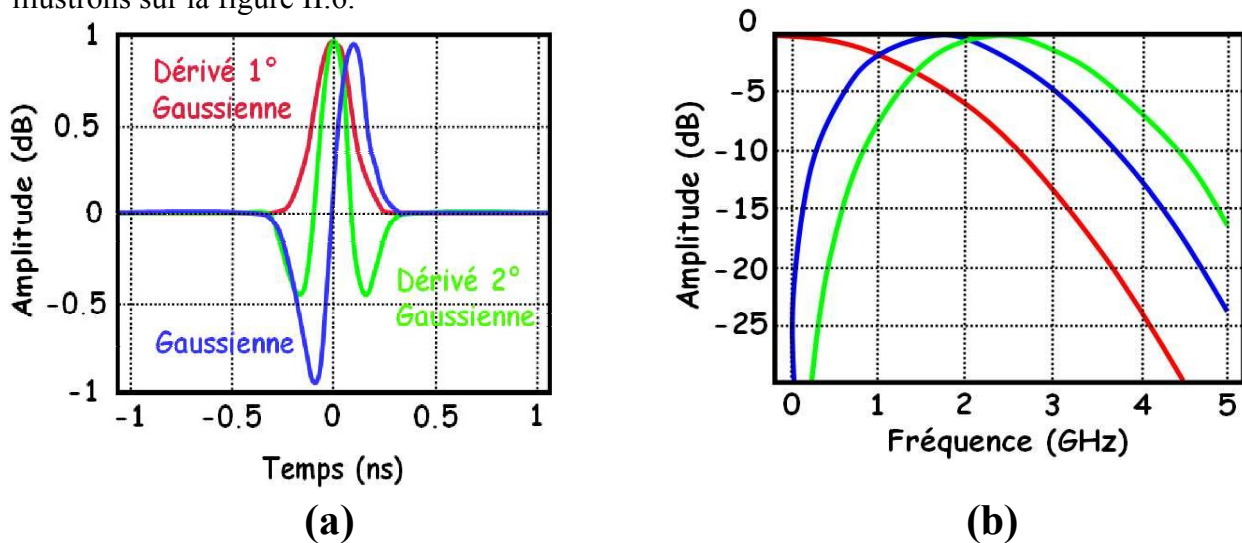


Figure II.6 : Exemple d'impulsions gaussiennes dans le domaine temporel (a) et fréquentiel (b).

Ces différents types d'impulsions sont ensuite pris en considération dans de nombreuses modulations telles que : en PPM (Pulse Position Modulation), Orthogonale OPM (Orthogonal Pulse Modulation), Amplitude PAM (Pulse Amplitude Modulation). La modulation DS-CDMA, également appelée Direct Sequence-UWB (DS-UWB), entre dans la famille des systèmes impulsionnels nommés communément Impulse Radio-UWB (IR-UWB). La modulation DSCDMA sépare le spectre en deux bandes de fréquence réparties autour de la norme 802.a

➤ **L'approches Multi-bandes**

Basée sur la division du spectre fréquentiel en plusieurs SB. Les avantages de cette technique sont multiples :

- Elle permet une meilleure maîtrise et répartition de l'occupation spectrale du signal émis.
- Elle offre la possibilité d'avoir des systèmes MU.
- Elle rend également moins sensibles les communications aux perturbateurs et autres systèmes communicants déjà existants, grâce aux sauts de fréquence ou temporelle.

L'un de ses plus grands atouts vient de sa grande souplesse à répondre aux exigences des masques d'émission des différents organismes de réglementation.

Les communications multi-bandes sont actuellement considérées dans plusieurs systèmes communicants comme par exemple : l'ADSL, la TNT, les réseaux WiFi et Wimax... qui utilisent généralement des symboles OFDM bandes étroites.

Dans le cadre de ce travail, nous considérerons deux modulations de type multi-bandes les modulations MB-OFDM, et MB-OOK.

Dans la première partie, nous donnerons une description générale de la modulation multi-porteuse de type MB-OOK. Dans la deuxième partie une description approfondie de la modulation MB-OFDM sera donnée. Pour chacune d'entre elles, nous donnerons leurs principales caractéristiques.

II.4.1 Système de modulation Multi-Bande OOK (MB-OOK)

II.4.1.1 Modulation OOK classique

L'histoire de la modulation OOK (On Off Keying), également appelée modulation « tout ou rien », remonte aux débuts de la micro-informatique. Elle était utilisée pour sauvegarder les programmes sur des bandes magnétiques à l'aide d'un magnétophone ordinaire. La modulation OOK est également la modulation la plus simple qui est utilisée pour les communications optiques et infrarouges. Dans ce cas, l'oscillateur est soit une Diode

Électroluminescente (DEL), soit un laser.

Cette modulation consiste dans sa forme classique à moduler directement une porteuse par un signal binaire en bande de base. Le spectre de sortie est obtenu par simple translation du spectre autour de la porteuse comme nous l'illustrons sur la figure II.7.

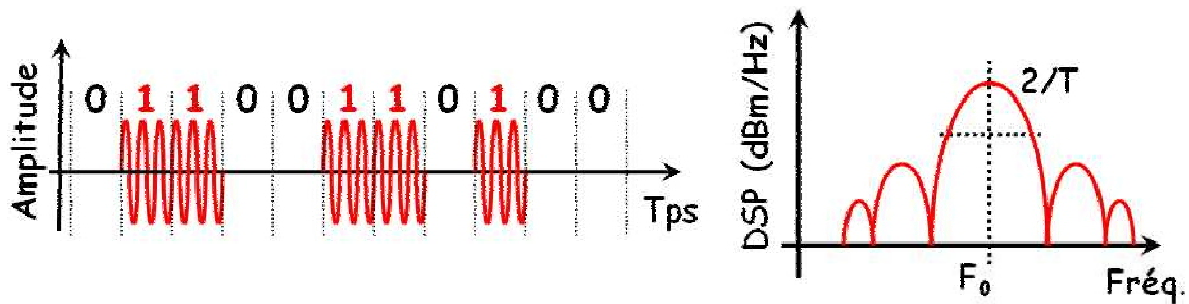


Figure II.7: Modulation OOK et spectre fréquentiel associé

Ce phénomène est une conséquence directe des propriétés de la modulation d'amplitude d'une porteuse. Il s'agit de modulation analogique dans le sens où l'information numérique est contenue dans l'enveloppe d'un sinus qui est utilisé comme porteuse. Malgré la simplicité de démodulation par le biais d'un détecteur d'enveloppe, et même si elle est très utilisée en optique, la modulation OOK classique ne reste qu'occasionnelle pour la transmission de données RF. Il est en effet peu courant d'utiliser l'amplitude d'un signal comme paramètre de transmission d'informations suite aux nombreuses fluctuations et atténuations causées par le canal de propagation. Une modulation en phase est généralement préférée, elle présente de meilleures performances même si le démodulateur est plus complexe. Il existe également des modulateurs multi-niveaux, auxquels nous associons une modulation de phase. Dans ce derniers cas, nous retrouvons une modulation de type QAM.

II.4.1.2. Principes de la modulation OOK proposée par Mitsubishi ITE

Initialement développés par la société Mitsubishi ITE, les systèmes de transmission MB-OOK pour les solutions ULB bas coût reposent sur une architecture simple et adoptent une solution impulsionnelle originale. En opposition aux systèmes MB-OFDM basés sur le synchronisme et l'estimation du canal ULB, le système MB-OOK s'articule autour de la détection d'énergie du signal reçu. Il se compose principalement d'une modulation de type OOK et d'une démodulation asynchrone non-cohérente. Parce qu'il est généralement difficile

d'établir avec rigueur les caractéristiques d'un canal de propagation (d'autant plus s'il est de type ULB et que nous lui incluons des critères de mobilité), les systèmes asynchrones montrent rapidement leurs intérêts. Ils permettent en effet la transmission d'informations avec une connaissance moindre du canal de propagation.

Pour ce qui est de systèmes de transmission MB-OOK il est à savoir que ces systèmes de transmission émanent d'une volonté de réaliser des systèmes de transmission ULB basés sur une architecture originale et simple à mettre en œuvre. La rupture dans sa conception avec les autres systèmes envisagés vient de l'association des caractéristiques suivantes :

- L'utilisation d'une modulation basée sur une technique simple de type OOK.
- Le multiplexage de la plage fréquentielle allouée en plusieurs SB.
- La réception asynchrone basée sur une détection non-cohérente de l'énergie du signal reçu.

Donc cette partie de chapitre nous a permis d'introduire la modulation de type impulsionnel MB-OOK pour la transmission de signaux ULB. D'une manière similaire aux systèmes MB-OFDM, ce système MB-OOK présente un aspect de type multi-bandes. Il occupe une large bande de fréquence et offre la possibilité de transmettre des informations à très haut débit, tout en étant robuste aux interférences.

II.4.2.Le système de modulation Multi-Bande OFDM (MB-OFDM)

II.4.2.1 Historique et introduction

L'histoire des modulations multi-porteuses commence à la fin des années 50 aux Etats-Unis . A cette époque, la société Collins Radio Co. Kineplex développe un système conçu pour des liaisons radio militaires dans la bande de fréquences comprises entre 1,8 et 30 Mhz. L'objectif était de proposer, là où les systèmes classiques de types monoporteuse avaient montré leurs limites, un système robuste aux problèmes des multi-trajets dans le canal de propagation, tout en offrant un débit élevé (pour l'époque) pour un taux d'erreur binaire faible. La solution consistait à émettre simultanément sur des fréquences porteuses différentes une modulation bas débit. Chacune des porteuses devenait alors peu sensible aux effets du canal tandis que l'émission de plusieurs porteuses en même temps permettait d'obtenir un débit binaire de 3 kbits/sec dans une bande fréquentielle de 0 à 3 kHz. Plus tard, des études théoriques mirent en évidence la possibilité de réduire l'encombrement spectral en faisant chevaucher l'ensemble des sous-porteuses. Il faudra attendre 1966 pour que les conditions

d'orthogonalité soient mises en évidence, 1967 pour que l'utilisation de la Transformée de Fourier (TF) pour la modulation et démodulation soit proposée par Saltzberg. Enfin, c'est en 1971 que nous avons pu tirer profit des transformées de Fourier rapides FFT (Fast Fourier Transform), qui nous ont permis de réduire considérablement la complexité du modulateur/démodulateur, et donc la consommation des terminaux. Dès lors, la notion d'orthogonalité était posée. La complexité de réalisation et de mise en œuvre resta néanmoins pendant longtemps un large problème, confinant ainsi ces systèmes à des applications militaires. Effectivement, les processeurs développés ne permettaient pas de réaliser des Transformées de Fourier Discrètes (TFD) suffisamment rapides. De plus, les filtres analogiques parfaitement orthogonaux étaient onéreux. En 1979, l'introduction de DSP (Digital Signal Processor) permit de développer pleinement ces systèmes de modulation entraînant un fort regain d'intérêt, et un essor presque immédiat de cette technologie. Durant les années 1980, le codage s'est enrichi de codes correcteurs qui ont permis d'atteindre de meilleures performances dans les systèmes de transmission numériques. Cette technique a pris le nom d'Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), ce qui peut être traduit en français par modulation à répétition en fréquences orthogonales. Ce terme fut utilisé pour la première fois en 1989 dans le cadre des réseaux sans fil. En ce qui concerne les réseaux filaires, l'OFDM est également connu sous le nom de DMT (Discrete Multi Tone). Plusieurs standards ont ensuite adopté cette technique : le DAB et le DVB (Digital Audio/Video Broadcasting), qui sont des réseaux de diffusion hertzienne de signaux audio et vidéo. Les systèmes DSL (Digital Subscriber Line) pour la transmission de données hauts débit (entre 1,5 et 8 Mbps) employés pour des applications internet, les transmissions de données DMT (Discrete MultiTone) utilisées dans les communications xDSL, l'ADSL (Asymmetric DSL) où les applications principales sont l'internet haut débit.

Entre 1999 et 2001, de nombreuses applications pour les réseaux locaux WLAN (Wireless Local Area Network) ont vu le jour. Nous pouvons citer la norme IEEE 802.11a/g connue sous le nom commercial Wi-Fi et les réseaux locaux sans fil à haut débit HIPERLAN2 (High Performance Radio Local Area Network 2). En 2005 après l'amélioration de la technologie Wi-Fi, le standard IEEE 802.16 ou Wi-Max garantit un débit théorique jusqu'à 80 Mbps et une portée linéaire de 50 km. Un an plus tard, un autre standard, le 802.11n, se présente sur la scène du Wi-Fi. Il permet d'atteindre des débits théoriques compris entre 100 et 540 Mbps en ajoutant l'utilisation de la technique MIMO (Multiple Input Multiple Output). Il améliore également la portée des réseaux sans fil. Début 2006, le procédé de modulation OFDM a été adopté par l'alliance WiMedia pour les communications ULB à

très haut débit (480 Mbps) et à courte portée (10 m). Nous noterons également que l'OFDM a été proposée pour les systèmes de téléphonie de troisième génération. Même s'il n'a pas été retenu, sa prise en considération dans les prochains développements est très fortement envisagée. Riches d'une forte expérience acquise durant de nombreuses années, les techniques de modulation OFDM s'imposent de plus en plus dans les systèmes de communication. De telles transmissions présentent la particularité d'être robustes à la sélectivité en fréquence et aux environnements difficiles comme le bruit du canal de propagation, l'atténuation des signaux provoqués par les trajets multiples. Elles permettent également de simplifier le récepteur puisqu'il n'est pas nécessaire d'utiliser d'égaliseur pour retrouver les symboles émis. Les modulations OFDM présentent en revanche de fortes valeurs de PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) que nous définirons dans la suite de ce chapitre. Ces valeurs sont dues aux fluctuations de l'enveloppe du signal OFDM, ce qui a pour conséquence d'engendrer des problèmes liés à la consommation du terminal mobile et de rendre également cette technique de modulation sensible aux non-linéarités de composants du système de transmission. La modulation OFDM est aujourd'hui considérée pour les systèmes ULB. Les symboles OFDM ont une largeur de bande de 528 MHz et l'occupation de l'ensemble du spectre fréquentiel est réalisée par un système de sauts de fréquence entre SB, afin de couvrir une plage comprise entre 3,1 et 10,6 GHz. Avec une largeur de bande de 528 MHz, les symboles OFDM couvrent l'ensemble de la plage de fréquences comprises entre 3,1 et 10,6 GHz grâce à un système de sauts de fréquence.

II.4.2.2. Transmission multi-porteuses

Contrairement à un système mono-bande, où l'information peut être perdue lorsque le signal subit une atténuation ou des perturbations, les systèmes multi-porteuses sont plus robustes aux interférences du fait de leur occupation fréquentielle large bande. L'utilisation de modulations fréquentielles multi-porteuses fait l'objet de nombreuses recherches. Elle permet d'éliminer les effets néfastes des transmissions multi-trajets lors de la propagation du signal, notamment en ce qui concerne l'étalement temporel du retard t du signal dans une liaison série. Elle simplifie également les problèmes d'égaliseur, dont la complexité peut s'avérer importante, et devient, par le biais de codes correcteurs, très intéressante pour reconstituer l'information dans des canaux sélectifs en fréquence.

Les systèmes multi-porteuses sont caractérisés par une grande efficacité spectrale, définie comme étant le débit binaire par unité de fréquence. Plus l'efficacité spectrale est importante, plus nous pouvons transmettre avec un débit important. Ce type de modulation consiste à diviser la totalité du canal de transmission, rendu sélectif par la présence de multi-trajets, en un nombre important de N sous-porteuses non sélective définissant autant de sous-canaux. Le principe est basé sur une modulation avec bas débit de chacun d'entre eux, permettant la transmission simultanée et en parallèle des informations sur plusieurs symboles. Chaque sous canal a une largeur fréquentielle Δf inférieure à la bande de cohérence du canal de propagation.

Actuellement, les symboles OFDM de largeur de bande limitée à 528 MHz sont considérés dans les systèmes ULB. Une technique de sauts de fréquence plus généralement appelée « Frequency Hopping » (FH) est considérée afin d'élargir le spectre en fréquence occupé. Nous décrirons plus en détails le principe de fonctionnement du FH dans la suite de ce chapitre. La valeur de la puissance maximale du signal est supérieure à sa puissance moyenne, et des pics de forte amplitude apparaissent. Cette particularité a pour conséquence directe de rendre les symboles OFDM sensibles aux non-linéarités engendrées par les composants, notamment les amplificateurs d'émission et de réception qui conditionnent les signaux lors de leur transfert.

II.4.2.3 Principe des transmissions multi-porteuses OFDM

La modulation OFDM se distingue des techniques classiques de modulation multi-porteuses par un encombrement spectral limité dû à des contraintes d'orthogonalité qui rendent en effet possible un recouvrement important des fréquences porteuses de chacune des SB dans le domaine temporel et fréquentiel.

Le schéma synoptique d'une chaîne de transmission globale OFDM est représenté sur la figure II.8.

