

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication
Département d'Electronique et Des Télécommunications



Mémoire MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Présenté par :

Maadhour Hind

Berregui Asma

Thème :
**Etude et simulation d'une liaison de
communication 5G NR**

Soutenu au jury

Le : 20/09/2021

Devant le jury :

M ^{me}	Benkrinah Sabra	MC(B)	président	UKM Ouargla
M ^r	Otmani Hamza	MC (B)	Examineur	UKM Ouargla
M ^r	Moad Med Sayah	MA (A)	Encadreur	UKM Ouargla
M ^r	Bounegab Abdel Hamid	Docorant	Co-Encadreur	UKM Ouargla

Année universitaire 2020/2021

Remerciements



Remerciements

Dieu soit loué, qui nous a permis d'apprécier cette étape de notre parcours académique avec ce mémoire, fruit d'efforts et de réussites...

Dédié aux parents honorables, que Dieu les préserve et les perpétue comme une lumière pour le chemin.

A toute la famille généreuse qui nous a soutenus et qui sont toujours frères, sœurs et compagnons de chemin qui ont partagé nos moments d'étude à tout le département des télécommunications, et à toute la promotion 2021.

Remerciements spéciaux et appréciation à M. Moad Med Sayah pour son initiative et pour tous ses conseils et démarches avec nous

Nous remercions également M. Bounegab Abdelhamid

Et Merci aux interlocuteurs «Dr. Benkrinah» et «Dr. Otmani»

Université Kasdi Merbah-Ouargla-

Et à tous ceux qui nous ont aidé

Nous sommes reconnaissants

*Merci à tous
Hind et Asma*

Dédicace



Dédicace

Je dédie mon travail, a mes parents

Ma chère mère "Houria" et mon cher père "Belkacem" vous avez été un excellent exemple pour moi en termes de respect, de responsabilité, de précision et d'équilibre. Merci à ma mère pour votre soutien et vos sacrifices pour moi, Merci mon père pour votre soutien continu.

À mes filles frères "Asma" et "Amina" tout l'amour et merci à vous d'avoir été à mes côtés tout au long de mon parcours d'études.

A mes frères (Zeno, Mourad, Adel, Mohammad Reda) à tous les moments de notre enfance que nous avons passés ensemble, en gage de ma profonde gratitude envers vous pour le soutien psychologique que vous m'avez apporté.

à toute ma famille

Je vous remercie et que ce travail soit un témoignage de votre fierté.

Toute ma gratitude et mes remerciements à mes assistants au travail " Yahiaoui Abdenasser " Je vous souhaite un avenir radieux.

À ma classe de 2021 Merci pour chaque seconde avec vous.

*À mon Encadreur " Moad Med Sayah"
et Co-Encadreur "Bounequah Abdelhamid"*

Merci beaucoup à tous

Maadhour Kind





Dédicace

Je dédie ce mémoire à

Mes parents

Ma mère **ABID FAJHA**, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père **BERREGUI ABDELAZIZ** qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mon frère **ABDELFAJFAN** et **BADREDDINE** mes sœurs **SAIDA** et **KAOUSHAR** et Mon collègue et je remercie mon voisin **HANANE**, mes oncles **FAISEL**, **NOR EDDINE**, **A.KARIM**, **MOBAREK**, **DJIMOI**, **BRAHIM** et ma grand- mère **ZOIRA** et mon grand-père **JAFER**, Qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes professeurs qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

Je dédie ce mémoire, à tous ceux et toutes celles qui m'ont accompagné et soutenu durant cette année de formation.

Berregui Asma



Sommaire

Sommaire

Remerciements	III
Dédicaces	V
Sommaire.....	VIII
Liste des Figures	XIII
Liste de Tableaux.....	XVII
Abréviations.....	XIX
Résumé.....	XXII
Introduction Générale.....	1
 <i>Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles 5G</i>	
I.1.Introduction.....	3
I.2.Réseaux mobiles de 5eme génération.....	4
I.2.1.Objectifs du standard 5G.....	4
I.2.2. Exigences du Réseau 5G.....	4
I.2.3.Architecture du réseau 5G.....	5
I.3.le Réseau d'accès pour le 5G.....	7
I.3.1.Caractéristiques du réseau 5G NR.....	7
I.3.2. Architecture du réseau d'accès.....	7
I.3.3. Accès Radio NG-RAN.....	8
I.3.4.Couche physique de l'interface radio.....	8
I.3.5. Réseau de transport 5G.....	9
I.4.Fronthaul.....	10
I.4.1.G-node.....	11
I.5.Conclusion.....	12

Chapitre II : Radio sur Fibre optique pour 5G

II.1. Introduction.....	14
II-2-Différents catégories de fibre optique.....	14
II-2-1- Fibre optique	14
II-2-2-Définition de la fibre optique monomode.....	15
II-2-3-Fibre optique multimode	15
II-2-4- Caractéristique de la fibre monomode et multimode.....	16
II-3- Définit une liaison par fibre optique.....	16
II-4-Définition de la technique RoF.....	17
II-5-Avantage et limitation des systèmes radio-sur-fibre.....	17
II-5-1-Avantage des systèmes radio-sur-fibre.....	17
II-5-2- Limitations des systèmes radio-sur-fibre.....	18
II-6-Application de la technologie RoF pour fronthaul 5G.....	18
II-6-1- Communications par satellite.....	18
II-6-2- Systèmes de distribution vidéo.....	18
II-6-3- Services mobiles à haut débit.....	18
II-6-4- RoF pour les futurs réseaux domestiques.....	19
II-6-5-Réseaux cellulaires.....	19
II-7- Architecteur de la radio-sur-fibre.....	19
II-7-1-Point à point.....	19
II-7-2-Multipoints à multipoints.....	20
II-8-Techniques de modulation de la radio –sur-fibre ROF.....	20
II-8-1-Modulation directe.....	20
II-8-2-Modulation externe.....	21
II-8-2-1-Modulation d’intensité avec détection (IM-DD).....	22

Sommaire

II-8-2-2-Modulation d'intensité avec détection cohérente (IM-CD)	21
II-8-2-3- Modulation de phase avec détection directe (PM-DD)	22
II-8-2-4- Modulation de phase avec détection cohérente (PM- CD)	23
II-9- Composant photonique d'une liaison radio-sur-fibre.....	23
II-9-1- Laser semi-conductor.....	23
II-9-2-Modulateurs optiques.....	23
II-9-2-1- Modulateurs électro-optiques.....	24
II-9-2-1-1-Modulateur de phase.....	24
II-9-2-1-2- Modulateur d'intensité de Mach-Zehnder.....	24
II-9-2-2- Modulateurs à électro-absorption (MEA).....	25
II-9-3-Photo détecteur.....	26
II-10-Conclusion.....	26

Chapitre III : Simulation et Résultat de liaison RoF pour NR 5G

III-1-Introduction	28
III-2- Présentation du logiciel de simulation.....	28
III-3-Evaluation de la qualité de transmission.....	28
III-3-1 BER : Taux d'Erreur Binaires.....	28
III-3-2-Q Factor : Facteur de qualité.....	29
III-3-3- Diagramme de l'œil.....	29
III-3-4- Etude de la fenêtre RF.....	30
III-4- Simulation d'une liaison RoF.....	31
III-5-Résultats de la simulation.....	31
III-5-1- Influence des bandes de fréquence sur le SNR.....	31
III-5-2- Influence de la puissance des lasers sur le SNR.....	35
III-6-Schéma de liaison optique avec un signal d'entrer numérique	37

Sommaire

III-6-1- Exemples de diagramme de l'œil et du facteur de qualité Q	39
III-7-Simulation de la liaison numérique avec une fibre bidirectionnelle.....	41
III-7-1- Exemples de diagramme de l'œil et du facteur de qualité Q.....	42
III-8-Conclusion	44
Conclusion générale.....	46
Référence.....	XXV

Liste des Figures

Liste des Figures

Figure I.1: Architecture du réseau 5G.....	5
Figure I.2: Architecture fonctionnelle du réseau 5G.....	6
Figure I.3: Architecture du réseau d'accès 5G.....	8
Figure I.4: Réseau de transport 5G	10
Figure I.5: Partie fronthaul de radio accès.....	10
Figure I.6: Architecture logique de la gNb.....	11
Figure II-1 : Fibre optique	15
Figure II-2 : Fibre monomode.....	15
Figure II-3 : modèle du lien de transmission optique	16
Figure II-4 : Schéma synoptique d'une liaison RoF.....	17
Figure II-5 : Architecteur point à point	20
Figure II-6 : Architecture multipoints-à-multipoints	20
Figure II-7 : Modulation directe avec détection directe.....	21
Figure II-8 : Modulation d'intensité avec détection directe.....	21
Figure II-9: Modulation d'intensité avec détection cohérente.....	22
Figure II-10 : Modulation de phase avec détection directe.....	22
Figure II-11 : Modulateur de phase.....	24
Figure II-12 : Schéma d'un interféromètre de Mach-Zehnder.....	25
Figure III- 1 : Diagramme de l'Oeil.....	29
Figure III- 2 : Fenêtre de RF Spectrum Analyzer en réception.....	30
Figure III-3 : Schéma réception d'un gNodeB obtenue par battement de lasers.....	31
Figure III- 4 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 1.8 GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm).....	32

Liste des Figures

Figure III- 5 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 4 GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm).....	32
Figure III- 6 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 5 GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm).....	33
Figure III7 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 24.25 GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm).....	33
Figure III-8 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 26.25 GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm).....	34
Figure III- 9 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 52.6 GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm).....	34
Figure III- 10 : Schéma de la sortie du récepteur pour les puissances Maitre 110dBm et esclave 70dBm (26.25 GHz).....	35
Figure III- 11 : Schéma de la sortie du récepteur pour les puissances Maitre 70dBm et esclave 100dBm (26.25 GHz).....	35
Figure III- 12 : Schéma de la sortie du récepteur pour les puissances Maitre 110dBm et esclave 50dBm (26.25 GHz).....	36
Figure III- 13 : Schéma d'une liaison avec une fibre monomode et une entrée numérique	37
Figure III-14 : Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres : Distance 50 km, puissance 20dBm, débit 3,5GHz.....	39
Figure III-15 Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres: Distance 5 km, puissance 20dBm, débit 4GHz.....	40
Figure III-16 : Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres: Distance5 km, puissance 20dBm, débit 3,5GHz.....	40
Figure III-17 : Schéma d'une liaison numérique avec une fibre bidirectionnelle.....	41

Liste des Figures

- Figure III-18 : Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres: Distance 5 km, puissance 20dBm, débit 2,5GHz.....43
- Figure III-19 : Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres : Distance 5 km, puissance 20dBm, débit 4,5GHz.....43
- Figure III-20 : Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres: Distance 5 km, puissance 10dBm, débit 2,5GHz.....44

Liste De Tableaux

Liste De Tableaux

Tableau I.1: Performances du réseau 5G ciblées par le projet IMT-2020.....	4
Tableau II.1 : Comparaison des paramètres des trois types de fibre.....	16
Tableau III.1 : Variation du SNR selon les bandes de fréquences.....	36
Tableau III.2 : Variation du SNR selon les puissances maitre /esclave.....	37
Tableau III.3 : Tableau des mesures de la valeur du Q facteur.....	38
Tableau III.4 : Tableau des mesures pour la valeur de Q facteur.....	42

Abréviations

Abréviations

3GPP :3rd Generation Partnership Project.