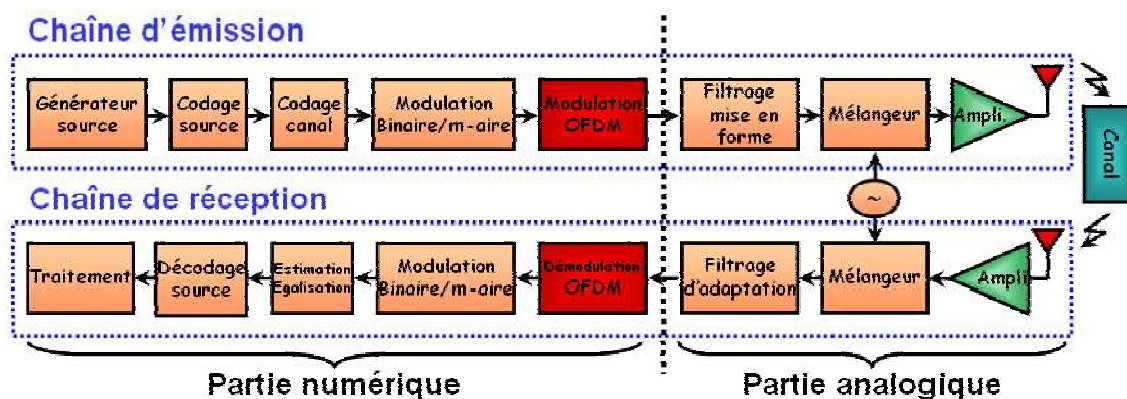


Figure II.8 : Schéma synoptique d'une chaîne d'émission/réception OFDM

Le transmetteur et le récepteur se composent d'une partie numérique prépondérante où sont effectuées les opérations de modulation et de codage, ainsi que d'une partie analogique pour les opérations de filtrage, d'amplification et de transposition en fréquence

II.4.2.4 Système MB-OFDM

Les systèmes Multi-Band-OFDM (MB-OFDM) présentent la particularité d'associer une modulation de symboles OFDM large bande (528 MHz) ainsi qu'un processus de sauts de fréquence également appelé Frequency Hopping (FH). Le FH est piloté par un codage fréquentiel temporel TFC (Time Frequency Code) où plusieurs séquences sont définies. Les modulations MB-OFDM permettent alors :

- ✚ D'avoir une occupation fréquentielle plus importante (plus grande occupation du spectre).
- ✚ D'augmenter la robustesse des signaux face aux interférences susceptibles d'être présentes dans une SB à un instant t , puisque nous serons à l'instant $t + 1$ dans une autre SB.

Les débits de transmission des systèmes MB-OFDM s'échelonnent entre 53 et 480 Mbps suivant le type de constellation employé.

a. Division du spectre en sous-bandes

La bande de fréquence allouée pour les systèmes ULB dans la définition de la FCC est comprise entre 3,1 et 10,6 GHz. En définissant des symboles OFDM de largeur fréquentielle 528 MHz, il est possible de diviser la bande de fréquence totale en 14 SB identiques comme nous l'illustrons sur la figure II.9.

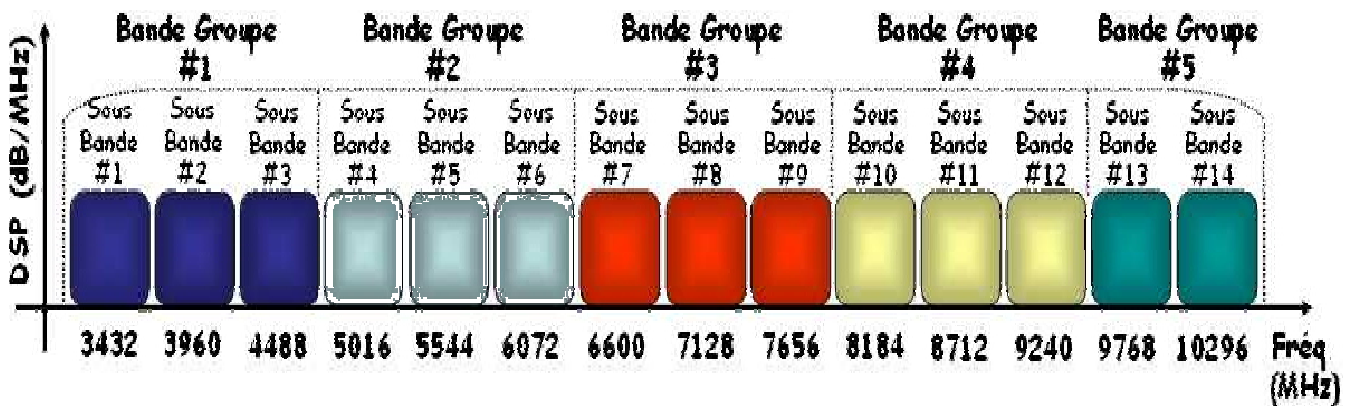


Figure II.9: Découpage fréquentiel de la bande ULB comprise entre 3,1 et 10,6 GHz en 14 SB regroupées en 5 groupes de bandes.

L'ensemble des SB est regroupé en 5 groupes de bandes, également appelés BG (Band

Group). Les 4 premiers BG comprennent chacun 3 SB, alors que le dernier n'est composé que de 2 SB. L'allocation fréquentielle de cet ensemble est définie dans le tableau II.1.

Bande Groupe (BG)	Sous Bande	Fréquence basse (MHz)	Fréquence centrale (MHz)	Fréquence haute (MHz)
#1	#1	3 168	3 432	3 696
	#2	3 696	3 960	4 224
	#3	4 224	4 488	4 752
#2	#4	4 752	5 016	5 280
	#5	5 280	5 544	5 808
	#6	5 808	6 072	6 336
#3	#7	6 336	6 600	6 864
	#8	6 864	7 128	7 392
	#9	7 392	7 656	7 920
#4	#10	7 920	8 184	8 448
	#11	8 448	8 712	8 976
	#12	8 976	9 240	9 504
#5	#13	9 504	9 768	10 032
	#14	10 032	10 296	10 560

Tableau II.1 : Allocation fréquentielle des groupes de bandes.

Le mode 1 a été dans un premier temps défini par le mode 1 [ECM05] les systèmes utilisant les trois premières SB du BG#1. Il est envisagé d'utiliser par la suite les autres modes (2, 3, 4, 5) relatifs à l'ensemble des 5 BG. Le choix du mode 1 est également justifié au regard des distances accessibles qui sont atteignables en fonction des fréquences centrales de chacun des BG. Nous constatons suivant le tableau II.2, qui illustre la relation entre les distances d'émission et les fréquences centrales de chaque groupe de bandes, un écart considérable entre chaque SB.

Bande Groupe (BG)	Fréquence centrale (GHz)	Distance (m)
#1	3.960	10
#2	5.544	5.10
#3	7.128	3.09
#4	8.712	2.07
#5	10.032	1.56

Tableau II.2 : Relation entre les distances d'émission et la fréquence centrale de chaque BG.

Les distances d'émission accessibles entre les différents BG sont considérables. La plus importante est obtenue avec le BG#1 qui est d'environ 10 m, alors qu'elle n'est à peine de 1,56 m pour le BG#5. Nous avons constaté en effet qu'à partir de 2010 le fonctionnement en mode 1 ne s'appliquait plus car il se trouvait dans des bandes de fréquences interdites.

Aujourd'hui l'Europe tolère la SB basse #3 du BG#1 et les SB hautes #7 à #10 du BG#3 et #4.

b. Sauts de fréquence

Les sauts de fréquence FH, ont pour rôle de transposer un symbole OFDM d'une SB à une autre. L'enchaînement des sauts est assimilable à une partition de musique dont la mélodie périodique est prédéfinie par l'application d'un codage fréquentiel TFC. Le TFC permet à chaque utilisateur de bénéficier de la diversité fréquentielle liée aux SB qui composent un mode. Par ailleurs, un utilisateur ne pouvant émettre à un instant t que dans une seule des SB, plusieurs utilisateurs peuvent être définis et émettre en même temps dans les autres SB du mode. Ceci rend possible la conception d'un système MU. L'émission ne durant dans chaque SB qu'un tiers du temps (mode 1 à 4), il devient alors possible d'optimiser la puissance émise, tout en respectant la DSP d'un masque d'émission donné. L'UE ne spécifie pas de contraintes particulières sur le FH. Aussi, nous pourrions envisager d'augmenter la puissance dans chaque SB de manière à ce que la puissance moyenne reste constante. L'utilisation d'un TFC permet également d'améliorer l'efficacité de transmission. En effet, dans le cas où un brouilleur est présent dans une certaine plage de fréquence à un instant t , il peut nous faire perdre l'information. Cependant, il est fort probable que nous retrouvions le signal utile à l'instant $t + 1$ du fait que les sauts de fréquence nous éloigneront du dit perturbateur.

Les sauts de fréquence nécessitent de prendre en considération, en plus des GI, un temps relatif à la réponse des mélangeurs analogiques. En effet, le temps de réponse des mixers n'est pas instantané et le passage d'une SB à une autre peut entraîner la perte d'informations. Il devient alors nécessaire de restructurer la trame OFDM en incluant un temps de sécurité appelé préfixe en début de chaque symbole OFDM. Le préfixe est utilisé comme un temps d'attente entre deux symboles successifs. Il peut être « blanc » s'il ne comprend pas d'information utile, ou bien utilisé à bon-escient en recopiant une partie de la fin de la trame OFDM. Pour être efficace, il doit être supérieur à l'étalement temporel t du canal. Il est donc judicieux de choisir cette valeur en fonction de retard introduit par le canal de propagation.

Donc cette partie du chapitre nous a permis d'introduire la modulation multi-porteuses de type OFDM pour la transmission de signaux ULB. Dans un historique, nous avons montré son évolution, ainsi que les divers attrait qu'elle suscite pour de nombreux systèmes de communication. Avec une occupation large bande, les systèmes ULB-OFDM offrent la possibilité de transmettre des informations à très haut débit. Ils sont aussi particulièrement

robustes face aux interférences liées notamment aux problèmes de fading et de multi-trajets. Nous avons ensuite présenté ses principales caractéristiques.

II.5. Canal de propagation

Le canal de propagation sert de support physique pour la communication entre un émetteur et un récepteur. Il peut être extrêmement complexe à modéliser. Aussi, dans le cadre de certaines études, il nous est possible de le simplifier, notamment en utilisant un canal de propagation à bruit blanc gaussien.

II.5.1. Définition des canaux

Le canal de propagation est un système qui fait passer un signal électrique émis en un signal électrique reçu. Il prend en considération les interactions entre les ondes électromagnétiques et leur environnement. Nous devons faire la distinction entre le canal de propagation et le canal de transmission. Le premier représente la transformation des ondes électromagnétiques lors de leur propagation, alors que le second inclut également le diagramme de rayonnement des antennes comme nous l'illustrons sur la figure II.10

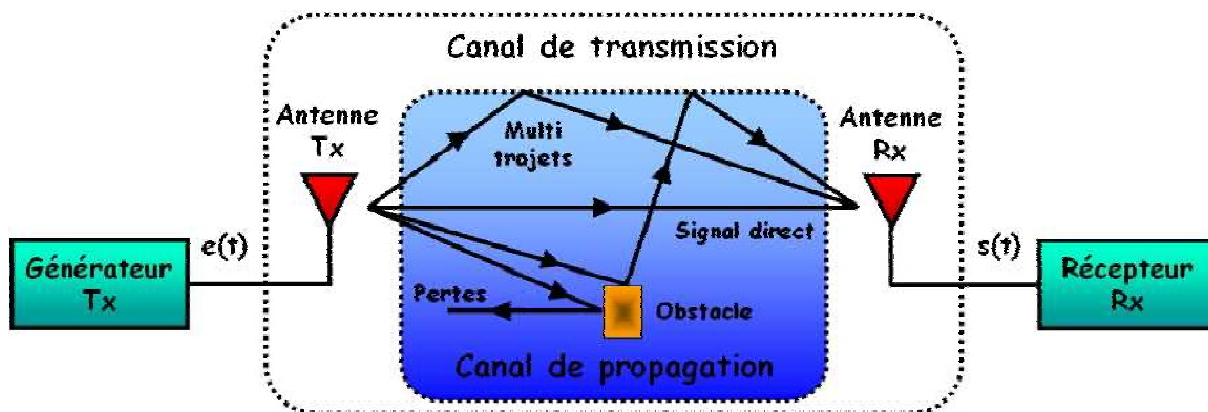


Figure II.10 : Transmission d'une onde électromagnétique dans un canal.

Les performances des systèmes de transmission en terme de portée et de débit dépendent largement de l'état du canal de propagation. Dans le but de comprendre et d'appréhender les phénomènes de transmission radiofréquence, l'étude du canal devient essentielle. Nous pouvons en connaissance de cause prévoir et optimiser les architectures et interfaces en fonction de leurs zones de déploiement.

La spécificité fondamentale d'un canal ULB réside dans son extrême largeur de bande (de 500 MHz à plusieurs GHz) qui lui confère une résolution temporelle d'une fraction de nanosecondes. Cette résolution se traduit dans le domaine spatial par une capacité à distinguer les échos provenant d'obstacles séparés de quelques centimètres seulement. Dans les applications intra-muros, les réponses impulsionnelles de canal CIR (Canal Impulse Response), de longueur d'onde comprise entre 2,8 et 9,7 cm, sont plus ou moins riches en trajets multiples suivant la complexité de l'environnement. Cette particularité fait l'objet de nombreux travaux dans le domaine applicatif des radars et outils de détection.

La présence de trajets multiples reste néanmoins problématique. Dans un environnement réel, la transmission d'un signal est égale à la recombinaison des ondes d'un trajet direct avec celles de tous les trajets multiples (figure II.7). Ceci peut conduire à une distorsion importante et donc à la perte d'informations. Le signal est d'une part, retardé par la longueur du trajet de propagation, mais il subit également un affaiblissement énergétique ainsi qu'un changement de phase. D'un autre côté, il n'est pas toujours possible de réaliser des communications en visibilité directe et dans ce cas, ce sont les trajets en non-visibilité (multi-trajets) qui permettent d'établir une communication radio.

II.5.2 .Les différents supports de transmission

Parmi les moyens de transmission de l'information d'un émetteur vers un récepteur , on dénombre actuellement trois types de supports :

- Les ondes hertziennes (faisceaux et radio)
- Les câbles terrestres (câbles coaxiaux, fibres optiques)

Pour ce qui est de notre travail seul la fibre optique est à considérer.

II.6. Technologie ultra large bande sur fibre

La FCC a imposé un masque de spectre strict pour l'UWB pour éviter les interférences avec les systèmes sans fil à bande étroite existant déjà. La FCC a permis une puissance totale transmise par l'antenne ULB de 0.5 mW ainsi les signaux ULB sont conçus pour avoir de très grande bande passante. C'est pourquoi la distribution de ULB sur câble coaxial est extrêmement cher et voir même limité pour un certain niveau de bande passante. La fibre optique fournit une alternative excellente pour la distribution de signaux UWB dû à sa basse perte, bas coût et les caractéristiques de sa large bande passante.

Un système ULB sur fibre optique est donc conceptuellement très simple puisqu'il transmet tous les signaux radio d'une microcellule vers les autres. La couverture ULB haut débit est étendue à l'ensemble de la macro-cellule suivant différentes architectures détaillées plus bas.

II.6.1. Architecture radio sur fibres RoF

Différentes topologies de réseaux radio sur fibre sont envisageables. Nous pouvons citer quelques exemples :

- Point-à-point.
- Point-à-multipoints.
- Multipoints-à-multipoints.

Les architectures point-à-point sont les plus simples à mettre en œuvre, mais elles restent d'une utilité très limitée puisqu'une liaison est exclusivement dédiée à une seule paire d'utilisateurs (ou éventuellement d'une pièce à une autre). Les configurations centralisées (point-à-multipoints optiques) ou décentralisées (multipoints-à-multipoints optiques) sont néanmoins plus avantageuses. Selon l'architecture implémentée, le lien optique pourra contenir une fibre à deux fibres ; de type multi-modes moins onéreuses, ou mono-mode plus performantes. En outre, puisque le point d'accès nécessite une alimentation électrique, le lien pourra également contenir la partie électronique

II.6.1.1. Architecture point-à-point

Le lien optique point-à-point pour les communications RoF est représenté de manière schématique sur la figure II.11. Il a une fonction de « répéteur » en transportant le signal de l'antenne de réception à l'antenne de ré-émission en sortie du lien.

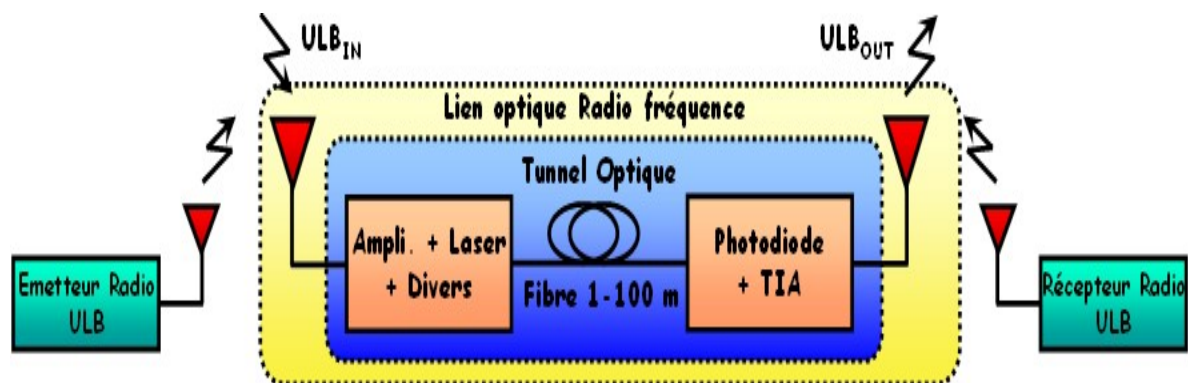


Figure II.11 : Schéma du tunnel optique pour les communications RoF dans une liaison point-à-point.

Cette liaison comprend tout d'abord une antenne de réception et un amplificateur faible bruit LNA. Une source laser (directe ou externe) est utilisée pour moduler le signal reçu sur la fibre optique. La longueur du lien optique varie de quelques centimètres à plusieurs centaines de mètres, pour une distance entre l'émetteur/récepteur RF ULB comprise entre 1 et 10 m (suivant le débit et l'état du canal de propagation). Divers types de fibres sont envisageables (multi-modes ou monomode). Enfin, le signal optique est reconverti en signal électrique par l'intermédiaire d'une photodiode associée à un amplificateur trans-impédance TIA (Trans-Impedance Amplifier) avant la réémission. L'ensemble des autres architectures étant développé sur cette base, nous ne considérerons par la suite que ce type de liaison.