5GC: 5G Core

AF : Application Function

AMF : Access and Mobility Management Function

AUSF : Authentication Server Function

BISDN: Broadband Integrated Services Digital Network.

C-RAN: Cloud- Radio Access Network

DU: Distributed Unit

DM-DD: Direct Modulation – Direct Detection

EAM: Electro-Absorption Modulator

EML: Electro-absorption Modulated Laser.

FPB : filtre passe bas.

GaAs : Arséniure de Gallium.

IM-CD : modulation d'intensité avec détection cohérente.

IM-DD : modulation d'intensité avec détection.

IMT: International Mobile Télécommunications

InP: phosphore d'indium.

LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

LiNBO3: Niobate de Lithium.

MIMO : Multiple Input Multiple Output

Abréviations

MVDS: Multi channel Video Distribution Service

MZ: Mach- Zehnder.

ng-eNb: next génération eNodeB

NR: New Radio

O/E : Optique/Electrique.

OFA: Optical Fiber Amplifier.

OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

PCF : Policy Control Function

PIN: Photodiode p-i-n.

PM- CD : Modulation de phase avec détection cohérente.

QOS: quality of service

RF: radio frequency.

RoF: Radio-over-Fiber

RU: Remote Unit

SMF: Single Mode Fiber.

SNR: Signal-To-noise Ratio

UDM : Unified Data Management

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System

UPF : User Plan Function

Résumé

Résumé

Nous avons présenté dans ce mémoire l'architecture générale d'un système de communication mobile de cinquième génération 5G. Nous avons également expliqué le rôle de Frontel dans ce système.

Nous présenterons également la technologie radio sur fibre, ses composants optiques et les types de modification qui sont utilisés.

Enfin, une simulation de la transmission RoF d'une porteuse analogique ainsi d'une simulation a porteuse numérique. Après avoir fait les changements, nous avons obtenu les résultats suivants : atténuation= 0,2dB/km, puissance = 20dBm, débit =3,5Gbit/s, et distance= 5km pour ce type de fibre monomode. Et l'atténuation = 0,2dB/km, puissance = 20 dBm, débit=2,5Gbit/s, distance = 5 km pour la fibre bidirectionnelle. Utilisation du programme de simulation OptiSystem.

Mots clés : fibre optique, radio sur fibre, 5G Nouvelle radio, franthaul.

Abstract

In this thesis, we have presented the general architecture of a fifth generation 5G mobile communication system. We also explained the role of Frontel in this system.

We will also present the fiber radio technology, its optical components and the types of modifications used in it.

Finally, a simulation of the RoF transmission of an analog carrier as well as a simulation with a digital carrier. After making the changes, we got the following results: attenuation = 0, 2dB / km, power = 20 dBm, flow = 3.5Gbit / s, and distance = 5km for this type of single-mode fiber. And attenuation = 0.2dB / km, power = 20dBm, flow = 2.5Gbit / s, distance = 5km for bidirectional fiber. Using the OptiSystem simulation program.

Key words: fibre Optic , radio over fibre, 5G New Radio, franthauling.

ملخص

في هذه المذكرة، قدمنا الهيكل العام لنظام اتصالات متنقل من الجيل الخامس G5. شرحنا أيضاً دور فرونتل في هذا النظام.

كما نقدم تقنية راديو الألياف ومكوناتها البصرية وأنواع التعديلات المستخدمة فيها.

واخيراً، محاكاة إرسال RoF لناقل تناظري بالإضافة إلى محاكاة مع ناقل رقمي. بعد إجراء التغييرات، حصلنا على النتائج التالية: التوهين = 0 ، 2 ديسيبل / كم، الطاقة = 20 تدفق ديسيبل/متر = 3.5 جيجا بت / ثانية، والمسافة = 5 كمل هذا النوع من الألياف أحادية الوضع. والتوهين = 0.2 ديسيبل / كم، الطاقة = 20 ديسيبل، الإنتاجية = 2.5 جيجابت / ثانية، المسافة = 5 كمل لألياف ثنائية الاتجاه. استخدام برنامج محاكاة OptiSystem.

الكلمات المفتاحية اليف بصرية، الجيل الخامس (الراديو الجديد)، الواجهة , راديو تحت الاليف.

Introduction
générale

Introduction générale

Auparavant, le support de transmission idéal était le câble coaxial, ils transmettaient l'information à un débit de 270 Mbits/s dans les systèmes numériques les plus rapides. Avec le développement de nouveaux services multimédia, la nécessité d'un débit de transfert de données plus élevé devient plus que nécessaire. L'utilisation des fibres optiques comme alternative pour surmonter ces problèmes importants devient de plus en plus courant, notamment dans les réseaux de télécommunication mobiles, grâce à sa large bande passante et sa faible atténuation.

En effet, les exigences très élevées des nouveaux systèmes de communication mobile 4G et 5G ont conduit au développement de réseaux d'accès rapides permettant de transmettre des débits jusqu'à 1 Gbit/s par utilisateur en mobilité.

La solution réside donc dans l'utilisation d'infrastructures optiques pour connecter les différents points d'accès radio entre eux. Elle utilise la fibre optique comme support de transmission capable de distribuer des signaux radiofréquence à haut débit, canaux dits radio sur la fibre (RoF), afin de réduire les coûts d'implémentation des systèmes.

Une des plus importantes liaisons dans le réseau d'accès 5G est l'interface entre l'unité de distribution DU et l'unité Radio RU. Ce lien sert à transmettre un signal RF haute fréquence directement sur la fibre sans nécessité de traitement en amont et en aval. Des unités émetteurs-récepteurs qui combinent les fonctions de l'électronique rapide et de l'optoélectronique sont alors insérées pour permettre les conventions Électrique-Optique et Optique-Électrique. Ce lien appelé Frantaul, permet d'augmenter la couverture radio du réseau sans besoin d'investissement majeur supplémentaire.

Dans un premier chapitre, nous présenterons l'architecture générale d'un système de communication mobile de cinquième génération 5G. Nous exposerons aussi le réseau d'accès 5G NR ainsi que les différentes interfaces qui le constituent en montrant le rôle du Frantaul dans la réduction des coûts d'implémentation du système.

Nous présenterons également dans le deuxième chapitre la technologie radio sur fibres optiques (RoF), son concept et son principe de fonctionnement. Nous exposons les composants photoniques de la liaison radio sur fibres RoF ainsi que les types de modulation utilisées dans sa réalisation.

Introduction générale

Dans le troisième chapitre, nous avons étudié et simulé les bandes de fréquences de la cinquième génération en fonction de la variation des valeurs SNR, ainsi que l'étude de la force à fréquence fixe en fonction des changements du SNR du laser maître et esclave. Nous avons également simulé la partie numérique avec deux liaisons de deux types de fibre monomode et bidirectionnelle, et comparé les valeurs de facteur Q obtenus. En utilisant le programme Optisystem.

***Chapitre I : Généralités
sur les réseaux mobiles
5G***

I.1.Introduction

La demande mondiale de l'Internet mobile a récemment explosé en croissance alors que les réseaux de communication sans fil déployés dans le monde arrivent à la saturation. Une nouvelle conception de la communication mobile devient nécessaire. Cette conception doit fournir une communication convergente des réseaux de multi technologies, doit fournir un système de communication ouvert pour coopérer avec les systèmes satellites, les réseaux cellulaires, les nuages et les centres des données. , les passages à la maison, et beaucoup plus de réseaux et de dispositifs ouverts. En plus, les systèmes doivent être autonomes et suffisamment adapter pour assurer un QoS élevé sur les applications dynamiques. L'intégrité, En plus, les systèmes doivent être autonomes et suffisamment adapter pour assurer un QoS élevé sur les applications dynamiques et dans la conception des futurs réseaux dans la conception des futurs réseaux.

5G est l'abréviation de Cinquième Génération. Il est utilisé pour déterminer la technologie de téléphonie mobile de cinquième génération. La 5G permet d'utiliser des téléphones portables avec plus de bande passante. Il s'agit d'un système de commutation à paquets sans fil. Il est utilisé pour couvrir une grande surface et offrir une productivité plus élevée. Il utilise les techniques CDMA, OFDMA et les ondes millimétriques. Il utilise une technologie avancée de codage et de modification des données. Il fournit environ 100 Mbps en pleine mobilité et 1 Gbps en faible mobilité. Il utilise aussi la technologie d'antenne intelligente pour prendre en charge des débits et une couverture plus élevées.

La technologie d'accès sans fil de la 5G, connue sous le nom de New Radio (NR), doit répondre aux exigences élevées imposées par les besoins croissants de mobile et de connectivité. Une toute nouvelle interface radio dans le réseau d'accès a été développée. Ainsi, pour réduire les dépenses des opérateurs télécoms, les unités de traitement et les unités de traitement du signal radio distance sont divisés fonctionnellement et sont exploités séparément. Nous appelons cette configuration séparée un accès cloud ou architecture de réseau radio centralisé (C-RAN).

Une liaison optique est utilisée entre l'unité de traitement (DU) et l'unité radio (RU), connue sous le nom de mobile fronthaul. Elle utilise un procédé de communication optique numérique basé sur des technologies d'interfaçage comme dans les équipements grand public.

I.2. Réseaux mobiles de 5eme génération

I.2.1. Objectifs du standard 5G

Le nouveau système de communication 5G promet un accès illimité à l'information, le support de technologies sans fil très performants et l'introduction de services commerciaux innovants [1]. On note une augmentation considérable du débit montant et descendant et des bandes passantes pouvant atteindre 1 GHz.

Un objectif ultime de la 5G est la convergence des réseaux existants. Le réseau 5G sera un réseau hétérogène supportant une multitude de standards et permettant la configuration et la gestion automatique de nouveaux services. Un autre objectif du standard est la réduction de la consommation énergétique du système global. Cette réduction sera le résultat de l'usage extensif des outils logiciels pour l'implémentation des fonctions réseau ou pour la création et la gestion des services applicatifs.

I.2.2. Exigences du Réseau 5G

Afin de permettre la connectivité pour un étendu d'applications très large, avec de nouvelles caractéristiques et des conditions plus exigeantes, les possibilités du réseau d'accès sans fil 5G doivent dépasser de loin ceux des générations précédentes. Ces possibilités incluront une capacité massive d'accès au système, des débits très élevés, une latence très basse, une haute fiabilité et disponibilité, une consommation d'énergie très basse. Le tableau I.1 montre les performances du réseau ciblées par la 5G.

Tableau I.1. Performances du réseau 5G ciblées par le projet IMT-2020.

Paramètres	Valeurs
Débit maximum descendant	20 Gbits/s
Débit maximum ascendant	10 Gbits/s
Efficacité spectrale maximale dans le sens descendant	30 bit/s/Hz
Efficacité spectrale maximale dans le sens ascendant	15 bit/s/Hz
Trafic par unité de surface	10 Mbit/s/m ²
Temps de latence	1 - 4 ms
Densité de terminaux connectés	1 million/km ²
Largeur de bande	100 MHz - 1GHz

I.2.3. Architecture du réseau 5G

La figure I.1 décrit l'architecture simplifiée du réseau 5G [2]. Les stations de base sont soit des gNB fournissant des terminaisons de protocoles du plan utilisateur et du plan de contrôle, soit des ng-eNB. Les gNB sont les stations de base 5G natives supportant les fonctionnalités radio 5G par défaut alors que les stations de base ng-eNB sont des stations de base 4G mises à niveau pour supporter les services radio 5G dans le but d'assurer une migration progressive entre les deux standards.

Les stations gNB et ng-eNB sont interconnectées via l'interface Xn. L'ensemble de ces stations constitue le réseau d'accès de nouvelle génération (NG-RAN, Next Génération-Radio Access Network). L'interconnexion des gNB et ng-eNB avec le réseau cœur (5GC, 5G Core) se fait avec les fonctions réseau AMF (Access and Mobility Management Function) et UPF (User Plan Function) du cœur à travers l'interface NG.

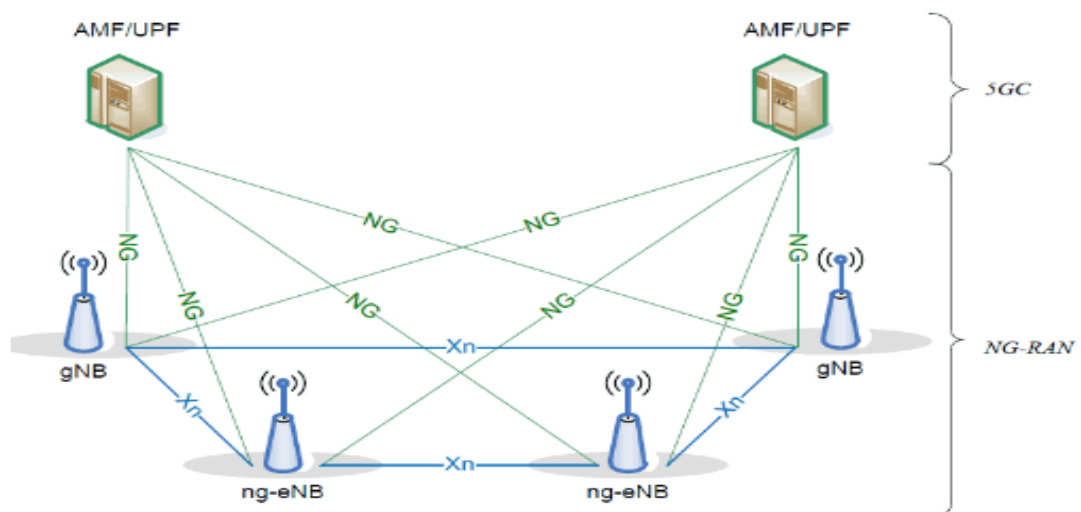


Figure I.1. Architecture du réseau 5G [2].

La fonction AMF est chargée de la signalisation non liée aux données utilisateur (mobilité, sécurité, ...). Elle supporte des terminaux utilisateurs (UE, User Equipment) avec différents profils de mobilité. L'UPF gère les fonctionnalités liées aux données utilisateur (routage de packets, QoS, reporting du trafic utilisateur...).

Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles 5G

AMF et UPF sont les fonctions du réseau cœur qui s'interfaçent avec le réseau d'accès. Les autres fonctions du réseau cœur sont représentées sur la figure I.2 qui décrit l'architecture fonctionnelle du réseau 5G.

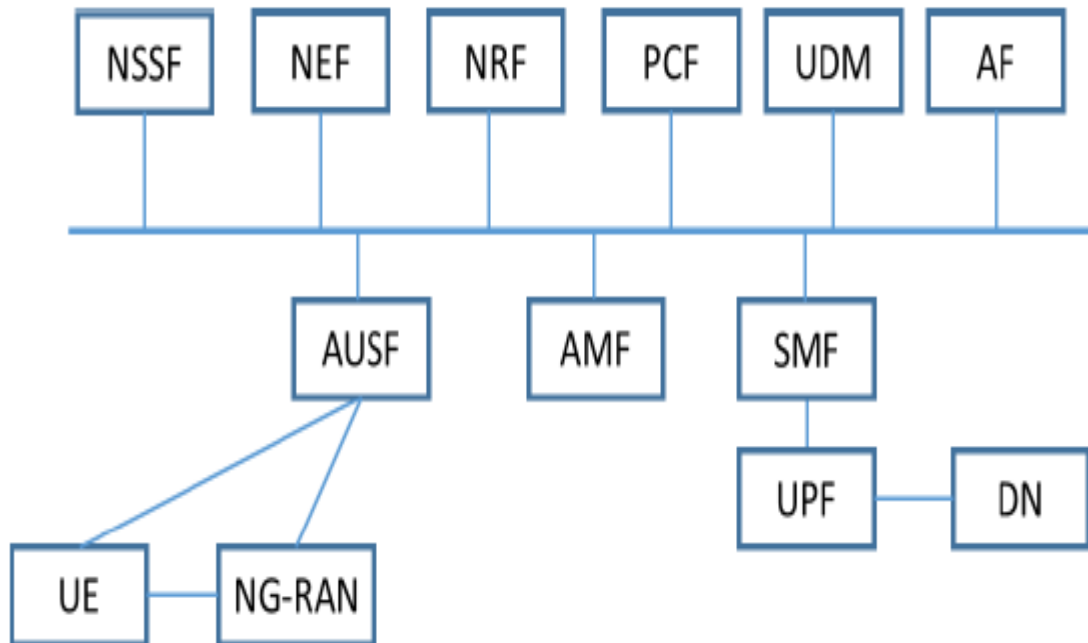


Figure I.2. Architecture fonctionnelle du réseau 5G.

Voici comment cela fonctionne [3]:

- Les équipements utilisateur (UE) tels que les Smartphones 5G ou les appareils cellulaires 5G se connectent via le nouveau réseau d'accès radio 5G au noyau 5G et aux réseaux de données (DN), comme Internet.
- La fonction de gestion d'accès et de mobilité (AMF) agit comme un point d'entrée unique pour la connexion UE.
- Sur la base du service demandé par l'UE, l'AMF sélectionne la fonction de gestion de session (SMF) respective pour gérer la session utilisateur.
- La fonction de plan utilisateur (UPF) transporte le trafic de données IP (plan utilisateur) entre l'équipement utilisateur (UE) et les réseaux externes.
- La fonction de serveur d'authentification (AUSF) permet à l'AMF d'authentifier l'UE et d'accéder aux services du cœur 5G.
- D'autres fonctions comme la fonction de gestion de session (SMF), la fonction de contrôle de politique (PCF), la fonction d'application (AF) et la fonction de gestion unifiée des

données (UDM) fournissent le cadre de contrôle de politique, appliquant les décisions de politique et accédant aux informations d'abonnement, pour gouverner le comportement du réseau.

I.3. Réseau d'accès pour le 5G

I.3.1. Caractéristiques du réseau 5G NR

La 5G NR (New Radio) comprend des avancées majeures par rapport à la technologie LTE (4G), chacune présentant des avantages spécifiques. A commencer par l'introduction des spectres d'ondes millimétriques, situés au-delà de la bande des 24 GHz.

La première version du système 5G la version 15 (Release 15), basée sur des spécifications développées par le groupe 3GPP comprenant le noyau 5G (5GC) et la nouvelle radio 5G (NR) ainsi que l'équipement utilisateur 5G (UE). Elle est actuellement déployée commercialement à des fréquences allant de 1GHz jusqu'à 52,6 GHz. Le spectre des hautes fréquences (> 6 GHz) est disponible dans de nombreuses bandes différentes qui varient selon les régions. Parallèlement, la deuxième phase de la 5G vient d'être normalisée par la 3GPP dans la version "Rel-16".

Alors que la Release 15 porte principalement sur les services mobiles à large bande améliorés, la Release 16 met l'accent sur les nouvelles caractéristiques de l'URLLC et de l'IoT industrielle, notamment la communication sensible au temps (Time Sensitive Communication (TSC)), les services de localisation améliorés et la prise en charge des réseaux non publics (Non-Public Networks (NPN)).

I.3.2. Architecture du réseau d'accès

Le NG-RAN en mode autonome est formé de stations de bases distribuées de nouvelle génération gNB (figure I.3). Un gNB est composé d'une unité centrale (CU, Central Unit), et d'un ensemble d'unités distribuées (DU, Distributed Unit). Certaines fonctions de la couche physique de bas niveau peuvent être détachées du DU et implémentées dans une unité radio distante (RU, Remote Unit) [4].