II.6.1.2 Architecture point-à-multipoints

Dans les architectures centralisées (coupleur 1 vers N), toutes les antennes déportées sont connectées au routeur ULB au moyen d'un coupleur 1xN comme nous l'illustrons sur la figure II.12

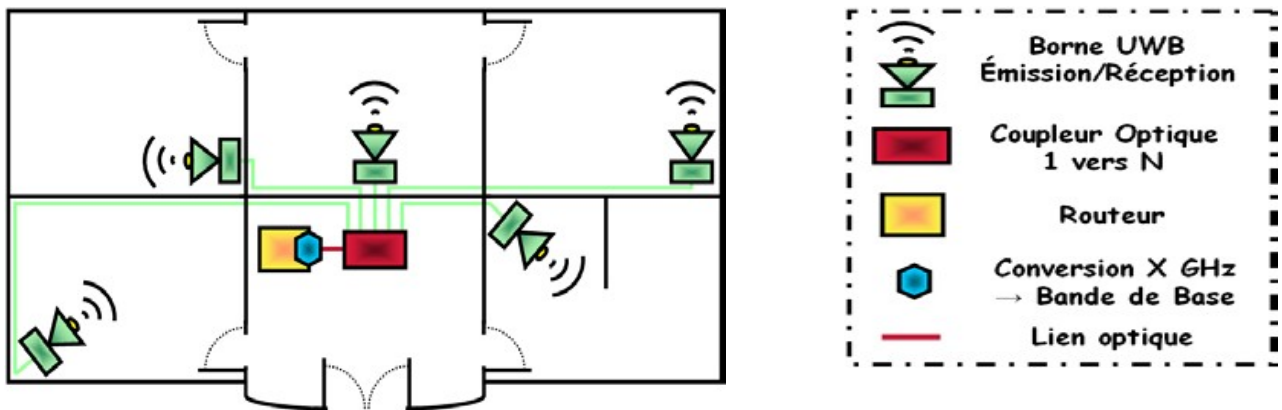


Figure II.12 : Schéma d'un réseau hybride radio-optique avec liens point-à-multipoints RoF basé sur un coupleur 1 vers N.

Le routeur ULB est connecté directement sur le réseau d'accès. Contrairement à une utilisation en point-à-point, l'idée est de limiter le nombre d'interfaces RoF sur le routeur. Dans le sens descendant (du routeur vers l'objet communicant via l'antenne), les données sont diffusées à toutes les antennes. La fonction de diffusion est donc très simple et les informations destinées à un objet communicant peuvent être par exemple décodées par

l'intermédiaire de l'adresse de destination. Dans le sens montant (de l'objet communicant vers le routeur via l'antenne), il faut un partage temporel des droits de parole afin qu'il n'y ait pas de collision au niveau du coupleur optique.

Les éléments nécessaires sont une interface électronique/optique sur le routeur ULB et l'antenne déportée au point d'accès dans chaque pièce de la maison.

▪ Architecture multipoints-à-multipoints

Par rapport à l'architecture centralisée, l'idée d'une architecture multipoints-à-multipoints est d'utiliser un coupleur optique NxN afin que tous les points d'accès soient reliés. Une topologie originale de réseau RoF passif dédié à la distribution de signaux ULB par voie optique a été proposée dans le cadre du projet BILBAO sur la figure II.13. Cette topologie de réseau a fait l'objet d'un dépôt de brevet.

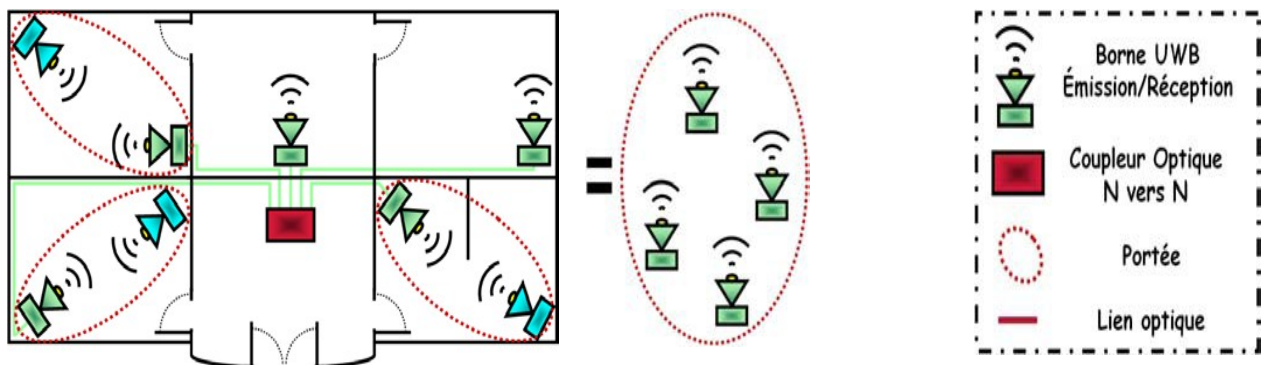


Figure II.13 : Schéma d'un lien radio sur fibre basé sur un coupleur N vers N. réseau hybride radio-filaire avec liens multipoints à multipoint

II.6.2 Description d'une liaison optique ULB

Pour le signal RF à large bande, nous considérons le signal à bande ultra large utilisant le multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (ULB MB-MROF) ou encore ULB-OFDM, qui a été proposé comme solution pour le réseau de secteur personnel sans fil d'IEEE 802.15.3a (WPAN).

En premier le signal UWB est produit d'un émetteur ULB et directement modulé par un laser figure II.14 ou un modulateur externe optique comme montré dans la figure II.15, et alors MB OFDM le signal ULB devient une sous porteuse optique. Après distribution sur la fibre la photodiode convertit directement le signal ULB-OFDM optique à un signal radio ULB, signal qui sera émis par une antenne ULB à l'emplacement d'utilisateur.

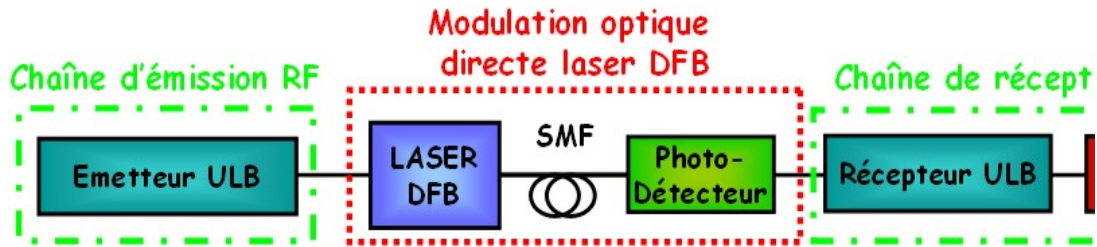


Figure II.14 : Chaîne de transmission ULB sur fibre avec une transmission directe (laser DFB directement modulé).

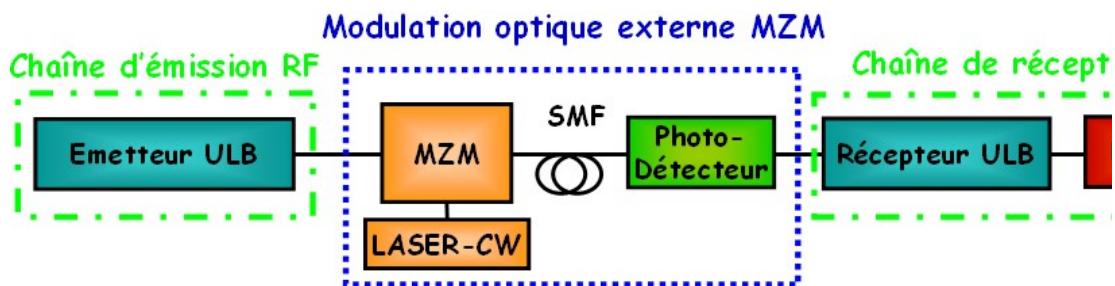


Figure II.15 : Chaîne de transmission ULB sur fibre avec une modulation externe (modulateur MZM).

Les signaux RF injectés à l'entrée des deux chaînes optiques sont dans les deux cas identiques. Ce sont des signaux de données ULB-OFDM, de puissance P_{ULB} et de fréquence centrale f_{ULB} . Les deux transducteurs permettent de réaliser une modulation d'intensité optique par l'intermédiaire du signal ULB.

Le choix de ces deux types de modulation a porté sur les critères suivants : la modulation directe de la diode laser DFB est utilisée comme une solution peu onéreuse. Elle présente en revanche (suivant les caractéristiques des diodes) une largeur de BP relativement limitée (≈ 6 GHz). Cela ne permet pas dans tous les cas de transmettre l'intégralité des sous-bandes OFDM comprises entre 3,1 à 10,6 GHz. De plus, cette solution entraîne une modulation de fréquence parasite (chirp). Inversement, la modulation externe qui utilise un modulateur MZM montre une plus large BP qui peut aller jusqu'à 40 GHz au détriment d'un coût plus important.

Le signal se propage ensuite le long d'une fibre optique monomode SMF (Single Mode Fiber) répondant à la norme G652. Contrairement aux fibres multi-modes, les fibres

monomodes présentent l'avantage d'avoir une BP beaucoup plus large et des distorsions moins importantes.

En revanche, dans le cas d'une application bas coût, les fibres multi-modes seront d'avantage préconisées. Un Photo-Détecteur (PD) réalisant la conversion O/E termine la chaîne optique. Il s'agit d'un photo-détecteur PIN.

Malheureusement, la transmission du signal RF ULB sur la fibre est sujette à un certain nombre de défauts. Ces défauts incluent :

- la déformation non linéaire induite par l'émetteur optique
- l'affaiblissement de la puissance RF induit par la dispersion chromatique de la fibre

Les solutions suivantes sont préconisées

- Rendre linéaire des modulateurs optoélectroniques à large bande,
- Compenser l'affaiblissement de la puissance du signal RF dû à la dispersion chromatique de la fibre,
- Améliorer l'efficacité de la modulation optique,
- Élever/Abaisser la fréquence à l'onde millimétrique pour la liaison RoF.

II.6.3. Etat de l'art et intérêt de la distribution et du traitement du signal ULB par voie optique

Dans la perspective du déploiement des futurs réseaux radio larges bandes, les systèmes hybrides optique-radio sont très attractifs. Ils permettent de profiter à la fois des propriétés avantageuses des fibres optiques pour le transport longue distance, mais également de la souplesse et du faible coût d'exploitation de la liaison radio. Ainsi, de nombreuses études ont porté sur des systèmes RoF dédiés aux transports des standards WiFi à bande étroite (comparés aux signaux ULB) sur fibre monomode ou sur fibre multimode. Les études portant sur la distribution de signaux ULB par voie optique sont beaucoup plus récentes.

En plus de la simple distribution de signaux radio par fibre, le domaine de l'optique offre aussi la possibilité de traiter le signal électrique directement par voie optique. Les avantages sont de plusieurs ordres : d'une part, la grande largeur de bande-passante des composants optiques par rapport aux dispositifs électroniques classiques, d'autre part, la possibilité de traiter le signal ULB directement sur la chaîne de transmission optique, ce qui évite ainsi d'avoir des pertes et distorsions supplémentaires engendrées par les conversions du domaine optique dans le domaine électrique (conversions O/E), et vis versa (conversions E/O) pour prolonger l'acheminement du signal.

Nous constaterons également qu'aucune norme ne semble à l'heure actuelle restreindre les applications ULB dans le domaine de l'optique. Ainsi, les restrictions en termes de puissance (notamment) applicables aux communications RF ne sont pas de rigueur en optique. Les conséquences ne sont pas non plus similaires puisque tous les problèmes liés au canal de propagation RF sont bien moins problématiques dans le canal optique (fibre). Pour des questions pratiques de mise en œuvre et de compatibilité, nous considérerons pour les deux systèmes (RF et optique) des signaux soumis aux mêmes contraintes. De nombreux travaux ont déjà été publiés concernant les possibilités de traitement du signal directement dans le domaine optique pour les signaux à bandes étroites.

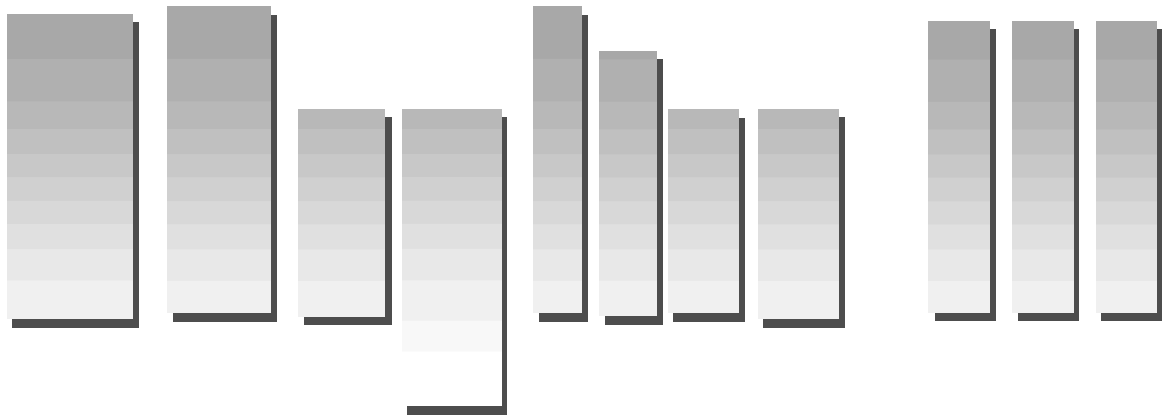
Conclusion

La principale contrainte des technologies sans fils est la faible bande passante allouée dans les gammes de fréquences radio. Ces technologies sont limitées par rapport aux performances que réclament les utilisateurs.

Les services de communication réclamés exigent une combinaison de la mobilité et du haut débit. Les systèmes de communication actuels (systèmes hybrides fibres/radio) sont destinés à fournir les services multimédia (Internet haut débit, visiophonie, etc.) large bande aux utilisateurs mobiles. Ils associent les avantages du sans fil avec ceux de la fibre optique.

De ce fait, ils offrent une alternative attractive des nombreux domaines d'application, comme la couverture interne des bâtiments, les réseaux sans fils locaux et cellulaires. Malgré, les efforts déployés, cette technologie présente encore des limites. De nombreux problèmes ont dû être résolus pour arriver à des solutions performantes commercialisables. Les plus importants concernent les effets de la dispersion, les effets non linéaires et les effets dus au bruits de phase.

Dans ce travail, particulièrement au chapitre III, nous avons fait un point de la situation concernant la compensation des effets de la dispersion chromatique.



III.1. Introduction

La conception des systèmes associés est de plus en plus complexe, tant le nombre de paramètres influant sur les performances de la liaison est important. Aussi, les outils de simulation constituent une assistance de plus en plus utilisée pour aider à trouver rapidement des solutions, aussi bien au niveau du composant que du système.

Ce chapitre propose une description exhaustive du logiciel COMSIS et de l'Optisystem le logiciel de simulation retenu pour cette étude, destinée à faciliter la connaissance et la maîtrise des simulateurs par les futurs utilisateurs. Une liaison optique établie utilisant les modèles proposés dans la bibliothèque d'Optisystem est réalisée.

III.1.1. Simulateur système COMSIS

Le développement des télécommunications par fibres optiques a multiplié les architectures des réseaux. La conception des systèmes associés est un problème de plus en plus complexe, tant le nombre de paramètres influant sur les performances de la liaison est important. De plus, il est demandé à ces derniers à la fois de transporter des capacités d'informations de plus en plus importantes, et de se renouveler très rapidement. Les outils de simulation constituent une assistance intéressante pour trouver des solutions, aussi bien au niveau du composant que du système. Les logiciels peuvent être une aide à la conception et à la prise de décision, tout en évitant la multiplication d'essais compliqués et onéreux. Ils permettent de prendre en compte les améliorations technologiques des composants, parfois même avant qu'ils ne soient disponibles sur le marché. Non seulement ils vont mesurer la qualité de transmission d'une liaison, mais aider à en optimiser les performances.

En plus de l'aide précieuse qu'ils sont à même d'apporter pour le développement des systèmes actuels, les simulateurs de systèmes de transmissions optiques peuvent être d'une grande utilité pour la recherche et l'investigation des futurs systèmes.

III.1.1.1 Présentation du logiciel

COMSIS est un logiciel de simulation système développé par une société française, IPSIS (Ingénierie Pour Signaux et Systèmes), basé sur la technopole de Rennes. L'acronyme de COMSIS signifie COMmunication System Interactive Software.

Ce logiciel est un outil qui permet aux chercheurs et aux ingénieurs de modéliser, simuler, analyser et concevoir tout module de traitement du signal allant du dispositif le plus

élémentaire au système complet de communication. C'est un environnement interactif qui allie des outils numériques à des fonctionnalités graphiques et une interface utilisateur. Il permet d'analyser des systèmes analogiques ou numériques décrits sous la forme de schémas bloc.

- L'éditeur de schéma-bloc

COMSIS offre un environnement intégré où toutes les fonctions d'éditations et de traitements s'articulent autour de l'éditeur de schéma-bloc (Figure III- 1).

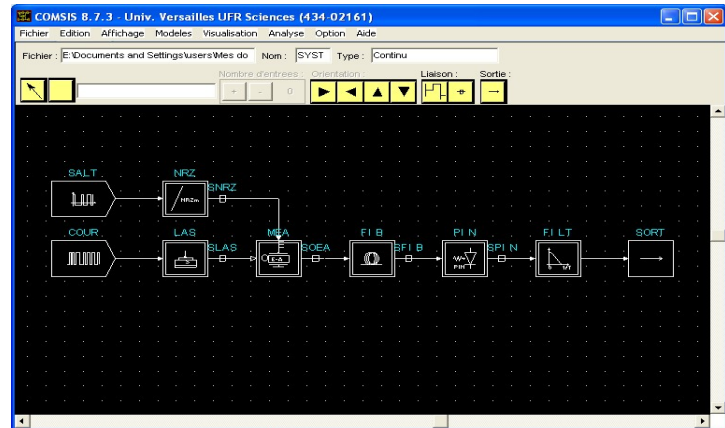


Figure III.1 schéma bloc

Pour la construction du schéma bloc il suffit de sélectionner, à l'aide de la souris, des objets disponibles dans la bibliothèque et de les déposer sur la feuille de dessin. Ces objets représentent des modélisations d'opérateurs, d'entrées et de sorties et doivent être interconnectés et nommés. Une fois ces modèles positionnés, reliés et nommés, leurs paramètres caractéristiques doivent être définis, sous forme numérique ou à l'aide d'un paramètre formel, avant de lancer l'analyse du système. Il faut encore insérer des variables intermédiaires (correspondant aux grandeurs d'entrée et de sortie des opérateurs) et les nommer. Ainsi, le simulateur a accès aux signaux en chaque point du schéma.