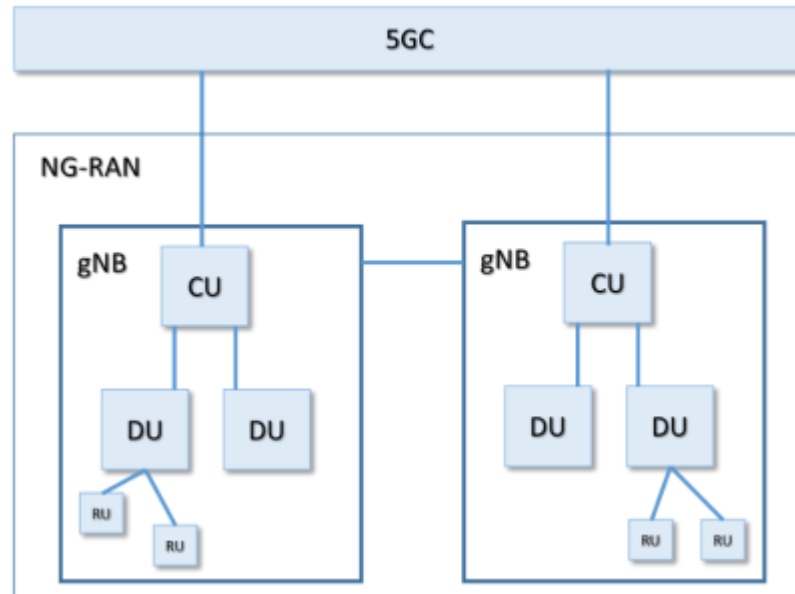


Figure I.3 : Architecture du réseau d'accès 5G[4].

I.3.3. Accès Radio NG-RAN

L'accès radio 5G (NG-RAN : Next Generation RAN) est constitué de stations de base de nouvelle génération qui forment le nœud de connexion des mobiles avec le cœur réseau 5G (5GC). Les mobiles UE communiquent avec les stations de base soit par un lien radio 5G, soit par un lien radio 4G. Si la communication est en 5G, la station de base se nomme gNB (next Generation Node Base Station), si la communication est en 4G, la station de base est une station de base 4G eNB évoluée pour s'interconnecter avec le cœur réseau 5G. La station de base se nomme ng-eNB (Next Generation eNB) ou eLTE-eNB.

Les fonctions de la station de base gNB sont assez similaires avec l'entité eNB. Cependant, les différences concernent la gestion de la qualité de service par flux et non par support (bearer) et la gestion des tranches de réseau (Slices) sur l'interface radio [5].

I.3.4. Couche physique de l'interface radio [6]

OFDM :

La technique de modulation OFDM est une évolution des techniques de multiplexage par répartition en fréquence (FDM), elle se repose sur l'utilisation des formes d'impulsions orthogonales pour multiplier les données dans le domaine fréquentiel. L'OFDM n'a pas été utilisée dans une application adressée vers les consommateurs

Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles 5G

avant la fin des années 1980 et après le déploiement de la ligne numérique d'abonné asymétrique (ADSL), la modulation OFDM a été utilisée dans les applications sans fil avec le Wifi (Wireless Fidelity) et LTE.

CP-OFDM : Préfixe cyclique OFDM :

Dans le réseau 5G NR, le préfixe cyclique OFDM (CP-OFDM) est la version spécifique d'OFDM utilisée pour la liaison descendante, même chose pour LTE qui utilise aussi la CP- OFDM dans sa liaison descendante.

Pour le CP-OFDM, la dernière partie des données de la trame OFDM est ajoutée au début de la trame OFDM suivante, la longueur du préfixe cyclique doit être supérieure à la propagation du retard de canal pour éviter le chevauchement entre les symboles, ce principe élimine les interférences entre symboles qui peuvent être provoqués des retards et des réflexions.

DFT-S-OFDM :

L'OFDM à étalement direct par transformée de Fourier discrète, est une technique de transmission de type SC (Single Carrier) ou à porteuse unique, cette technique peut être combinée avec l'OFDM qui offre une bonne flexibilité pour un système de communication mobile comme la 5G. Elle est plus couramment appelée SC-FDMA.

Le traitement d'une transmission mono-porteuse (SC-FDMA) est très similaire à celui de la transmission multi-porteuse (OFDMA). La séquence de bits transmise pour chaque utilisateur est mise en correspondance avec une constellation complexe de symboles (modulation d'amplitude BPSK, QPSK ou M-Quadrature).

Modulation QAM :

C'est la modulation d'amplitude en quadrature, elle permet d'augmenter le débit de données plusieurs fois surtout quand on monte aux ordres de modulation élevés. Les formats de la modulation d'amplitude en quadrature utilisés dans le système de communication mobile 5G incluent 16QAM, 64QAM et 256QAM [6].

I.3.5. Réseau de transport 5G

Le réseau de transport relie les entités logiques du réseau. Il assure la transmission des données du plan de contrôle et du plan utilisateur entre deux fonctions réseaux conformément aux spécifications des protocoles de l'interface correspondante.

Le réseau de transport 5G est divisé en 3 segments illustrés sur la figure I.4 Le backhaul est la liaison entre le CU et le cœur du réseau (5GC). Il est généralement

Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles 5G

implémenté à l'aide des technologies de transport optique à très haut débit de type WDM (Wavelength Division Multiplexing). Il est prévu que des débits allant jusqu'à 400 Gbit/s soient possibles sur des distances pouvant atteindre 200 km pour la liaison backhaul avec support de l'architecture point à multipoints [7].

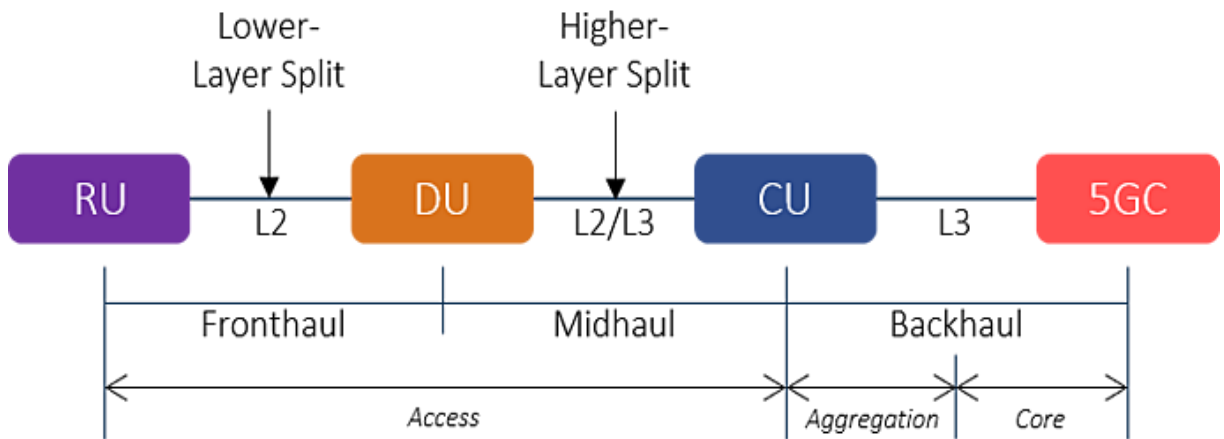


Figure I.4. Réseau de transport 5G [8].

Au niveau du NG-RAN, le transport est composé de deux segments : le midhaul entre le CU et le DU et le fronthaul entre le DU et le RU. Selon le déploiement adopté par l'opérateur, on peut avoir l'un ou l'autre des segments ou les deux simultanément. La liaison midhaul transporte les données de l'interface F1 qui correspond au point de séparation de haut niveau (HLSP). C'est une liaison IP/Ethernet qui doit supporter des débits allant jusqu'à 100 Gbit/s sur des distances de 0 à 40 km. Pour la liaison fronthaul, le 3GPP continue à étudier les options proposées par les différents consortiums.

I.4.Fronthaul

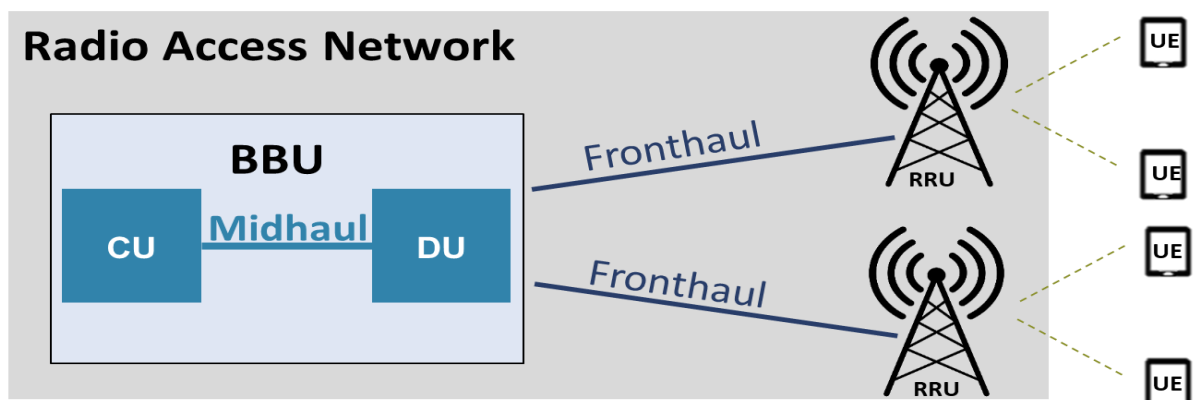


Figure I.5. Partie fronthaul de radio accès [10].

Chapitre I : Généralités sur les réseaux mobiles 5G

L'interface la plus exigeante dans le transport 5G RAN se situe entre le RU et le DU. Le RU (radio) fournit des fonctions telles que la conversion analogique-numérique, le filtrage, l'amplification de puissance et TX/RX ; avec l'utilisation d'entrées multiples/sorties multiples massives (MIMO), le RU est intégré à l'antenne. L'unité de bande de base (le DU) fournit le traitement numérique, y compris la modulation du signal, l'encodage, la planification, etc. Les deux systèmes doivent être étroitement intégrés pour des performances système optimales et, classiquement, sont fournis par un seul fournisseur sur une interface propriétaire ou quasi-propriétaire. – dans les réseaux 4G, cela se fait généralement via CPRI, mais de plus en plus eCPRI ou Radio over Ethernet [9].

Plus récemment, de nouvelles innovations radio ont commencé à ouvrir l'interface DU-RU, permettant un fonctionnement sur des réseaux de transport de paquets. Plus précisément, l'industrie a développé des méthodes pour envoyer des trames radio numériques sur Ethernet et a créé des divisions fonctionnelles avec davantage de traitement de couche 1 dans la radio pour assouplir les exigences en matière de transport de paquets [9].

I.4.1. G-nodeB

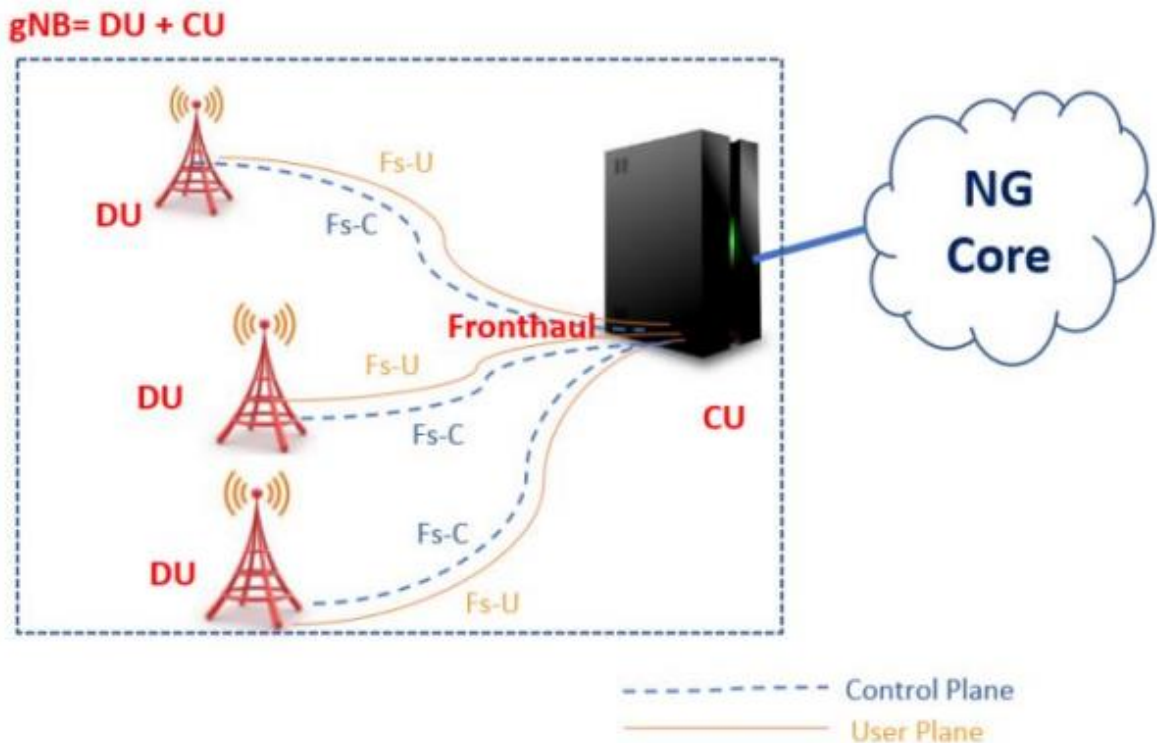


Figure I.6. Architecture logique de la gNb[11].

A) CU (Central Unit) : C'est un nœud logique qui inclut les fonctions du gNB telles que le transfert de données utilisateur, le contrôle de la mobilité, le partage de réseau d'accès radio, le positionnement, la gestion de session, etc., à l'exception des fonctions attribuées exclusivement au DU. Le CU contrôle le fonctionnement des DU sur l'interface F-(Front-Haul). Une unité centrale (CU) peut également être appelée BBU (Base Band Unit)/ REC / RCC / C-RAN / V-RAN.

B) DU (Distributed Unit) : Ce nœud logique comprend un sous-ensemble des fonctions du gNB, en fonction de l'option de fractionnement fonctionnel. Son fonctionnement est contrôlé par la CU. Distributed Unit (DU) également connu sous d'autres noms comme RRH (Remote Radio Header) / RRU / RE / RU [11].

I.5.Conclusion

Actuellement, l'explosion des objets connectés nécessite des changements architecturaux du réseau mobile pour améliorer ses performances, ce qui représente aujourd'hui un véritable défi pour la prochaine génération. Dans ce chapitre, nous avons passé en revue les limites de la génération actuelle de réseaux de téléphonie mobile qui ne pourront pas répondre à cette forte demande en termes de capacité. L'accès à la 5G est donc plus essentiel que jamais pour répondre aux exigences de l'avenir. Nous avons présenté la définition et les évolutions de cette génération, et les technologies L'accès à la 5G est donc plus essentiel que jamais pour répondre aux exigences de l'avenir. Nous avons présenté la définition et les évolutions de cette génération et les technologies Et trois bandes de fréquences. Ces petites cellules sont essentielles pour réduire l'énergie et aussi pour améliorer la latence.. Ces petites cellules sont essentielles pour réduire l'énergie et aussi pour améliorer la latence. Mais ces petites cellules nécessitent l'utilisation d'antennes intelligentes, c'est-à-dire que leurs plans sont directifs et peuvent être reconfigurés à la demande de l'utilisateur dans le cadre de la cinquième génération.

Chapitre II :
Radio sur Fibre
optique pour 5G

II-1-Introduction

L'augmentation du trafic de l'information requiert le développement de réseaux de télécommunications de plus en plus performants.

Depuis quelques années, la fibre optique est devenue un des médias de plus en plus utilisé pour transporter tout type d'information. L'objectif des télécommunications optiques consiste à effectuer la transmission des informations à des débits très élevés.

Avec l'évolution rapide des services de télécommunications accessibles aux usagers, comme les services multimédias enrichis de l'Internet à très haut débit, Tous ces services devront ainsi transporter des flux de données atteignant le gigabit par seconde. Cette sollicitation en très haut débit dépasse largement les possibilités offertes par les solutions à base de câble coaxial. Ces déploiements ont donné un avantage considérable aux fibres optiques par rapport aux câbles coaxiaux à faibles pertes qui avaient été utilisés pour leur capacité à transmettre les signaux RF.

Ce chapitre présente le concept de la radio sur fibre et ses applications, le principe de fonctionnement des composants photoniques de ces liaisons et les différentes architectures des systèmes à liaisons RoF.

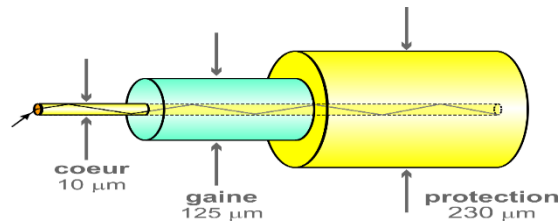
II-2-Différentes catégories de fibre optique :

II-2-1-Fibre optique :

La fibre optique est constituée d'un fil en verre ou en plastique très fin qui possède la propriété de conduire la lumière. Elle sert dans les transmissions des données terrestres et océaniques et offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux.

La communication par fibre optique utilise la fibre optique comme support de transmission et la lumière comme transporteur [12].

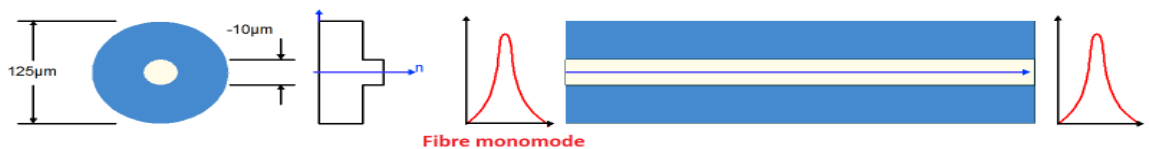
La fibre optique est constituée d'un cœur et d'une gaine en silice entourés d'une protection. Comme la montre la figure II-01.



FigureII-1: Fibre optique

II-2-2-Définition de la fibre optique monomode :

Dans la transmission à fibre optique, la fibre monomode (SMF) est la meilleure fibre existante à l'heure actuelle il est conçue pour directement porter la lumière uniquement dans



la fibre le mode transversal. [13]

FigureII-2 : Fibre monomode

II-2-3-Fibre optique multimode :

Multimode, la partie centrale où la lumière se propage, a un diamètre beaucoup plus grand que la longueur d'onde. Ce diamètre est compris entre 50 et 200 μm environ pour les fibres de silice, et 0,5 et 1 mm pour les fibres plastiques [14], Il y a deux types :

- ✓ Multimode à saut - d'indice: est une fibre dont l'indice de réfraction est uniforme dans le cœur et fortement réduit dans l'interface cœur-gaine en raison d'un indice de réfraction plus faible dans la gaine. La lumière se propage le long de l'axe de la fibre en zigzag selon le principe de la réflexion totale
- ✓ Multimode à gradient d'indice : dont l'indice de réfraction est plus élevé dans l'axe du cœur, puis diminue progressivement vers l'interface cœur-gaine. C'est-à-dire que l'indice de réfraction d'une fibre à gradient d'indice diminue progressivement à partir de son centre, et finit par atteindre la même valeur que la gaine au bord du cœur. Le changement d'indice de réfraction provoque une réfraction plutôt qu'une réflexion totale interne. [15]

II-2-4- Caractéristique de la fibre monomode et multimode :

Tableau II-1 : Comparaison des paramètres des trois types de fibre [16]

Type de fibre	Diamètre (cœur/gain/ μm)	Atténuation (dB/km)			Bande passante (MHz. Km)
		$\lambda = 850\text{nm}$	$\lambda = 1300\text{nm}$	$\lambda = 1550\text{nm}$	
Monomode	9/125	3	0.4	0.2	> 100 GHz.km à 1300 et 1550 μm
Multimode : grandirent d'indice	50/125	2.5	0.72		200à400MHz.km
	85 /125	3,5	2		100à500MHz.km
	10/140	5			100à400MHz.km
Multimode : saut d'indice	Diamètre du cœur : 200à600 μm	5 à 20 $\lambda = 850 \text{ nm}$			10à20 MHz.km

II-3- Définition une liaison par fibre optique :

Fonctionne pour transférer des données à travers les sources lumineuses, le système d'interconnexion de noyau de fibre optique est formé la montre la figure (II-03):

Un système émetteur qui génère un signal lumineux

Un ou plusieurs canaux de fibres optiques transmettent la lumière

Système de récepteur optique pour recevoir le signal optique [17]

Les transducteurs E/O et O/E et le canal de transmission optique (fibre optique).

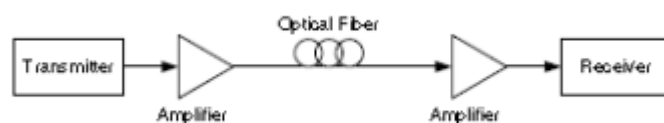


Figure II-3: modèle du lien de transmission optique

II-4-Définition de la technique RoF :

En partant d'un point d'accès, la transmission de type coaxiale impose de courtes distances de transmission du fait des pertes induites proportionnelles à la longueur du câble.