- **La bibliothèque**

La bibliothèque de COMSIS a été développée en collaboration avec France Télécom R&D.

Parmi les modèles disponibles dans la bibliothèque (Figure III- 2) de COMSIS, citons, par exemple, les codes correcteurs d'erreurs, les fonctions logiques, les modulations les démodulations, les composants optiques,...

La bibliothèque est assez étendue et continue régulièrement de s'enrichir. De plus,COMSIS offre la possibilité de développer et d'intégrer nos propres modèles écrits en langage C ou FORTRAN, grâce au Builder de COMSIS.

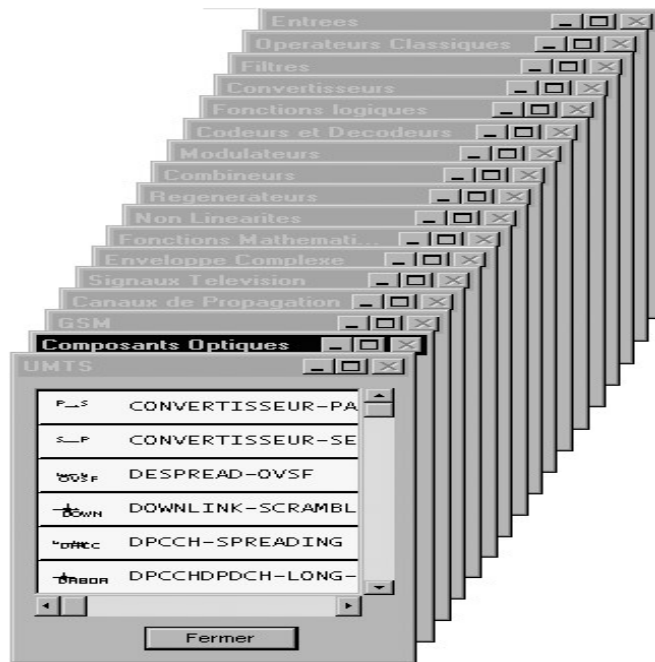


Figure III- 2 : La bibliothèque de modèles de COMSIS

III.1.1.2.La simulation

Une fois le schéma construit, la simulation peut être lancée. La première phase que réalise le logiciel COMSIS est la modélisation du système. Puis une analyse de la liaison est réalisée. Ces deux opérations exécutées, la simulation pourra enfin s'effectuer.

a. La modélisation du système

Le terme système est utilisé dans une quantité de contexte et de sens différents. Dans le domaine des télécommunications, le terme système désigne un ensemble d'éléments interdépendants ayant pour finalité commune d'acheminer, de manière aussi fidèle et fiable que possible, des informations entre divers usagers.

b. L'analyse du système

L'analyse d'un système a un double objectif. D'une part, elle doit mener à la simplification formelle du système pour réduire le temps de simulation et augmenter la précision sur les résultats obtenus. Et d'autre part, elle permet de déterminer les fréquences de référence des variables qui doivent être simulées.

c. La simulation d'un système

COMSIS propose de traiter des systèmes continus, discrets et échantillonnés. Les systèmes continus, dont les variables sont représentées dans l'espace réel du temps, nous intéressent plus particulièrement.

III.1.1.3. Les résultats de simulation

Une fois que le schéma est construit, COMSIS a la possibilité de réaliser plusieurs types d'analyses. Tout dépend du système dont on veut évaluer les performances. Cela peut être juste l'analyse d'un composant, d'un opérateur fonctionnel, pour voir ses propres performances, ses caractéristiques ou alors l'évaluation des performances d'une liaison entière ou partielle, l'évaluation de la qualité de l'information transmise. C'est donc d'abord par une description de ces différentes simulations que va débiter ce paragraphe. Les résultats de simulations peuvent ensuite être visualisés sous différentes représentations, ces dernières seront alors énumérées dans le paragraphe suivant.

III.1.1.3.1. Les différentes analyses

Dès qu'un système est complètement décrit, il est possible d'effectuer différentes analyses temporelles et fréquentielles, accessibles à partir du menu Analyse de l'Editeur de schéma-bloc, comme le montre la Figure III- 3.

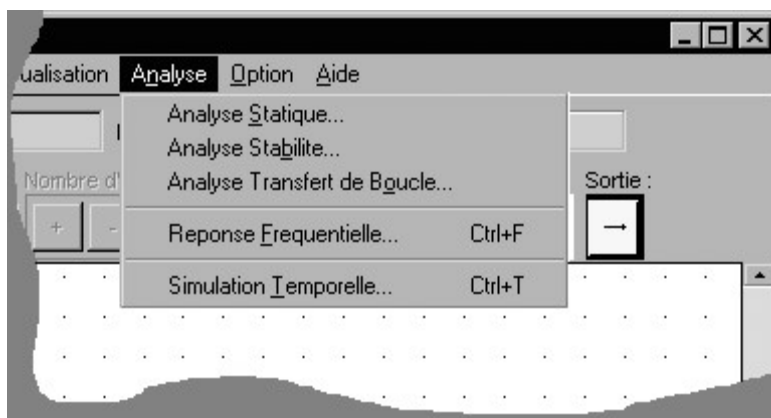


Figure III- 3 : Le menu d'analyse de COMSIS.

- **L'analyse statique**

COMSIS permet de connaître certaines courbes ou valeurs caractéristiques d'opérateurs non rationnels grâce à la commande Analyse Statique du menu Analyse.

Lorsque cette commande est activée, la cohérence du schéma est d'abord vérifiée. Une fois les calculs terminés, les résultats sont affichés dans la fenêtre graphique

- **L'analyse de stabilité**

Lors de l'activation de la commande Analyse Stabilité du menu Analyse, COMSIS calcule la réponse en fréquence et les marges de stabilité d'un sous-système linéaire. COMSIS édite les marges de stabilité (phase, retard, module et module complémentaire) dans le journal de la fenêtre alphanumérique. La visualisation des résultats dans la fenêtre graphique peut être présentée sous trois formes différentes : diagrammes de Bode (amplitude et phase), de Black et de Nyquist.

- **L'analyse de transfert de boucle**

L'activation de la commande Analyse Transfert de Boucle du menu Analyse provoque le calcul de la réponse en fréquence et des marges de stabilité des boucles. COMSIS édite les résultats sous la même forme que pour l'analyse de stabilité.

- **La réponse fréquentielle**

COMSIS permet de calculer la réponse fréquentielle d'un opérateur de filtrage non rationnel ou d'un sous-système rationnel grâce à la commande Réponse Fréquentielle du menu Analyse. Le logiciel vérifie toujours la cohérence du schéma. Lorsque le calcul est terminé, COMSIS affiche la réponse fréquentielle en amplitude, en phase et en temps de propagation de groupe.

- **La simulation temporelle**

La commande Simulation Temporelle du menu Analyse permet de déterminer la réponse d'un système à des signaux dans le domaine temporel. Cette analyse est légèrement différente car ne concerne plus l'analyse d'un opérateur mais plutôt l'analyse du signal envoyé pendant sa transmission. A l'issue de la simulation, la fenêtre d'Evaluation des Performances propose différents traitements sur les variables simulées. Ils seront examinés dans le prochain paragraphe.

III.1.1.3.2. La visualisation et le traitement des résultats

Suite à toute simulation, COMSIS offre des résultats, basés sur l'analyse des signaux simulés Affichage, Caractéristiques, Bilan de puissance, Facteur Q, Rapport signal à bruit,

Mesure de taux d'erreur... L'affichage est effectué dans un écran de visualisation, encore appelé fenêtre graphique (Figure III- 4).

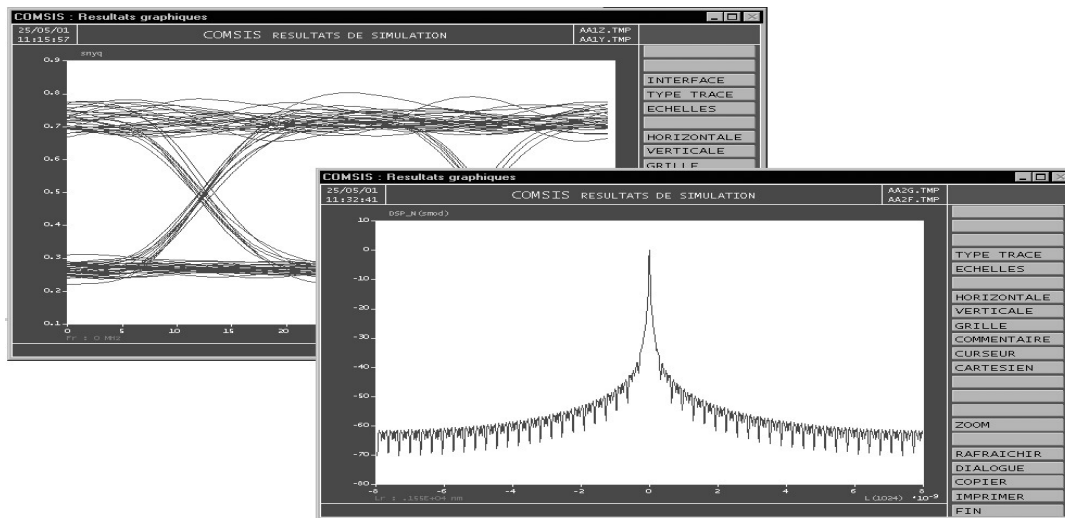


Figure III- 4 : L'écran de visualisation des résultats de COMSIS.

La simulation temporelle est l'analyse permettant le plus grand nombre de possibilités dans l'exploitation des résultats. Les autres analyses affichent directement le résultat demandé dans la fenêtre graphique (cf. § I 3.1). C'est pourquoi dans la suite de ce paragraphe, les différentes possibilités d'interprétation et de traitement des résultats seront décrites pour une simulation temporelle, même si parfois, elles peuvent encore être valables dans les autres cas. Durant la simulation, un écran de contrôle permet de suivre l'état d'avancement des calculs. Quand ceux-ci sont terminés, la fenêtre d'Evaluation des Performances propose plusieurs possibilités (Figure III- 5).

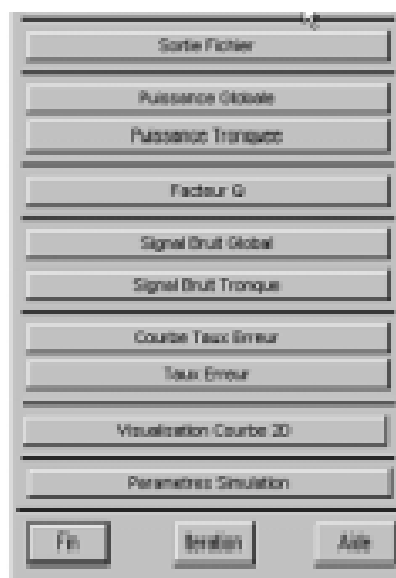


Figure III- 5 : Fenêtre d'évaluation des performances.

Les commandes suffixées Globale exploitent les signaux sur tous les points simulés. Les commandes suffixées Tronqué(e) offrent la possibilité de travailler sur un sous-ensemble de points, en limitant la durée du signal et/ou en le sur-échantillonnant.

a. Visualisation des résultats de simulation

La commande Visualisation affiche les variables calculées, soit directement dans le domaine temporel, soit après qu'elles aient subi un pré-traitement. Lorsque cette commande est activée, la fenêtre Variables et Pré-traitements apparaît et donne accès aux choix de ces traitements à effectuer et des variables simulées sur lesquels les effectuer.

- **La réponse temporelle**

Cette commande permet d'observer directement les variables simulées, sans prétraitement. L'abscisse des courbes est constituée d'une base de temps.

- Les fonctions de corrélation
- Le diagramme de l'œil

Expérimentalement, on obtient le diagramme de l'œil en observant, sur un oscilloscope, le signal reçu, en fonction d'une base de temps synchronisée sur l'horloge des données. En simulation, on utilise une technique identique qui repose sur la connaissance d'une variable d'horloge de synchronisation, utilisée pour générer la base de temps appropriée. COMSIS offre la possibilité de faire des mesures quantitatives sur les diagrammes de l'œil : ouverture horizontale, ouverture verticale, taux d'extinction, hauteur de l'œil, facteur Q, position des intersections, largeur de l'œil, gigue... Une aide en ligne est à disposition avec le logiciel pour effectuer ces différentes mesures.

- Le diagramme vectoriel ou trajectoire
- La vue tridimensionnelle
- Le diagramme de constellation
- La transformée de Fourier

La transformée de Fourier étant complexe, COMSIS édite, dans deux cadres différents, la partie réelle et la partie imaginaire.

- La densité spectrale de puissance
- La puissance instantanée
- L'histogramme
- La fonction de distribution cumulative

b. Sauvegarde des résultats de simulation

Chaque variable simulée dans COMSIS peut être stockée indépendamment dans un fichier binaire contenant les caractéristiques du signal sauvegardé. Pour cela, il faut activer la commande Sortie Fichier. Les résultats de simulation ainsi sauvegardés peuvent être ré exploités dans COMSIS ou réinjectés dans une autre application.

c. Bilan de puissance

La puissance est une grandeur essentielle pour caractériser le niveau des signaux émis et reçus. Avec la commande Puissance, pour chaque variable, COMSIS récupère le fichier relatif à la simulation des composantes en phase et en quadrature et calcule la puissance moyenne en chaque point de simulation. Cette puissance est donnée en dBm (décibels relatif à 1 mW)

d. Rapport signal à bruit

Dans les systèmes de télécommunications où le signal reçu peut être d'un niveau très faible, il est important de s'intéresser au bruit présent en chaque point de la chaîne de réception. Puisque le bruit varie à tout moment de façon imprédictible, on préfère l'analyser par le biais de sa puissance moyenne. C'est ainsi que l'on introduit la notion de rapport entre la puissance moyenne du signal et la puissance moyenne du bruit. La méthode de calcul est basée sur une deuxième simulation du système qui a pour objectif d'isoler, soit la contribution du bruit, soit celle du signal utile. En retranchant aux signaux issus de la première simulation les signaux issus de la deuxième simulation, on obtient la contribution soit du signal utile, soit du bruit. La validité de cette méthode impose qu'il n'y ait aucune corrélation entre les signaux utiles et les signaux brouilleurs.

e. Détermination du facteur Q

La simulation a permis de calculer le signal bruité dont on veut évaluer le facteur Q. COMSIS calcule alors les niveaux moyens du signal bruité et les écarts-types sur la transmission des niveaux hauts et des niveaux bas.

f. Taux d'erreur sur les bits

COMSIS propose trois méthodes de mesure du taux d'erreurs binaire (TEB) et le tracé des courbes de taux d'erreur.

g. Modifications des paramètres de simulation

Enfin, la dernière commande Paramètres Simulation offre la possibilité de modifier certains paramètres utilisés en simulation et en évaluation des performances.

III.1.2.Simulateur système Optiwave

L'optisystem est un paquet de système de simulation de communication optique innovatrice qui dessine, teste et qui optimise virtuellement tout type de liens optiques dans la couche physique d'un réseau optique à spectre large, à partir d'un système de transmission analogue de vidéo jusqu'au backbones intercontinentales.

L'optisystem est un produit unique qui ne s'appuie pas sur les autres travaux de simulation. C'est un system de simulation de niveau basé sur un modèle réaliste de systèmes de communication sur fibre optique. Il possède un puissant nouvel environnement de simulation et une véritable définition architecturale de composants et de systèmes. Ces capacités peuvent être étendues facilement avec l'addition des composants usuels.

Une interface utilisateur graphique compréhensif contrôle le tracé du composant et la présentation graphique.

La bibliothèque extensive des composants actifs et passifs inclue les paramètres d'onde dépendante. Les paramètres de la trajectoire te permettent de faire une investigation des effets de spécifications d'un appareil particulier sur un système de performance.

Créer pour adresser les besoins de recherches scientifiques, les ingénieurs d'optique télécom, les étudiants, et une large variété d'autres utilisateurs, optisystem répond à la demande du boom photonique pour un outil de système optique facile à utiliser et puissant. Optisystem est aussi disponible dans deux configurations :

- Edition amplifiée
- Edition multimode.

A. Démarrage d'optisystem

Etape Action

1 sur la barre d'outils, Clicker Start

2 sélectionné programme > Optiwave software > Optisystem 7 > Optisystem

Optisystem s'ouvre et l'interface graphique d'utilisateur apparaît (fig III.6).