La fibre optique s'offre alors comme un candidat alternatif pour le transport d'un signal radiofréquence (le signal sans fil est distribué optiquement aux stations de base directement à des fréquences élevées et convertis du domaine optique au domaine électrique au niveau des stations de base avant d'être amplifiés et rayonnés par une antenne), car elle présente de nombreux avantages, en particulier ses faibles pertes favorisent la transmission sur de longues distances sans amplificateur ni répéteur. Les normes de constructions futures font qu'elles seront déployées à l'intérieur de bâtiments.

La technique radio-sur-fibre (RoF) consiste à moduler une porteuse optique par le signal électrique RF contenant les données à transmettre. Les signaux radio sont ainsi transmis par l'intermédiaire de fibres optiques de la station centrale vers plusieurs stations de base. [18]



Figure II-4: Schéma synoptique d'une liaison RoF.

II-5-Avantage et limitation des systèmes radio-sur-fibre :

II-5-1-Avantage des systèmes radio-sur-fibre :

Radio-sur-fibre est représenté l'avantage suivant :

- ✓ Large bande passante : les trois fenêtres de transmission à faible atténuation sont exploitées [850nm, 1300nm et 1550nm]. La caractéristique actuelle de la transmission est le dernier cas. Sur de longues distances. Pour fibre optique monomode de la largeur de bande combinée de ces trois fenêtres excède 50THz.
- ✓ Faible atténuation : la transmission des signaux RF en espace libre ou par câble est coûteuse et compte tenu des pertes limiter la portée de système la technique radio-sur-fibre sent être une solution à ce problème pour transporter des signaux radio à haute fréquence sur longue distance.

Chapitre II : Radio sur Fibre optique pour 5G

- ✓ Simplification des BS : une BS peut juste comprendre un laser et une photo détectrice pour conversion O/E et E/O, une amplification, un filtre RF, une antenne.

II-5-2- Limitations des systèmes radio-sur-fibre :

- ✓ Dispersion au niveau de la fibre optique : est toujours un contraire qui limite le langur des liens, pour la fibre monomode la limitation est due à la dispersion chromatique.
- ✓ Bruit et non-linéaire : état donné que l'on utilise des signaux analogiques, il fait dimensionner le système en tenant compte des imperfections propres telles que le bruit et les non-linéarités (point de compression, produits d'intermodulation). Ces affectes limitent la dynamique de la radio-sur-fibre. [19]

II-6-Application de la technologie RoF pour fronthaul 5 G :

II-6-1-Communications par satellite :

Les communications par satellite constituent une première application de la technologie RoF [20] en ce qui concerne la distribution des informations aux utilisateurs sur une courte distance. Une autre application dans le domaine satellitaire concerne la bande de la distribution 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, avec pour objectif d'améliorer la visibilité du satellite ou de réduire les interférences avec d'autres systèmes terrestres. Les équipements des stations de base peuvent ainsi être regroupés, ce qui réduit les coûts

II-6-2- Systèmes de distribution vidéo :

Les systèmes de distribution vidéo [21] offrant des services comme la distribution vidéo multipoint MVDS (Multi Channel Video Distribution Service) constituent un domaine très prometteur pour la technologie RoF. Le MVDS désigne les systèmes multimédia de diffusion vidéo, dans la bande de fréquence de 40 GHz.

II-6-3-Services mobiles à haut débit :

Le service mobile large bande (MBS) est destiné à étendre les services fixes à large bande (BISDN : Broadband Integrated Services Digital Network) aux utilisateurs de téléphones portables. De futurs services seront développés sur le B-IDSN et les réseaux mobiles doivent

Chapitre II : Radio sur Fibre optique pour 5G

également supporter ces services sur le système MBS. Ainsi, un très haut débit de l'ordre de 155 Mb/s par l'utilisateur doit être fourni. Par conséquent, des bandes de fréquences autour de 60 GHz ont été allouées. Une bande de 62 à 63 GHz est attribuée pour la liaison descendante tandis qu'une autre bande 65 à 66 GHz est attribuée pour la transmission en liaison montante. 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.

II-6-4- RoF pour les futurs réseaux domestiques :

La multiplication des appareils connectés et des services comme les médias center, les ordinateurs, la visiophonie, la TV sur IP (TOIP) conduit à une nouvelle architecture du réseau domestique et des technologies sans fil pour permettre d'offrir des débits supérieurs à 1Gb/s. Cette architecture du réseau domestique est fondée sur un réseau de distribution local câblé adapté à supporter des très hauts débits dans les différentes pièces de la maison et d'un immeuble. Une technologie radio prometteuse capable de fournir des débits au-delà du gigabit utilise les fenêtres de fréquences à 60 GHz avec des portées qui ne dépassent pas 15 m.

II-6-5-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 en introduisant de nouvelles fréquences pour augmenter la capacité de l'utilisateur. 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

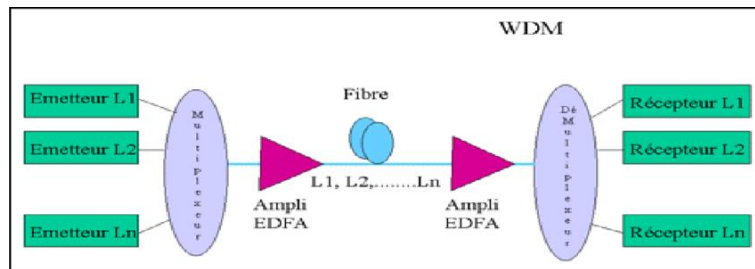
II-7- Architecteur de la radio-sur-fibre :

Topologies de réseaux Radio-sur-Fibre :

II-7-1-Point à point :

L'architecture d'un système point à point se présente de manière très simple. A fait l'objet de plusieurs études antérieures différentes (RoF) configurations d'extension des 60 GHz réseaux domestiques a été étudié et validées, visant à résoudre le problème de la forte atténuation des ondes millimétriques dans une structure interne. Ce système convertit les données reçues du cœur des réseaux en un signal radio qui modifie l'axe photoélectrique. Puis est envoyé à travers la fibre vers le convertisseur d'une station client. Ce signal est ensuite

amplifié par un amplificateur de forte puissance et émis dans l'espace jusqu'au terminal, la montre la figure (II-05).



FigureII-5: Architecteur point à point [22]

II-7-2-Multipoints à multipoints :

Représente un exemple d'architecture multipoints à multipoints incluant un coupleur optique $N \times N$ dans une double division dans un dispositif central de recevoir le signal radio provenant du point d'accès central et de le distribuer aux liaisons radio sur la fibre (RoF). Le laser et la photodiode de chaque transducteur se trouvent reliés à une entrée et une sortie du coupleur.

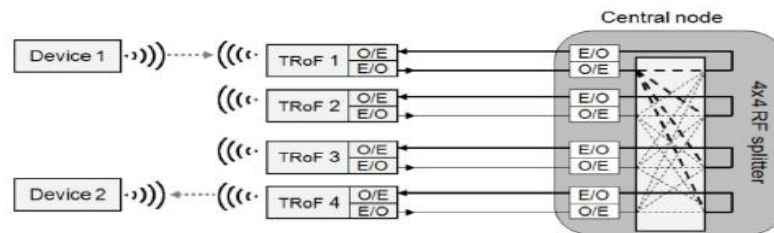


Figure II-6 : Architecture multipoints-à-multipoints [23]

II-8-Techniques de modulation de la radio –sur-fibre ROF :

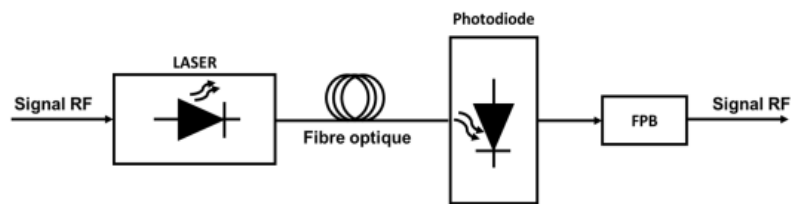
La modulation est l'impression du signal souhaité sur les fibres afin de transférer des informations dans les systèmes optiques numériques. Les données électriques sont également converties en données optiques. Il existe deux types de cette technique, à savoir la modulation directe et la modulation externe.

II-8-1-Modulation directe :

Les composants photoniques disponibles offrent différentes possibilités pour la conception d'architectures RoF adaptées à des applications variées. L'architecture la plus simple est la modulation directe avec détection directe (DM- DD, Direct Modulation – Direct Détection) décrite sur la figure (II-07) qui comporte une source laser modulée en intensité par

Chapitre II : Radio sur Fibre optique pour 5G

modulation du courant de polarisation, une fibre optique monomode qui transporte le signal optique de la source et une photodiode qui restitue le signal RF par détection quadratique. L'avantage de cette architecture est sa faible complexité et son coût compétitif étant donné le peu de composants nécessaires à son implémentation. La modulation directe a pour but de moduler le courant d'alimentation de la diode laser, ce qui entraîne une modulation de la puissance optique délivrée. Elle est cependant limitée par l'effet de chirp du laser et l'usage de la modulation externe devient nécessaire lorsque la fréquence RF dépasse la fréquence de relaxation du laser.

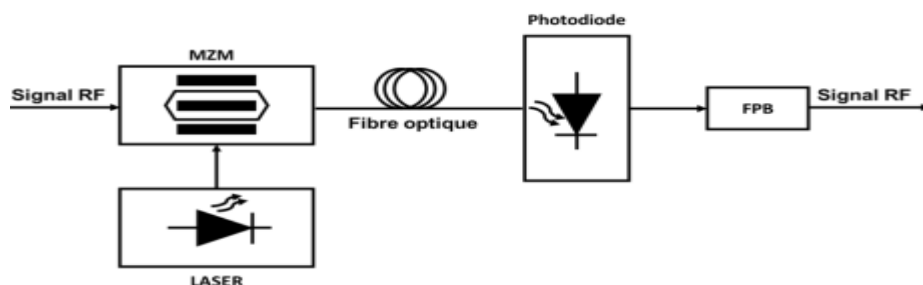


FigureII-7 : Modulation directe avec détection directe

II-8-2-Modulation externe :

II-8-2-1-Modulation d'intensité avec détection (IM-DD) :

La modulation d'intensité avec détection (IM-DD, Intensité Modulation-Direct Détection).fait appel à un modulateur externe de type Mach-Zehnder ou à électro-absorption pour moduler une onde optique délivrée par une source laser continue .cette méthode de modulation est très privilégiée pour la télécommunication à haut débit sur de longues distances, à cause de la limitation du chirp. Une photodiode restitue le signal RF modulant à la réception.