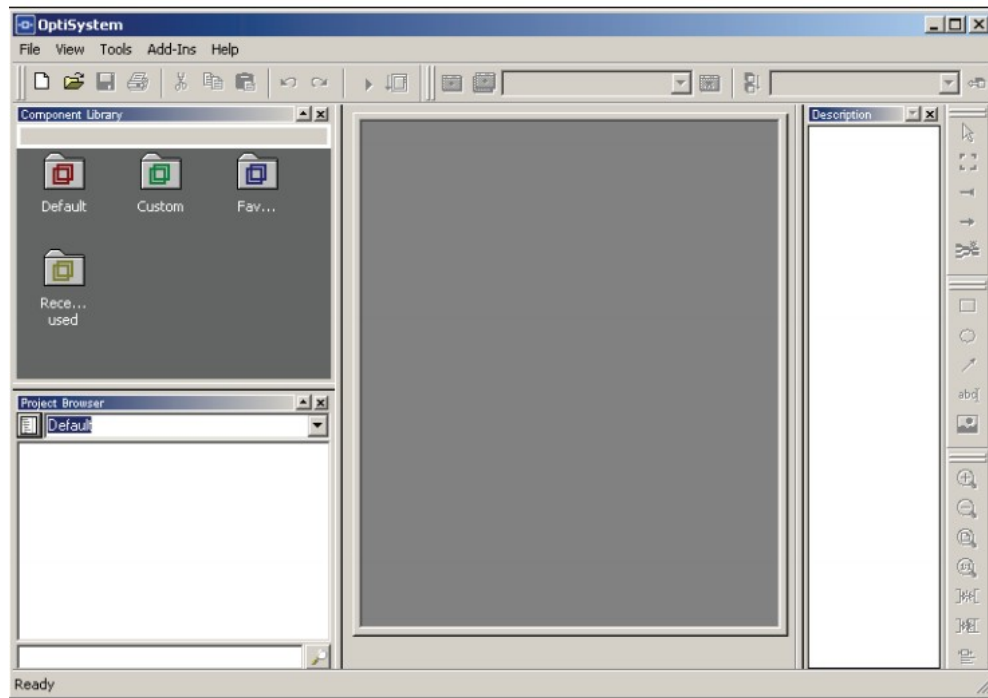


Figure III.6 : Interface graphique d'utilisateur d'optisystem

B. Parties principales de GUI

L'optisystem contient les fenêtres suivant :

- Le tracé du projet
- Le Dockers
 - Les composants de la bibliothèque
 - Le chercheur de projet
 - Description
- Bar de status

Le tracé du projet

La principale surface de travail principal où on insère les composants dans les tracés, écrire les composants et créer les connections entre composants (fig III.7)

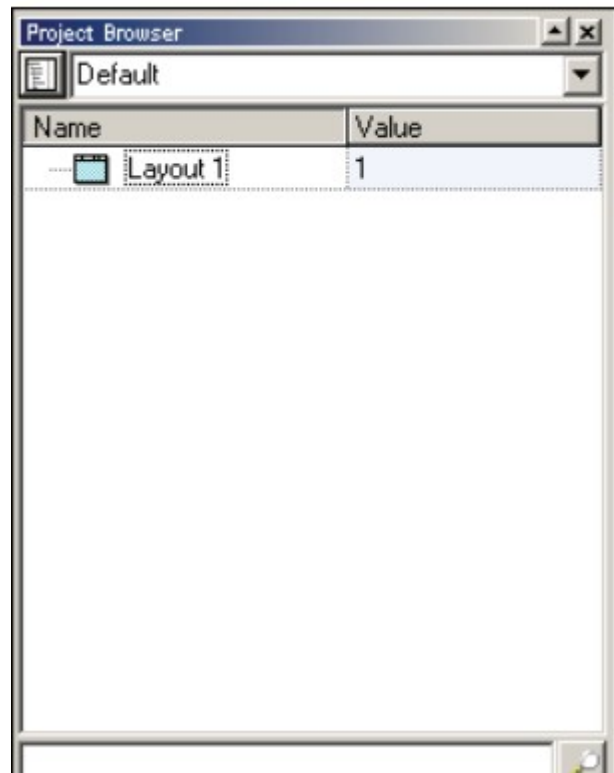


Figure III. 7: Fenêtre du navigateur de projet.

Dockers

Utiliser dockers, localiser dans le tracé principal, pour afficher dans les informations concernant le projet courant :

- Les composants de la bibliothèque
- Les chercheurs du projet
- description

a) Composant de la bibliothèque

Accéder aux composants pour créer le dessin du système (fig.8)

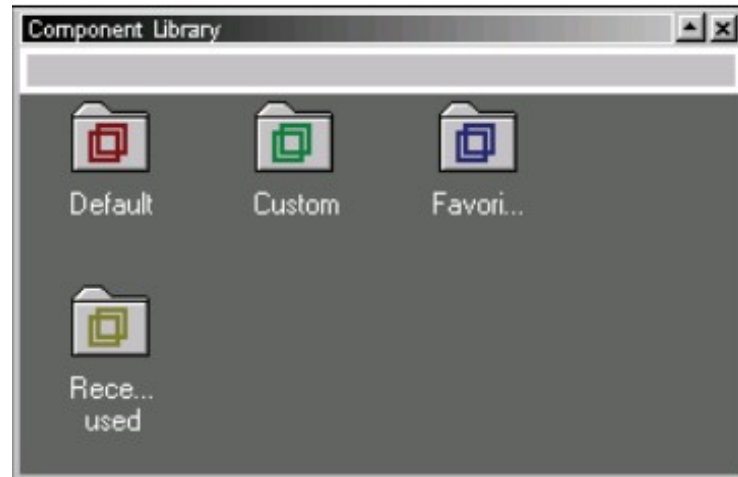


Figure III.8 : Fenêtre de la bibliothèque des composants

b) Chercheur du projet

Organiser le projet pour achever les résultats de façon efficace et naviguer au travers le projet courant .

c) Description

Afficher les informations détaillées à propos du projet courant (fig.9)

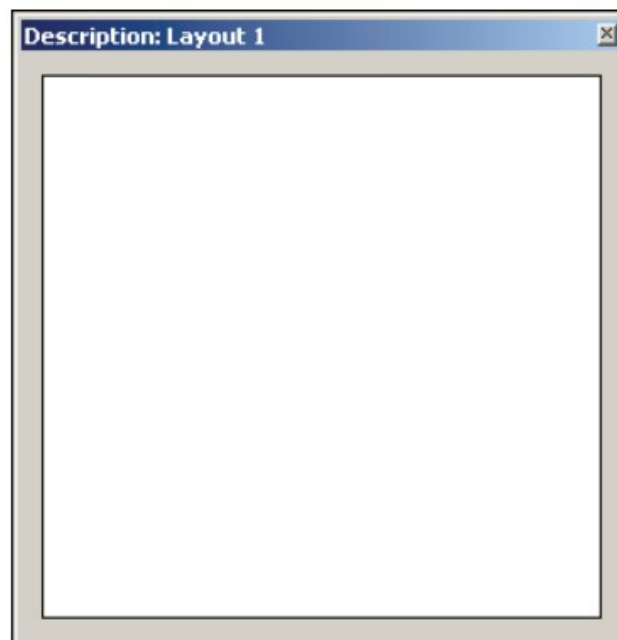


Figure III.9 : Fenêtre de description

Bar de status

Affiche le calcul du projet, les conseils importants à propos d'optisystem et autres aides.

A localiser en dessous de la fenêtre du tracé du projet.

[CTRL] - Duplicate, [SHIFT] - Add to selection, [CTRL + SHIFT] Resize layout.

Figure III. 10: Bar de status

Bar de menu

Utilisation des composants de la bibliothèque

Suivre la procédure suivante :

Etape Action

1. débiter un nouveau projet, à partir du menu principal Toolbar, sélectionner File-New
- 2 .A partir de la bibliothèque des composants, sélectionner Default-transmitters Library
- 3 . Dessiner le laser sur le tracé du projet (fig. 11)

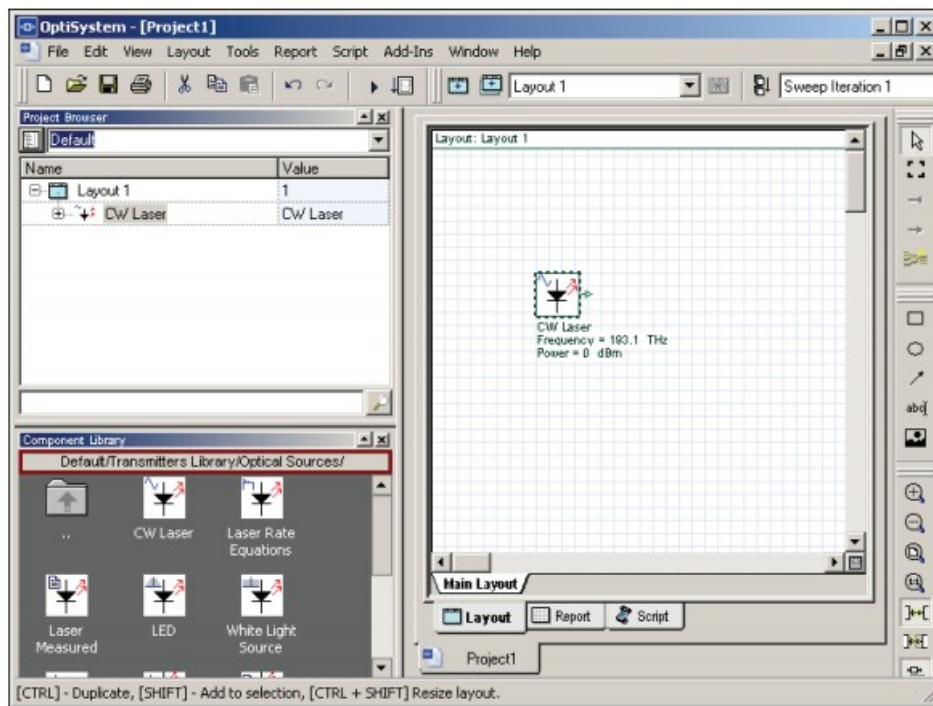


Figure III.11 : L'addition d'un laser CW sur le tracé du projet

- 4.A partir de la bibliothèque de composants, sélectionner Default-Transmitters-Optical modulators.
5. dessiner le modulateur Mach-Zehnder sur le tracé du projet (fig.12)

La connexion des composants se fait automatiquement ou manuellement.

6. A partir de la bibliothèque de composants, sélectionner Default-Transmitters Library-Bit sequence generator .

7. Dessiner sur le tracé du projet le pseudo-Random bit sequence generator

8.A partir de la bibliothèque de composants, sélectionner Default-Transmitters-Pulse generators-Electrical

9. Dessiner sur le tracé du projet le générateur NRZ (fig.12)

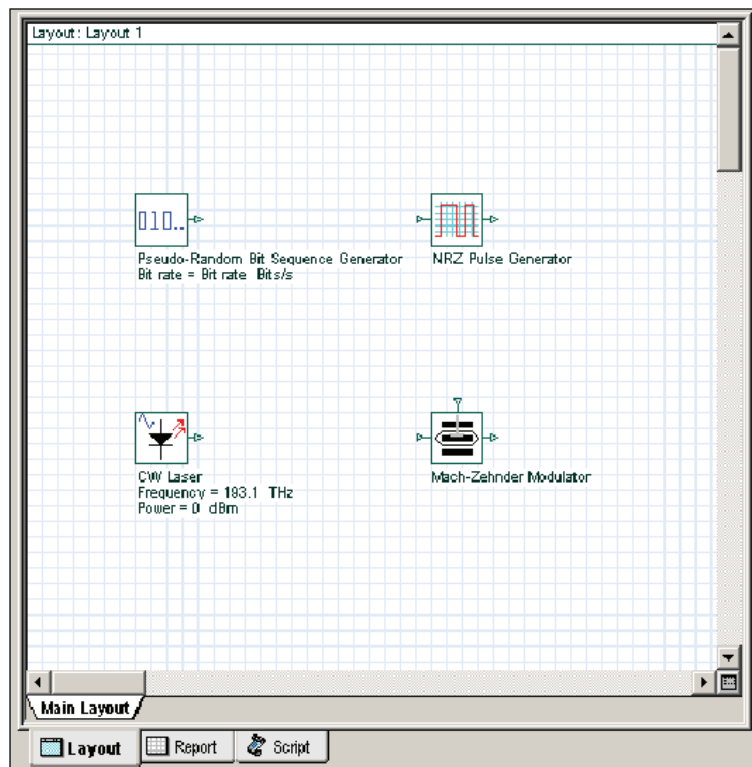


Figure III.12 : Addition d'un composant sur le tracé du projet

La connexion manuelle des composants

On click sur la fenêtre ci-dessous et on fait un click sur les composants pour les



relier.

Figure III.13: Curseur

On place le curseur sur le port de sortie d'un de composant puis on le relie au port d'entrée de l'autre.

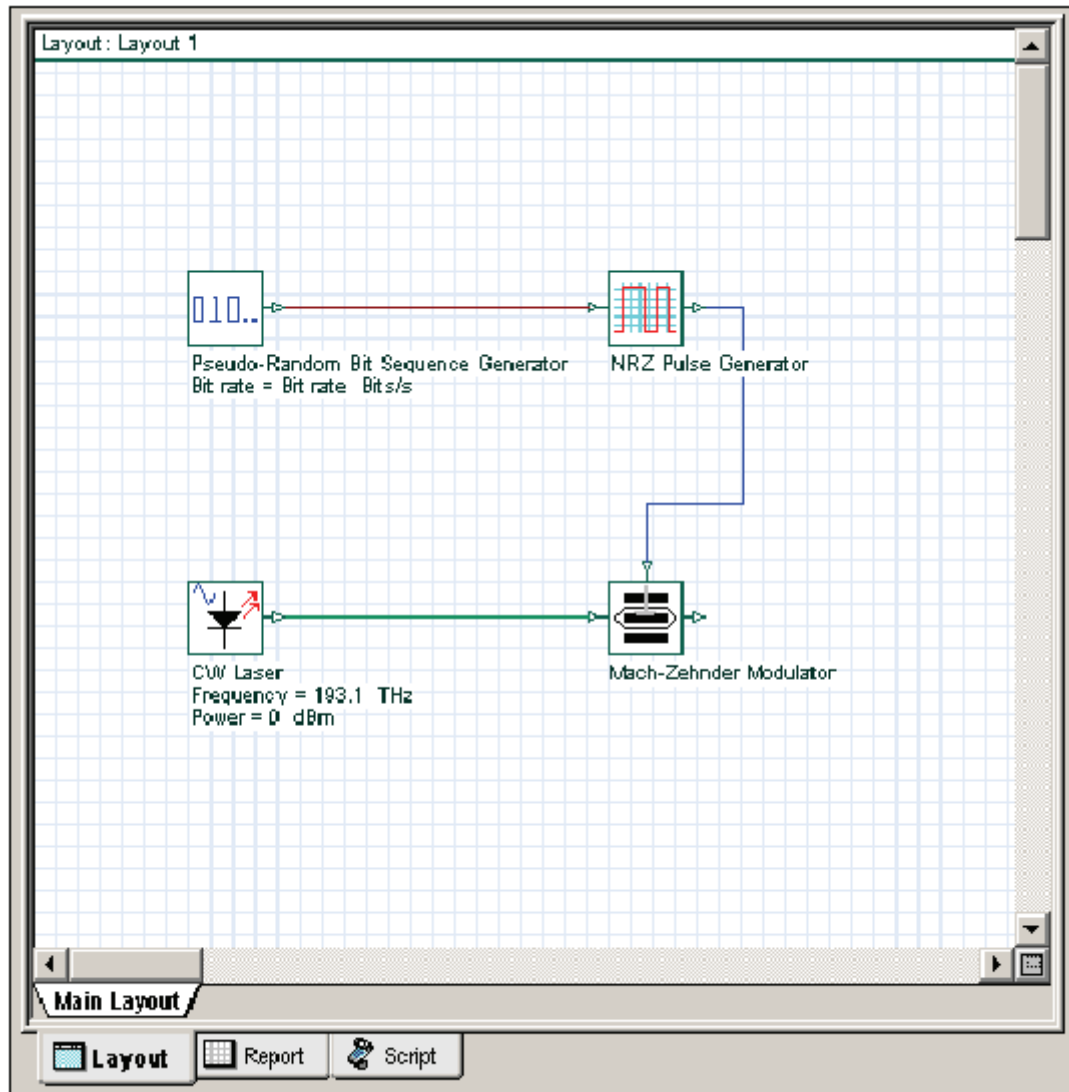


Figure III.14 : Connexion des composants

On peut donc relier les différents composants aux appareils de mesure tels que l'oscilloscope, l'analyseur de spectre qui sont disponibles dans la bibliothèque.

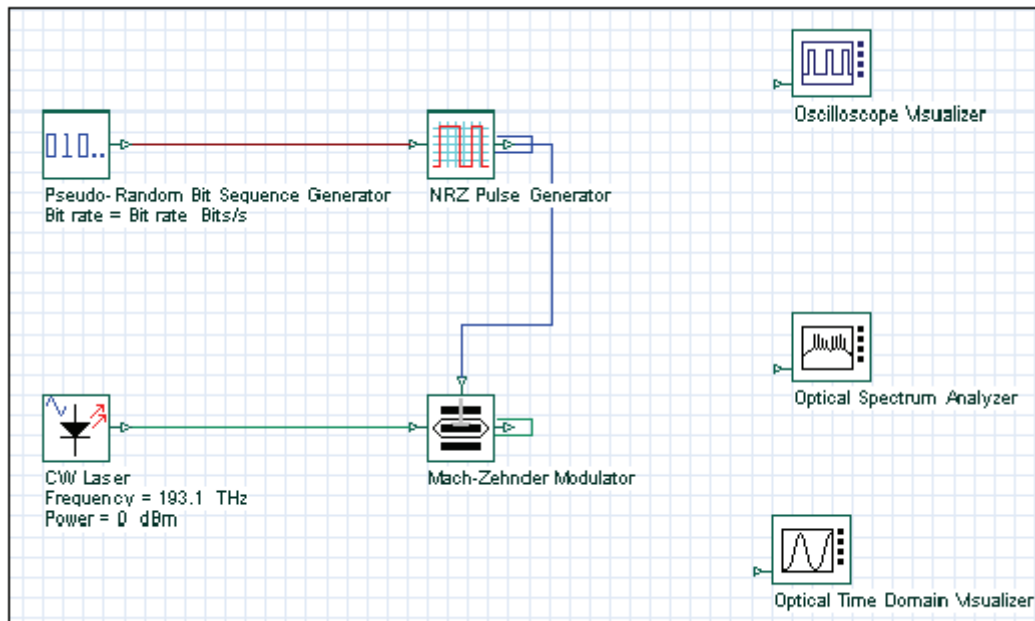


Figure III.15 : Visualisation des composants

III.2 Simulation

Dans cette partie du chapitre nous présentons les résultats d'une petite application dont l'objectif est l'observation de l'influence de la dispersion chromatique sur la qualité de la transmission. Deux cas sont traités :

- Une liaison optique à 2.5 et 40 Gbit/s sans compensation
- Une liaison optique à 2.5 et 40 Gbit/s avec compensation.