FigureII-8 : Modulation d'intensité avec détection directe

II-8-2-2-Modulation d'intensité avec détection cohérente (IM-CD) :

Une alternative à cette option est la modulation d'intensité avec détection cohérente (IMCD, Intensité Modulation-Cohérent Détection). Le battement de deux signaux optiques de fréquences f_{opt1} et f_{opt2} sur une photodiode produit une photo courant de fréquence égale à $f_{opt1} - f_{opt2}$ et d'amplitude proportionnelle aux amplitudes des signaux incidents [24]. Le 1er signal provenant de l'émetteur optique est modulé par le signal RF alors que le second signal est fourni par un oscillateur local au niveau du récepteur. En pratique, il faut rajouter un dispositif de stabilisation de la phase du signal détecté avant la conversion en bande de base. Cette opération se fait soit avec une boucle à verrouillage de phase optique (OPLL, Optical Phase Locked Loop) qui réalise un asservissement de la phase de l'oscillateur local figure (II-09), soit à l'aide d'un bloc de traitement numérique du signal.

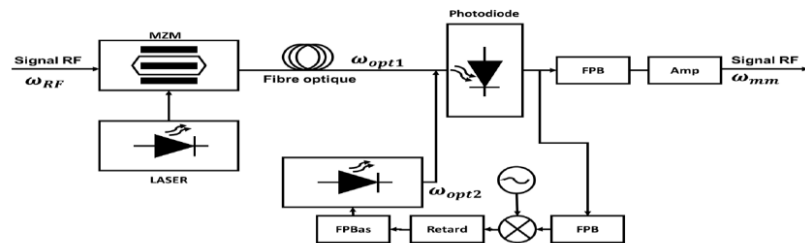
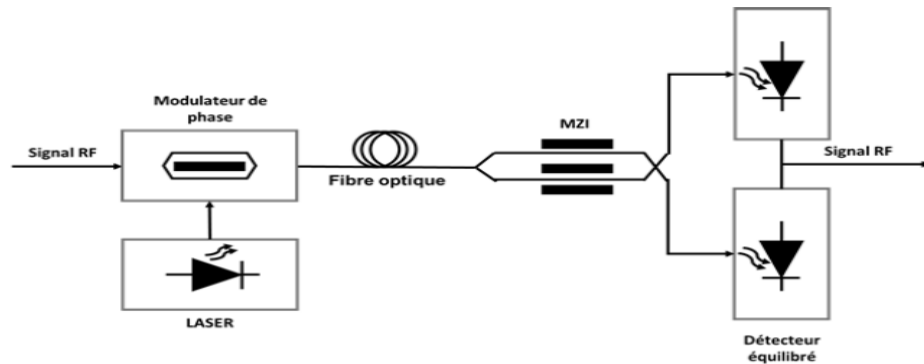


Figure II-9 : Modulation d'intensité avec détection cohérente

II-8-2-3- Modulation de phase avec détection directe (PM-DD) :

La modulation de phase avec détection directe (PM-DD, Phase Modulation – Direct Détection) possède l'avantage d'être moins sensible aux atténuations de l'amplitude de l'onde porteuse et consomme moins d'énergie que les architectures à modulation d'intensité. L'usage d'un Interféromètre pour la conversion amplitude-phase est nécessaire pour la détection directe (figure II-10).



FigureII-10 : Modulation de phase avec détection directe

II-8-2-4-Modulation de phase avec détection cohérente (PM- CD) :

Il est possible d'envisager une modulation de phase avec détection cohérente (-PMCD, Phase Modulation – Cohérent Détection). C'est une architecture similaire à la modulation d'intensité avec détection cohérente qui emploie un modulateur de phase à la place du MZM. La contrainte sur le bruit de phase est plus présente dans ce cas vu que c'est la phase qui porte le signal RF. Un traitement numérique est nécessaire pour démoduler le signal photo détecté [25].

II-9- Composant photonique d'une liaison radio-sur-fibre :

II-9-1- Laser semi-conductor:

Un dispositif semi-conducteur qui génère une lumière cohérente de haute intensité est connu sous le nom de diode laser. LASER est une abréviation pour (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). L'émission stimulée est la base du fonctionnement d'une diode laser.

La diode laser est similaire à la LED, cependant, différente à partir de LED, la jonction PN de la diode laser produit un rayonnement cohérent. Par rayonnement cohérent, on entend que les ondes lumineuses générées par le dispositif ont la même fréquence et la même phase. À transporter un signal contenant des informations sur de longues distances (dans le cas d'un système de télécommunications) ou à apporter de l'énergie lumineuse pour le pompage de certains lasers (lasers à fibre, laser DPSS) et amplificateurs optiques (OFA, Optical Fibre Amplifier).

Diodes lasers sont utilisées dans plusieurs domaines, particulièrement Parmi eux : - Les télécommunications optiques. [26]

II-9-2-Modulateurs optiques :

A des débits élevés, l'effet de chirp rend difficile l'usage de la modulation directe du laser. Le recours à la modulation externe devient nécessaire [27]. Dans ce cas, le laser polarisé par un courant continu fournit une onde optique à puissance constante qui peut être modulée en intensité ou en fréquence/phase. Deux catégories de matériaux sont généralement utilisées pour concevoir des modulateurs optiques. Les matériaux électro-optiques et les matériaux à électro-absorption. Il existe actuellement deux types de modulateurs optiques : les modulateurs électro-optiques tels que les modulateurs de Mach-Zehnder (MZ) sur niobate de

lithium (LiNbO_3) et les modulateurs électro-absorbants (MEA) sur phosphure d'indium (InP). La différence entre ces deux technologies réside principalement dans les propriétés des matériaux utilisés dans la fabrication.

II-9-2-1-Modulateurs électro-optiques :

Certains matériaux voient leurs propriétés optiques modifiées lorsqu'ils sont soumis à un champ électrique : ceci est dû à des effets électro-optiques [28]. On distingue, deux types d'effets électro-optiques : l'effet électro-optique linéaire dans lequel, la variation de l'indice optique est proportionnelle au champ appliqué (appelé effet Pockels), et le deuxième est l'effet électro-optique quadratique, où la variation de l'indice est proportionnelle au carré du champ appliqué (appelé effet Kerr). L'effet électro-optique, est utilisé pour la réalisation de modulateurs de lumière, de déflecteurs et de filtres ; il permet en particulier la modulation de faisceaux lumineux jusqu'à plusieurs gigahertz.

II-9-2-1-1-Modulateur de phase :

Il est formé d'un guide d'ondes optique dont le cœur est constitué d'un matériau électro-optique, souvent du niobate de lithium ; ce guide est déposé sur une électrode disposée sur le substrat (figure II-11). Une autre électrode est déposée sur la face supérieure du guide, permettant ainsi d'appliquer un signal électrique de commande entre les deux électrodes

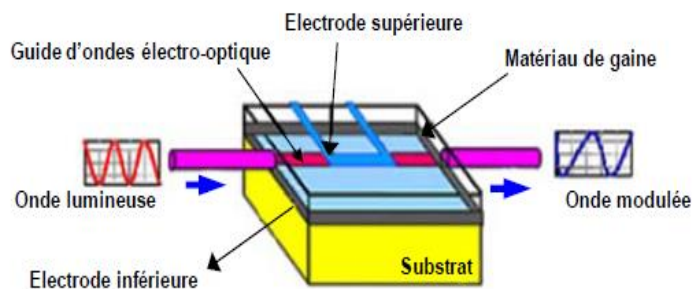
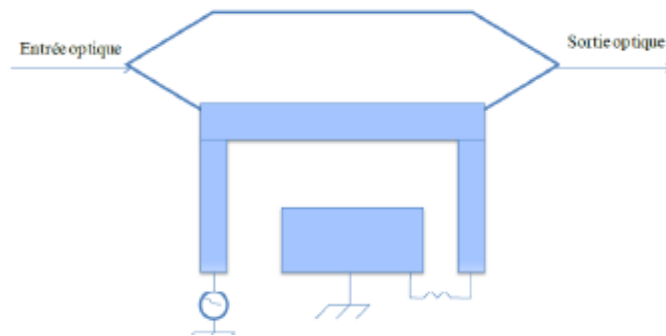


Figure II-11 : Modulateur de phase

II-9-2-1-2- Modulateur d'intensité de Mach-Zehnder

Le principe de fonctionnement, consiste à effectuer une modulation de l'intensité lumineuse en faisant varier la phase dans un interféromètre [29]. La figure (II-12) montre l'architecture d'un modulateur de type de Mach-Zehnder. Il est composé d'une jonction Y en entrée permettant de séparer le faisceau incident en deux ondes sur les deux bras du modulateur. Sur l'un des bras de l'interféromètre, il y a une électrode qui permet d'appliquer

un champ électrique entraînant une modification de l'indice de réfraction du matériau électro-optique et provoquant un changement de la phase de l'onde lumineuse comme pour le modulateur de phase. La sortie de l'interféromètre est composée d'une deuxième jonction permettant la recombinaison des deux ondes déphasées. En fonction de la différence de phase totale, la lumière se recombine plus ou moins efficacement, voire pas du tout, en sortie de l'interféromètre, conduisant ainsi à une modulation de la puissance lumineuse. Ces modulateurs, souvent réalisés à base du matériau électro-optique niobate de lithium (LiNbO_3), nécessitent cependant une tension de commande élevée ; leur intégration avec d'autres composants est difficile et ils ne sont pas stables dans le temps du fait d'une dérive du point de fonctionnement.



FigureII-12 : Schéma d'un interféromètre de Mach-Zehnder

II-9-2-2- Modulateurs à électro-absorption (MEA)

Les modulateurs à électro-absorption (MEA) sont en réalité des diodes PIN à base de matériaux semi-conducteurs à bande interdite directe (matériaux III-V) ou des diodes Schottky [30]. Quand une telle jonction est polarisée en inverse, il y a apparition d'un champ électrique E au niveau de la zone intrinsèque, ce qui a pour effet d'incliner les bandes de conduction et de valence dans cette zone. Le gap effectif séparant ces deux niveaux est réduit (les électrons peuvent passer par effet tunnel dans la bande de conduction) ; il apparaît ainsi un recouvrement entre les fonctions d'onde des électrons et des trous pour des énergies de photons inférieures à celles du gap E_g . Le matériau devient ainsi absorbant pour des énergies de photons plus faibles que l'énergie du gap du matériau semi-conducteur. Ceci se traduit par une modification du seuil d'absorption du matériau intrinsèque (matériau dit actif) vers les grandes longueurs d'onde. Cet effet est appelé l'effet Franz-Keldysh dans le cas où le matériau intrinsèque est un matériau massif. Cet effet permettant de modifier le seuil

d'absorption du matériau, il est alors possible de réaliser une modulation d'amplitude d'une onde lumineuse en fonction de la tension inverse appliquée

II-9-3-Photo détecteur :

La photodiode est un composant à base de matériaux semi-conducteurs [31]. Dans son principe, la lumière, et donc les photons qu'elle reçoit, est absorbée en favorisant des transitions des électrons de la bande de valence du semi-conducteur vers sa bande de conduction. Ces porteurs photo-crées (paires électrons-trous) sont égaux au nombre de photons absorbés ; ils sont plus ou moins libres de se déplacer dans la structure sous l'effet d'une polarisation, assurant ainsi le passage d'un courant électrique. Seuls les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de bande interdite du semi-conducteur sont absorbés en créant ces paires électrons-trous.