L'évaluation des performances de la liaison optique est faite par le moyen du diagramme de l'œil.

III.2.1. Paramètres des modèles

Les caractéristiques des composants utilisés dans cette liaison optique sont réparties comme suit :

1) L'émetteur :

L'émetteur est composé des éléments suivant :

- L'entrée est une séquence binaire pseudo-aléatoire

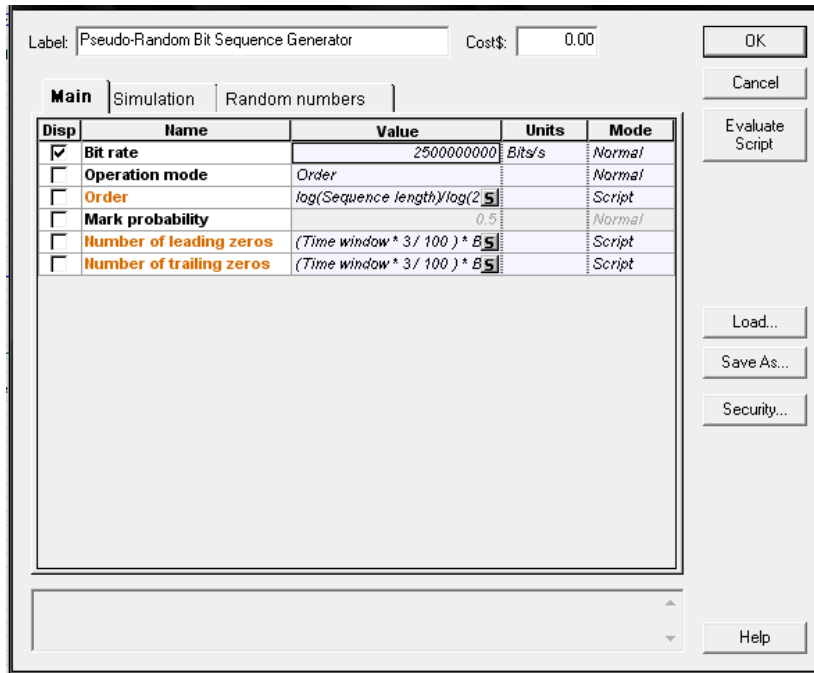


Figure III.16 : Paramètres de l'entrée Séquence binaire pseudo-aléatoire d'une liaison à 2.5 Gbit/s

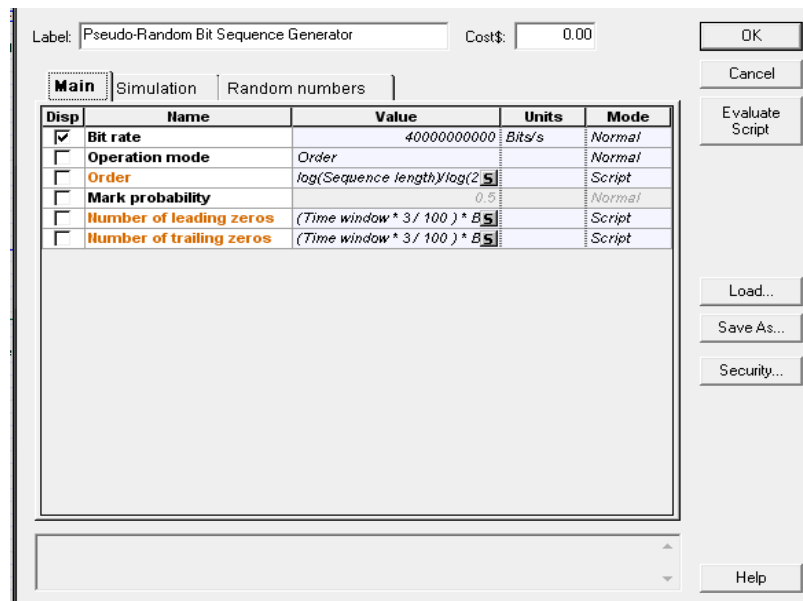


Figure III.17: Paramètres de l'entrée Séquence binaire pseudo-aléatoire d'une liaison à 40 Gbit/s

- Un codeur non retour à zéro (NRZ)

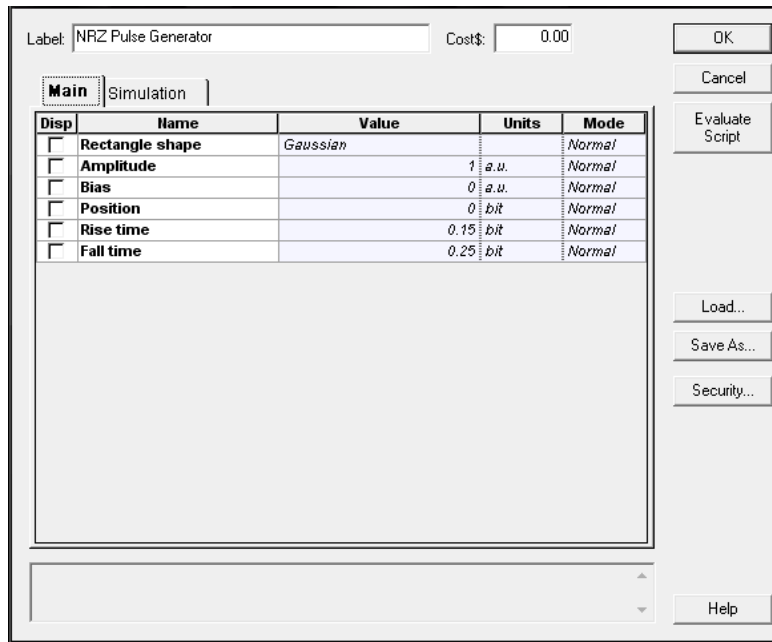


Figure III.18 : Paramètres du codeur non retour à zéro

- Laser

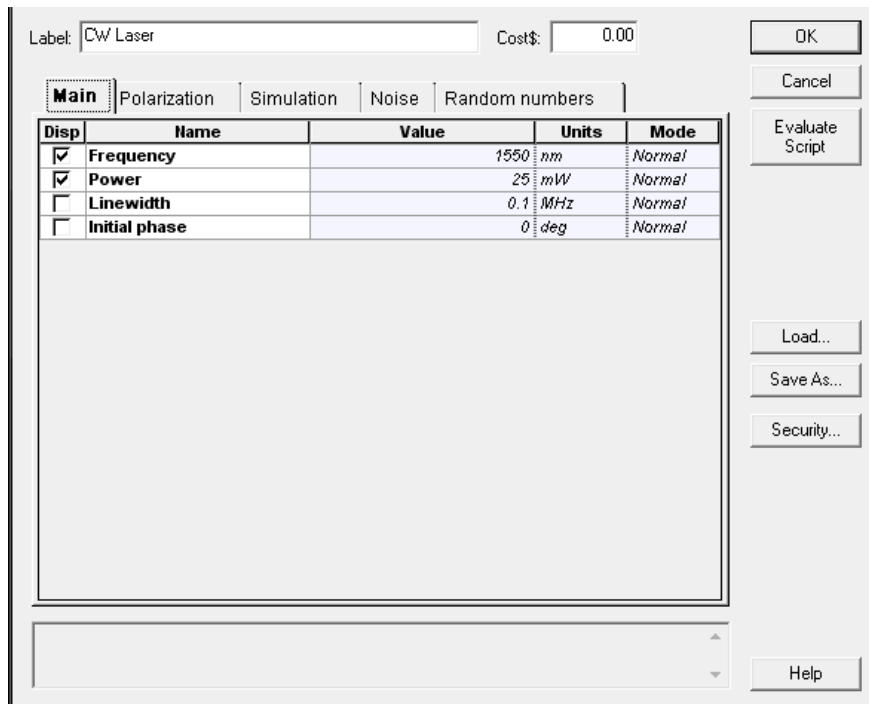


Figure III.19 : Paramètres du laser d'une liaison à 2.5 Gbit/s

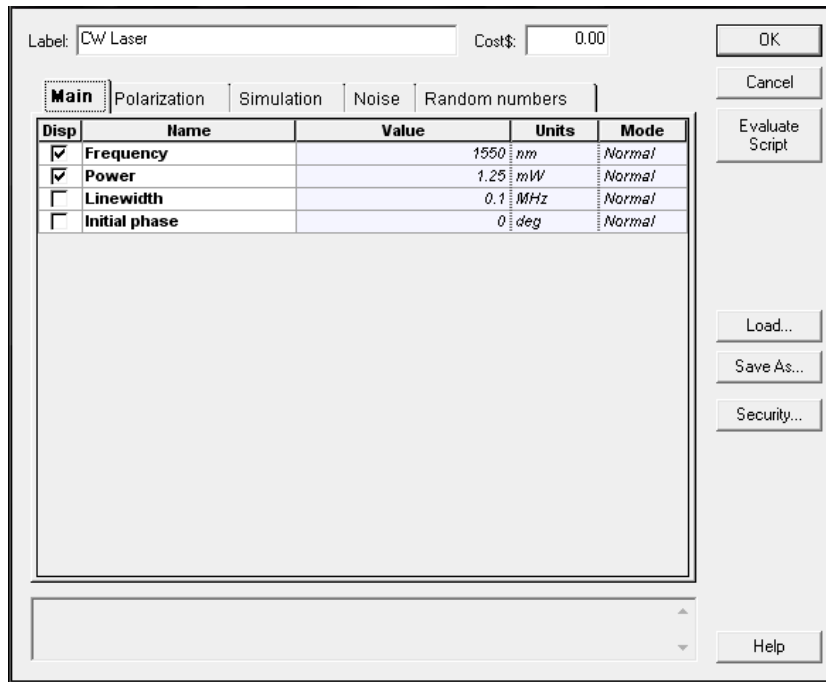


Figure III.20 : Paramètres du laser d'une liaison à 40 Gbit/s



Modulateur

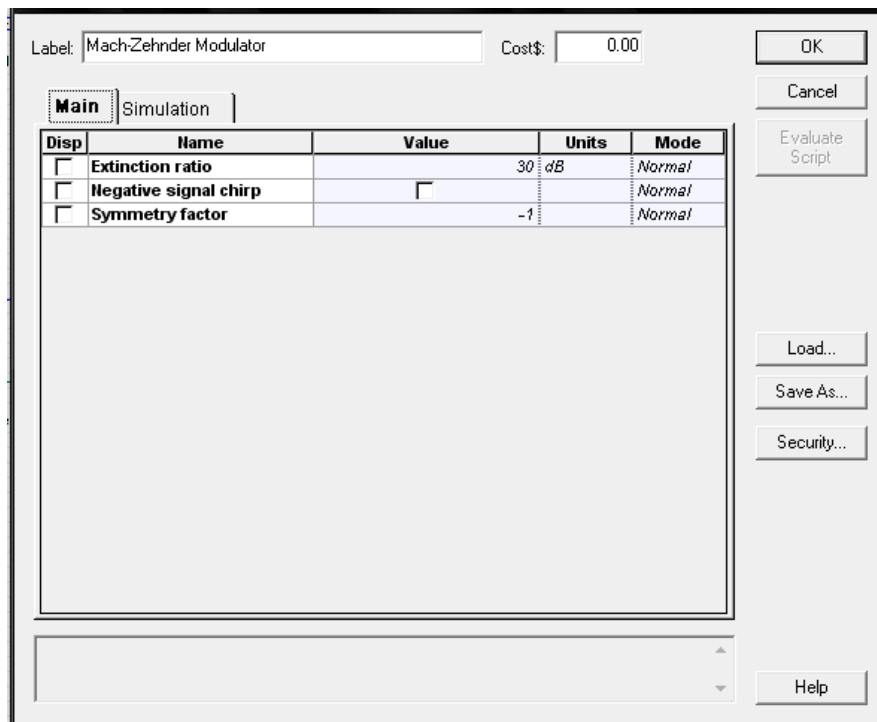


Figure III.21 : Paramètres du modulateur MZM

2) La ligne de transmission

- La fibre monomode

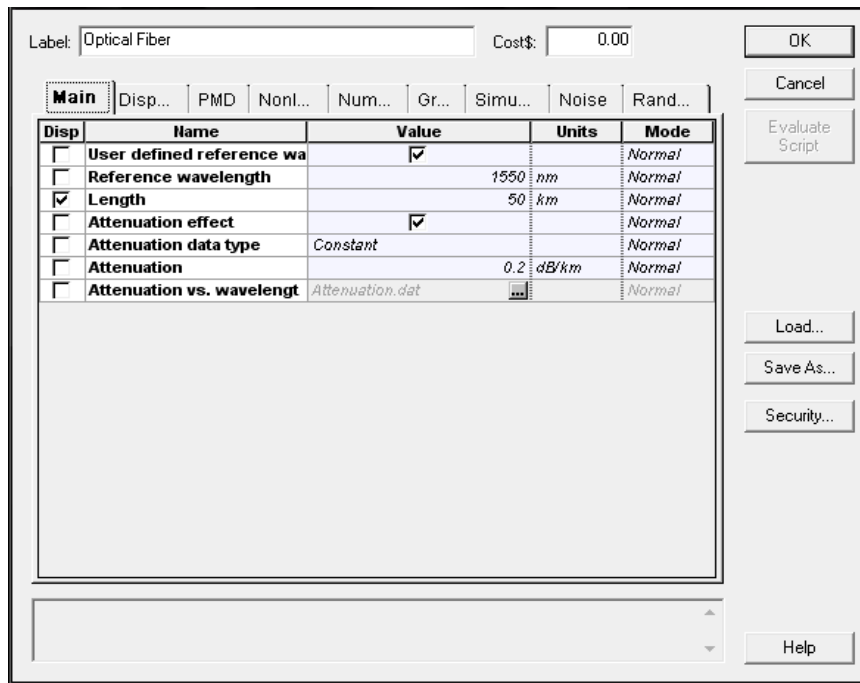


Figure III.22 : Paramètres de la fibre optique

- La fibre de compensation

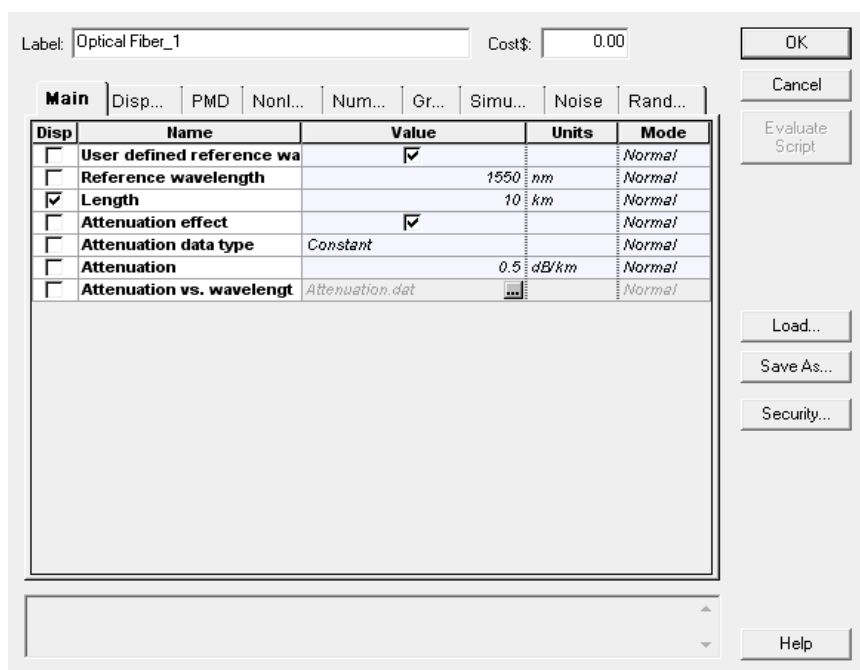


Figure III.23 : Paramètres de la fibre de compensation

➤ Le gain

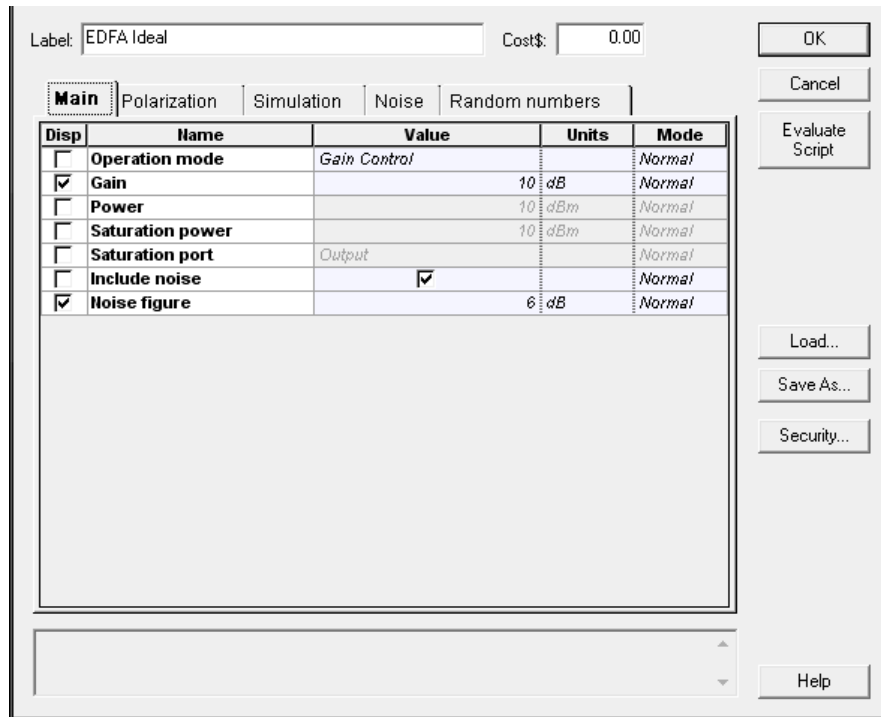


Figure III.24 : Paramètres du gain pour une liaison sans compensation

➤ Le gain

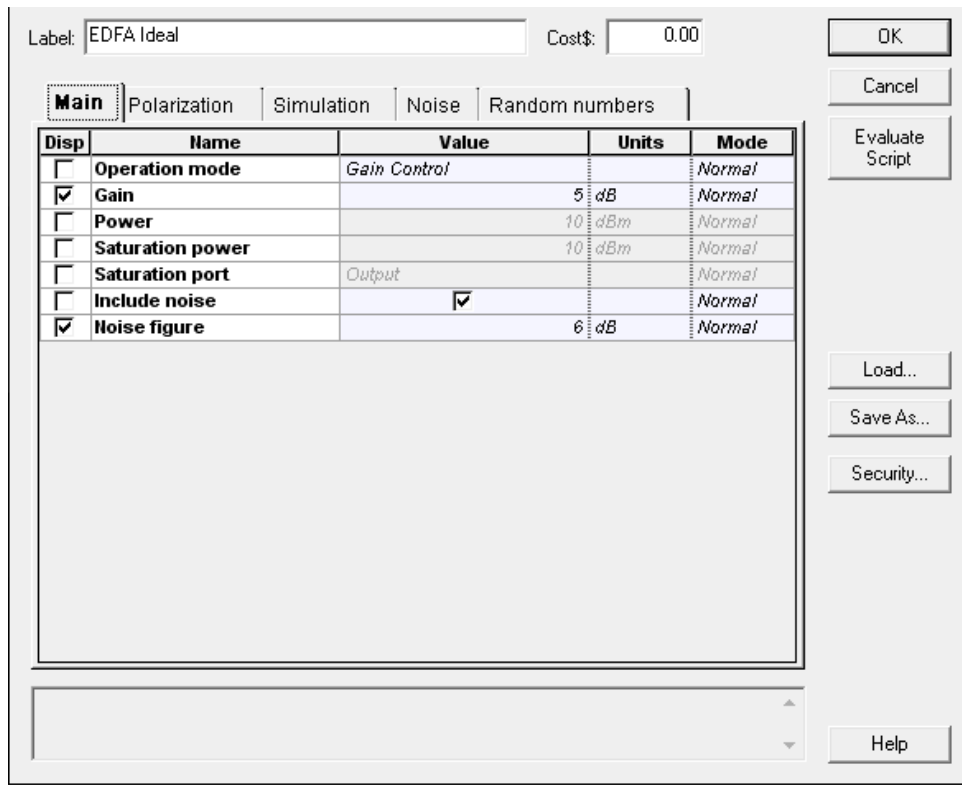


Figure III.25 : Paramètres du gain pour une liaison avec compensation

- Le loop control

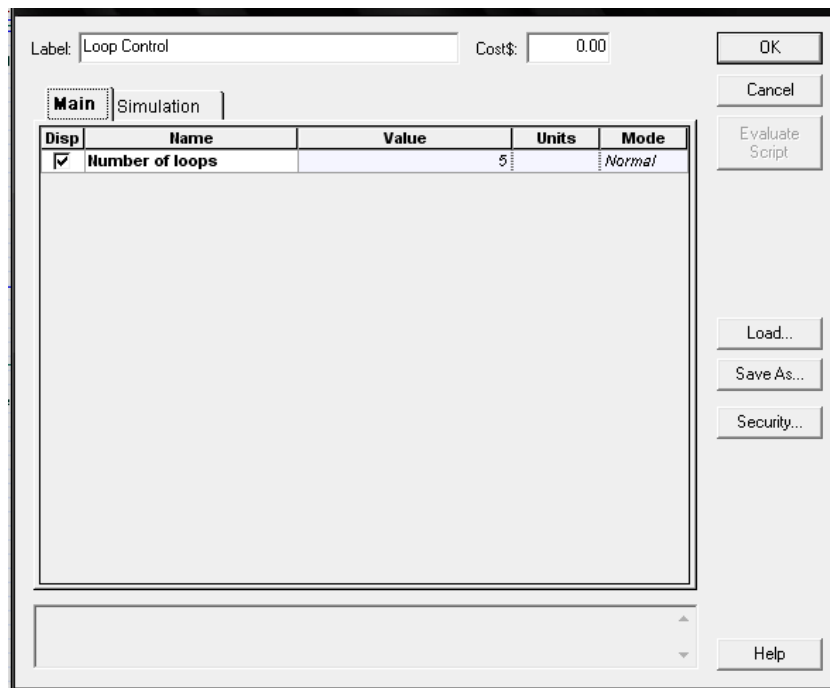


Figure III.26 : Paramètres du Loop control

- 3) Le récepteur :
 - Filtre optique de Bessel

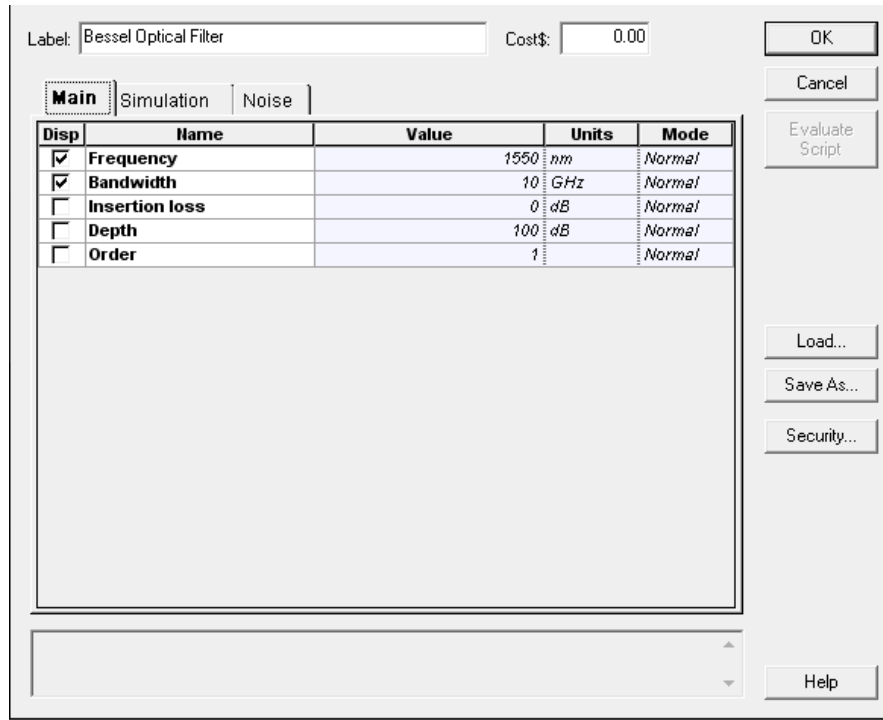


Figure III.27 : Paramètres du filtre optique de Bessel

➤ Photodétecteur PIN

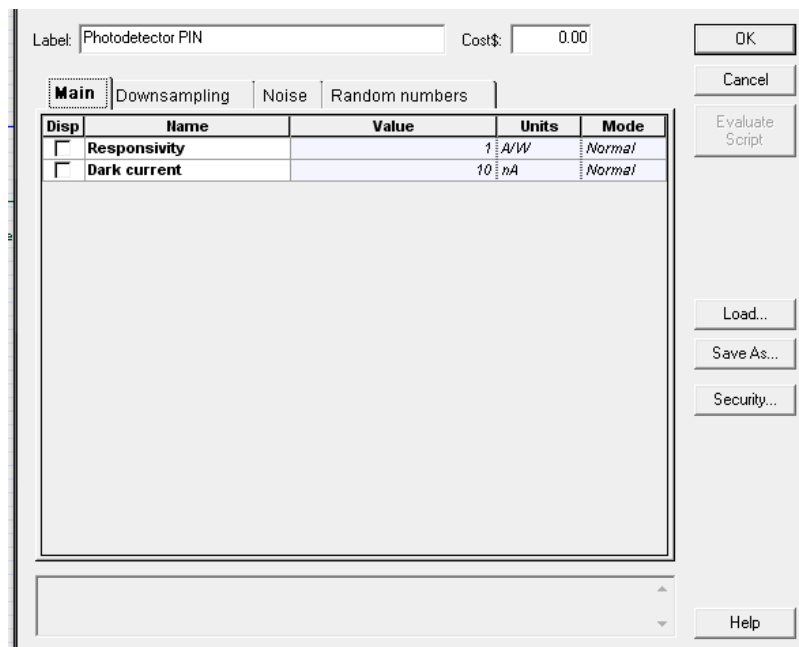


Figure III.28 : Paramètres du photodétecteur PIN

➤ Filtre passe-bas de Bessel

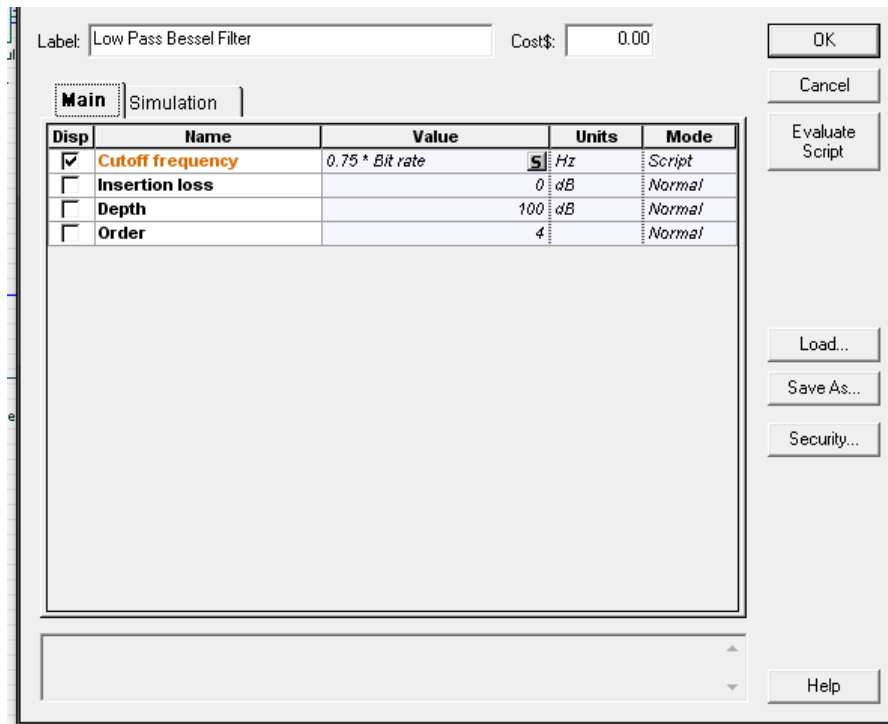


Figure III.29 : Paramètres du filtre électrique de Bessel

III.2.2. Simulation I : Liaison optique à haut débit à 2.5 GHz et 40 Gbit/s sans compensation

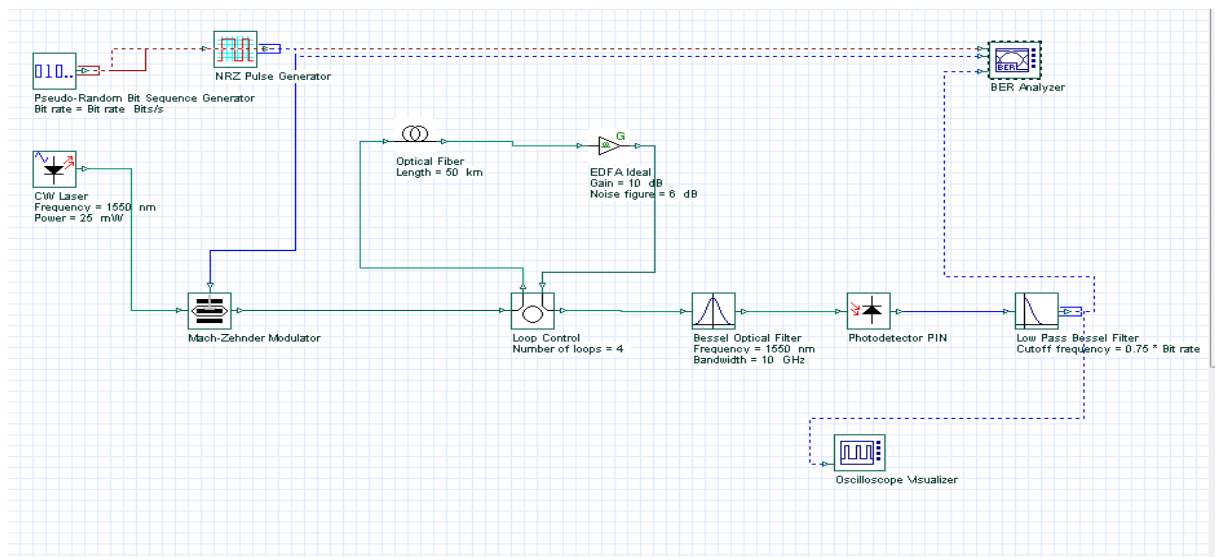


Figure III.30 : Schéma bloc de la liaison de simulation sans compensation

Résultats de simulation

- a) Visualisation du diagramme de l'œil :
 - Liaison à 2.5 Gbit/s

Résultats obtenus

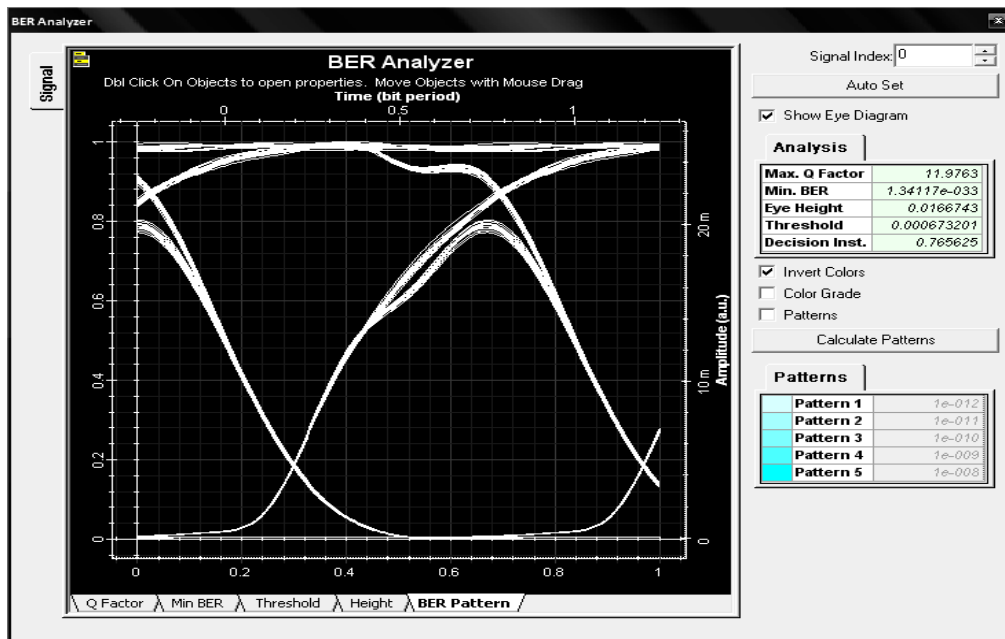


Figure III.31 : Diagramme de l'œil de la liaison à 2.5 Gbit/s

➤ Liaison à 40 Gbit/s

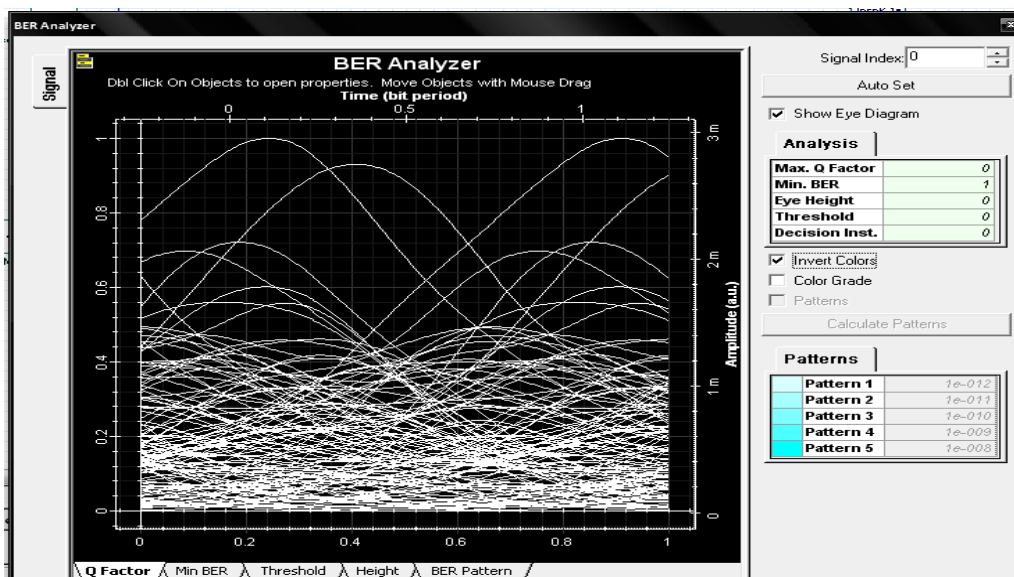


Figure III.32 : Diagramme de l'œil de la liaison à 40 Gbit/s

b) Discussion des résultats

Dans le cas d'une liaison à 2.5 Gbit/s sans compensation, nous constatons que l'œil est ouvert car il y a moins d'interférences des signaux ce qui se traduit par un faible taux d'erreur à la réception. Par contre à 40 Gbit/s, nous observons plusieurs traces brouillées qui conduisent à la fermeture de l'œil. Ce résultat se traduit à une mauvaise qualité du signal en réception.

III.2.3. Simulation II : Liaison optique à haut débit à 2.5 et 40 Gbit/s avec compensation

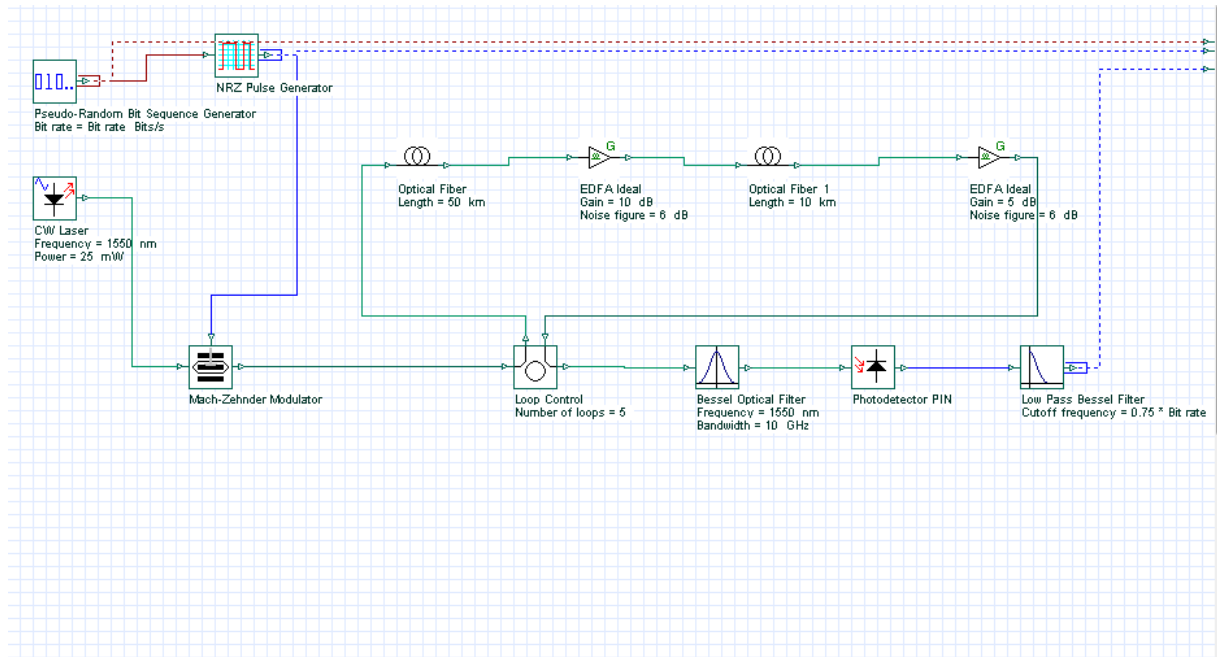


Figure III.33 : Schéma bloc de la liaison de simulation avec compensation

Résultats de simulation

a) Visualisation du diagramme de l'œil

➤ Liaison à 2.5 Gbit/s

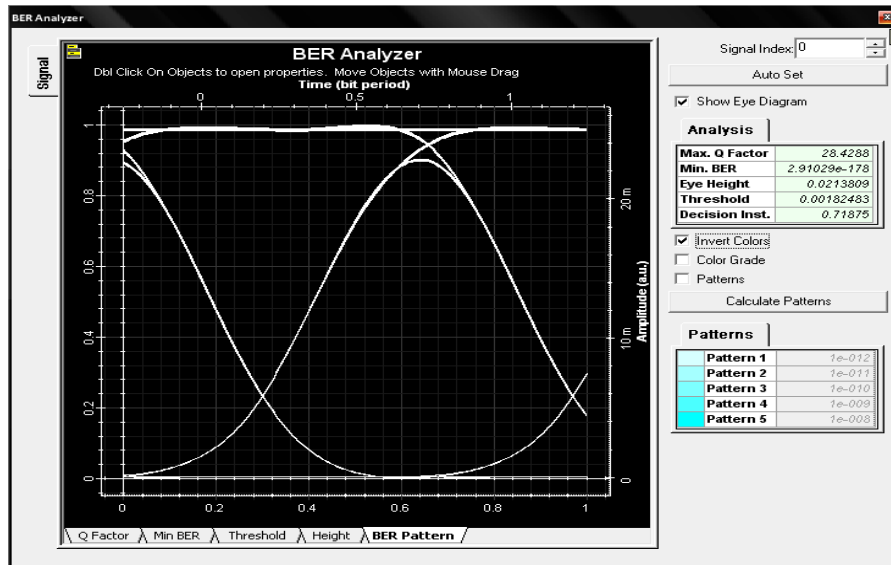


Figure III.34 : Diagramme de l'œil pour une liaison à 2.5 Gbit/s.

➤ Liaison à 40 Gbit/s

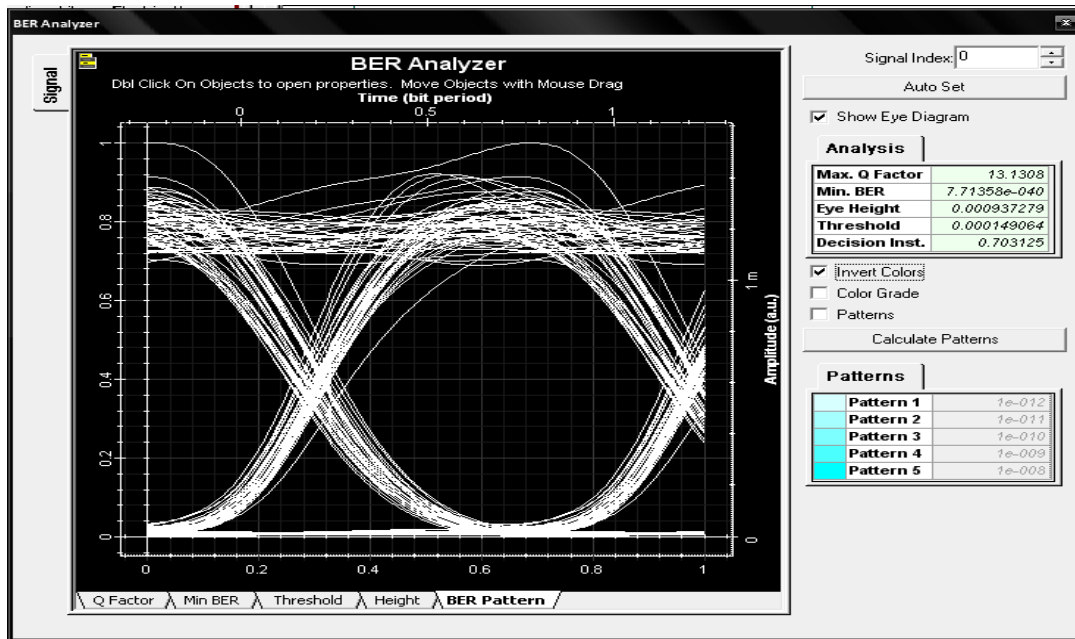


Figure III.35 : Diagramme de l'œil pour une liaison à 40 Gbit/s

b) Discussion des résultats

Pour ce qui est de la liaison à 40 Gbit/s, nous constatons que l'absence des bruits conduit à l'ouverture de l'œil. Cette diminution des bruits se traduit par une amélioration de la qualité de transmission. Il en est de même pour la liaison à 2.5 Gbit/s bien qu'il n'y a pas une grande différence par rapport au premier diagramme de l'œil.

Conclusion

Cette simulation permet de démontrer l'influence de la dispersion chromatique sur la qualité de la transmission. Celle-ci crée la distorsion du signal symbolisée par un nombre de bruits élevé. Une solution, la fibre de compensation, a été apportée pour résoudre ce problème de dispersion.



CONCLUSION GENERALE

D'abord utilisée pour les applications de localisation radar, la technologie ULB est étudié depuis une dizaine d'années pour les communications sans fil. la technologie ULB consiste à utiliser des signaux radio s'étalant sur une bande de fréquence de l'ordre de 500MHZ à plusieurs GHz. Les principales caractéristiques de cette technologie, comme la largeur de son spectre fréquentiel et son fort pouvoir de résolution temporel ont permis à la communauté scientifique et industriel de proposer un certains nombre d'applications attrayantes : réseaux WLAN très haut débits, applications domotiques etc. Comme nous l'avons vu divers types de modulations ont été proposés en normalisation avec notamment l'étalement du spectre et la technique OFDM sur bande multiples.

Ce travail nous a permis de présenter et d'analyser transmission de signaux ULB-OFDM au travers d'une transmission par fibre optique. Dans un premier temps, deux types de modulation ont été considérés : le premier comprend une modulation directe avec un laser de type DFB, alors que le second est composé d'une modulation externe développée autour d'un modulateur de type MZM.

Les technologies ultra large bande offrent une approche résolument nouvelle et différente de toutes celles connues jusqu'alors. Elles nécessitent un travail considérable pour repenser entièrement les systèmes d'émission et de réception actuels qui ne présentent pas les performances requises nécessaires et suffisantes.

Perspectives de la technologie radio sur fibre

Même si plusieurs barrières se sont levées ces dernières années en ce qui concerne le développement des systèmes ULB, de nombreux travaux sont encore à poursuivre ou à réaliser. Le domaine de l'optique pouvait prendre une place à part entière dans le futur déploiement des réseaux et des communications ULB à très haut débit.

1. pour les mobiles de 4ème génération

La prochaine génération de communications mobiles (4G) est toujours confrontée à un grand nombre de problèmes techniques. Pour répondre à une demande croissante en services à haut débit et en raison d'un fort encombrement du spectre électromagnétique, les fréquences utilisées par les futurs systèmes 4G devraient être supérieures à 3 GHz. L'utilisation de

fréquences élevées conduit à de fortes pertes lors de la propagation des ondes radio en espace libre sur les liaisons montantes et descendantes. En particulier, une forte perte de propagation sur la liaison montante a pour conséquence une augmentation de la consommation d'électricité des terminaux mobiles, réduisant ainsi leur autonomie. Les opérateurs de réseaux mobiles pour la 4G auront d'énormes difficultés pour faire face à l'augmentation du trafic, de manière à garantir un débit élevé pour chaque utilisateur. Le débit de données de la prochaine génération des systèmes mobiles de communication devrait être supérieur à 100 Mbps. En vue pour répondre à cette exigence, la gestion des ressources des réseaux sans fil pour les futures communications mobiles devrait être plus souple. Une réduction de la taille des cellules de couverture et une centralisation des composants compliqués pourraient assouplir les problèmes. Un grand nombre d'unités d'accès devraient être installées sur des petites surfaces, et le réseau devrait être en mesure d'assurer une connexion homogène entre les différentes entités du réseau.

La technologie RoF est l'une des meilleures solutions pour la réduction de la taille des cellules de couverture afin d'envisager le déploiement de réseaux d'accès pico-cellulaires à grande échelle. Grâce à l'utilisation de la fibre optique à ultra-large bande passante, il est possible de transférer les fonctions de traitement du signal à une station de contrôle centralisée, dite station de contrôle. La centralisation des équipements coûteux et complexes au niveau de cette station de contrôle rendue possible par la technologie RoF devrait permettre une mise en œuvre compacte et économique des unités d'accès à distance.

Par conséquent, il convient de développer des technologies RoF offrant l'accès à une grande variété de systèmes sans fil, y compris 3G, WLAN, systèmes de diffusion multimédia numérique (DMB), et B3G (Beyond 3G system), comme le montre la figure 48 ci-dessous.

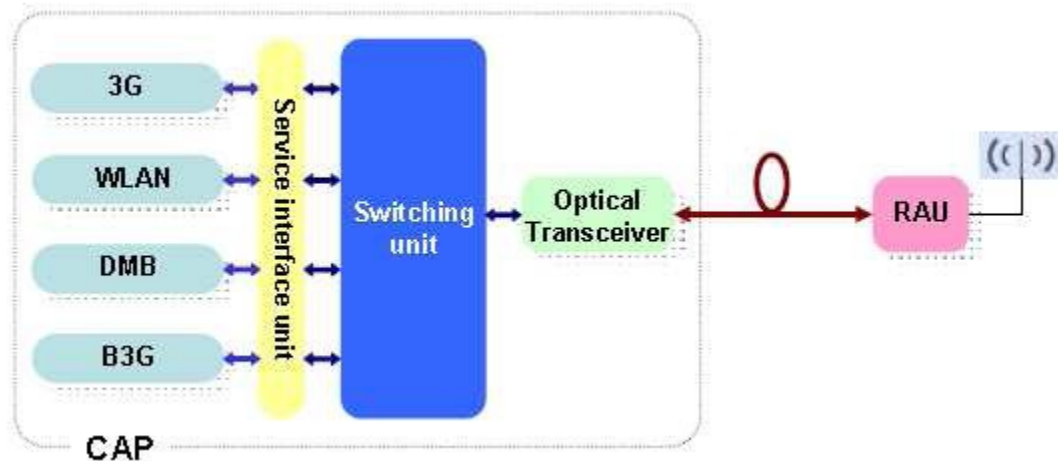
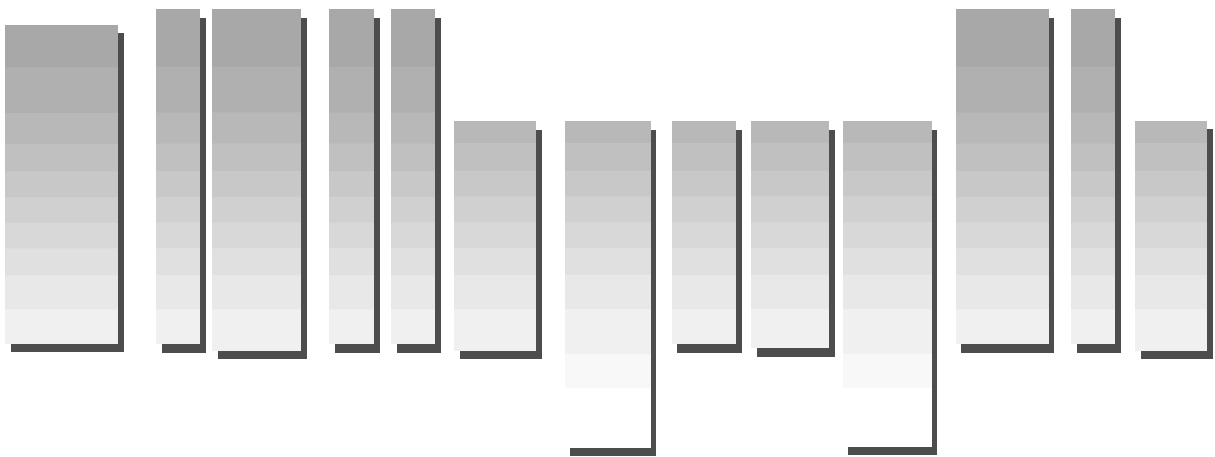


Figure 36 : les différentes technologies supportées par RoF

2. Radio-sur-fibre pour les futurs réseaux domestiques

La multiplication des appareils connectés et services (ordinateurs, Media Center, visiophonie, TVoIP, etc ...) conduit à une nouvelle architecture du réseau domestique et des technologies sans fil pour permettre d'offrir des débits supérieurs à 1 Gbit/s. Cette architecture de réseau domestique est fondée sur un réseau de distribution local câblé adapté à supporter des très hauts débits dans les différentes salles de la maison / immeuble. Une technologie radio prometteuse capable de fournir des débits au-delà du Gb/s utilise les fenêtres de fréquence à 60 GHz (e.g. normes IEEE 802.15.3c ou IEEE 802.11a/d) avec des portées qui ne dépassent pas 15 m. Le réseau devient alors un réseau multicellulaires où les questions de gestion des interférences seront similaires à celles rencontrées dans les réseaux mobiles à large couverture et les réseaux de radiocommunication.

Dans ce contexte, une fois encore, l'utilisation de la technique RoF pour relier les différentes antennes du réseau d'accès permet de fournir un bon rapport coût-efficacité et permet un développement des technologies de communication pour le futur.



Documentation

- [1] Communication Ultra Large Bande (Lavoisier 2007) Paris
- [2] **S. UNGAR**, « fibres optiques théories et applications », édition Dunod 1989.
- [3] **Irène et Michel JOINDOT et douze co-auteurs**, « Les télécommunications par fibres optiques », édition Dunod, 1996.
- [4] **Groupes d'Ingénieurs de THOMSON-CSF**, « télécommunications optiques », édition Masson.

Thèses

- [5] **Philippe LOMBARD**, thèse de doctorat à l'Université Joseph Fourier de Grenoble, « Etude de l'impact du filtrage des non-linéarités sur les signaux ULB dans les fronts-end radiofréquence et les réseaux hybrides optiques-radio », 2007
- [6] **Jean-Louis VERNEUIL**, thèse doctorat à l'université de Limoges, « simulations de systèmes de télécommunications à 40 Gbit/s », 2003.
- [7] **David MARCHALAND**, thèse de doctorat à l'université Marne-La-Vallée, « Architectures et circuits dédiés aux Emetteurs Ultra large Bande Bas débit », 2007.
- [8] **M. Hraïmel BOUCHAID**, « Enabling Technologies for distribution of broadband radio over fiber. " Ecole polytechnique de Montreal ,2010
- [9] **Mohamed AMINE** Elagie, " Etude et modelisation d'un système de transmission radio sur fibre", Bretagne 2009

Mémoires de fin d'études

- [10] PFE Institut des télécommunications d'Oran, Promotion IGE 24
Etudes des liaisons par fibre optique à haut débit
- [11] PFE Institut des télécommunications d'Oran, Promotion IGE 23
Le Routage optique dans les liaisons à haut débit WDM-DWDM