Parmi les photo-détecteurs à semi-conducteurs les plus utilisés, on trouve les photodiodes PIN.

La structure de la photodiode PIN, dans laquelle une région intrinsèque est matérialisée entre les régions P et N, est ainsi favorable [32]. La majorité des photons est alors absorbée dans la zone intrinsèque, lorsque la photodiode est polarisée en inverse.

II-10-Conclusion :

Dans ce chapitre, la Radio-sur-Fibre a été décrits, montrant l'intérêt actuel porté à ces techniques de transmission de l'information.

.La radio-sur-fibre est considérée comme l'une des technologies potentielles qui permettraient d'implémenter les architectures distribuées envisagées pour le réseau d'accès de la 5G. Les différents composants photoniques et leurs caractéristiques ont été présentés afin de comprendre les différences entre les architectures RoF.

La technologie ROF offre une solution efficace pour distribuer et déplacer des signaux analogiques dans l'une des deux bandes (bande large ou bande étroite). Cette technologie a également l'avantage d'être compétitive dans les technologies de pointe à l'avenir.

Trois connexions sont également décrites pour IM-DD, et une application appropriée pour les réseaux domestiques est la liaison ROF transportant le spectre des fréquences radio.

Chapitre III :
Simulation et
Résultat de liaison
RoF pour NR 5G

III-1-Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la simulation d'une liaison Fronthaul pour 5G NR. Dans notre travail nous présentons deux types de liaisons, la première est une transmission d'un signal analogique sur fibre optique, la deuxième est la transmission d'un signal numérique sur deux types de fibre optique (fibre monomode et fibre bidirectionnelle). Nous allons étudier les performances de chaque liaison selon différentes configurations des éléments intrinsèques du système. Les performances seront mesurées selon le rapport "Taux d'Erreur Binaire, BER", le facteur de qualité "Q facteur" ainsi que par la visualisation du diagramme de l'œil de la liaison.

III-2- Présentation du logiciel de simulation

Logiciel OptiSystem permet de simuler et d'analyser des systèmes de transmission optique. La diversité des systèmes simulés peut être étendue par la possibilité d'insérer des fonctions réalisées par l'utilisateur et qui peuvent être ajoutées aux systèmes simulés.

L'OptiSystem teste et optimise pratiquement n'importe quel type de liaison optique il est basé sur la modélisation réaliste des systèmes de communications par fibre optiques.

L'interface utilisateur graphique complète et contrôle la disposition de composants optiques, elle contient une fenêtre principale répartit en plusieurs parties :

- Bibliothèque: une base de données de divers composants.
- Editeur du layant: permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- Projet en cours: visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours.

Paramètres réalistes, ces capacités peuvent être étendus facilement avec l'ajout de composants et peuvent être élies à un large éventail d'outils. Une interface complète d'utilisateur graphique contrôle la disposition optique des composants, des modèles et des présentations graphiques.

III-3-Evaluation de la qualité de transmission

III-3-1 -BER : Taux d'Erreur Binaires

On définit le taux d'erreurs binaire (Bite Error Rate) en anglais (BER) par le nombre de bits erronés sur le nombre de bits transmis pendant la durée de la mesure qui quantifie la fiabilité

de l'ensemble du système radio, des "bits entrants" aux "bits sortants", le BER est un concept simple - sa définition est :

$$\text{BER} = \frac{\text{Nombre de bits errones}}{\text{Nombre de bits transmis}} \dots\dots\dots \text{III-1}$$

Le BER d'un système par fibre optique est généralement de l'ordre de 10^{-9} . Ce dernier dépend du rapport signal sur bruit, qui est déterminé par le facteur de qualité, ce qui indique une perte de puissance du signal. La relation entre BER et le facteur Q est donnée comme suit :

$$\text{BER} = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \left(\frac{Q^2}{e^{\frac{Q^2}{2}}} \right) \dots\dots\dots \text{III-2}$$

III-3-2-Q Factor : Facteur de qualité

Le facteur Q est une mesure de performance courte pour la caractérisation rapide des systèmes de transmission numérique optique. Le facteur Q est défini comme:

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma_1 + \sigma_2} \dots\dots\dots \text{III-3}$$

Où μ_0 et μ_1 sont les valeurs moyennes et σ_0 et σ_1 sont les variances des fonctions de densité de probabilité $p_x(x|0)$ et $p_x(x|1)$. Q peut être interprété comme un rapport signal/bruit (SNR) où l'énergie du signal augmente avec la distance entre μ_0 et μ_1 et l'énergie du bruit augmente lorsque σ_0 et/ou σ_1 sont augmentés.

III-3-3-Diagramme de l'œil

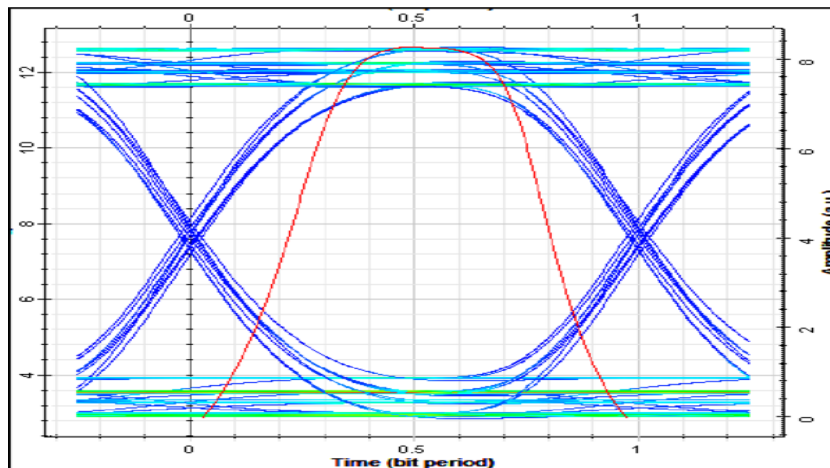


Figure III- 1 : Exemple de Diagramme de l’Oeil.

Diagrammes de l’Oeil est un élément fondamental dans l’analyse des performances d’un système de communication numérique. Le Diagramme de l’œil est la figure obtenue en superposant toutes les traces (ou réalisations) du signal non bruité pendant une période T quelconque. Le diagramme de l’œil peut être visualisé en laboratoire par un oscilloscope. C’est une représentation exploitable en laboratoire du montant de l’IES à un instant quelconque. En effet, il permet d’observer les caractéristiques suivantes :

La largeur horizontale de l’Oeil détermine la sensibilité du récepteur au choix de l’instant d’échantillonnage. L’ouverture verticale de l’Oeil à l’instant d’échantillonnage représente l’immunité de la transmission au bruit. La pente de l’Oeil permet d’apprécier la sensibilité du récepteur à la gigue en temps (variance du temps de groupe). Une forte pente indique que l’Oeil se ferme rapidement lorsque le retard varie par rapport à sa valeur moyenne.

III-3-4- Etude de la fenêtre RF

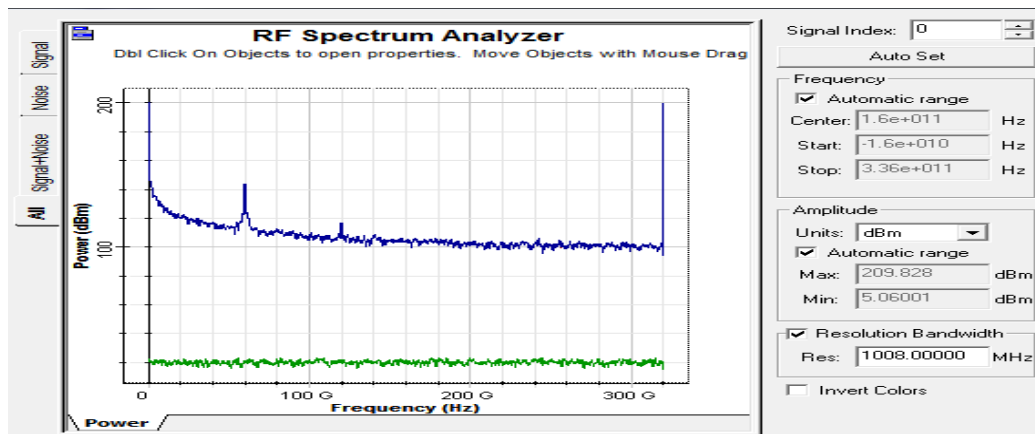


Figure III-2 : La fenêtre de RF Spectrum Analyzer en réception

L’analyseur de spectre RF permet à l’utilisateur de calculer et d’afficher des signaux électriques dans le domaine fréquentiel. Il peut afficher l’intensité du signal, la densité spectrale de puissance et la phase. En l’utilisant, nous visualisons le graphique suivant : le Signal, le Bruit, le Signal + bruit. L’analyseur des spectres électriques (ECAN) mesure et compare différents résultats à deux fréquences différentes. Il peut également calculer le rapport signal sur bruit. L’ECAN estimera le signal et la puissance de bruit pour chaque canal de signal électrique en fonction de la fréquence centrale des filtres internes. L’onglet d’analyse affiche les résultats tels que la fréquence, la puissance, le bruit et le SNR.

III-4-Simulation d'une liaison RoF:

La figure III-3 représente une méthode de création d'une porteuse millimétrique par battement de source maître esclaves. Un signal sinusoïdal analogique créé par une génératrice radiofréquence est envoyé au modulateur optique en même temps qu'une source laser (laser Maître) pour générer un signal optique modulé. L'isolateur idéal est un élément nécessaire pour une utilisation au sein du système de communication par fibre optique. On divise le signal en deux parties, et on réalise un couplage avec deux autres lasers (laser esclave) pour ensuite combiner les deux signaux et obtenir un signal plus fort. Enfin, la photodiode reçoit le signal lumineux et le convertit en un signal électrique radio fréquence.

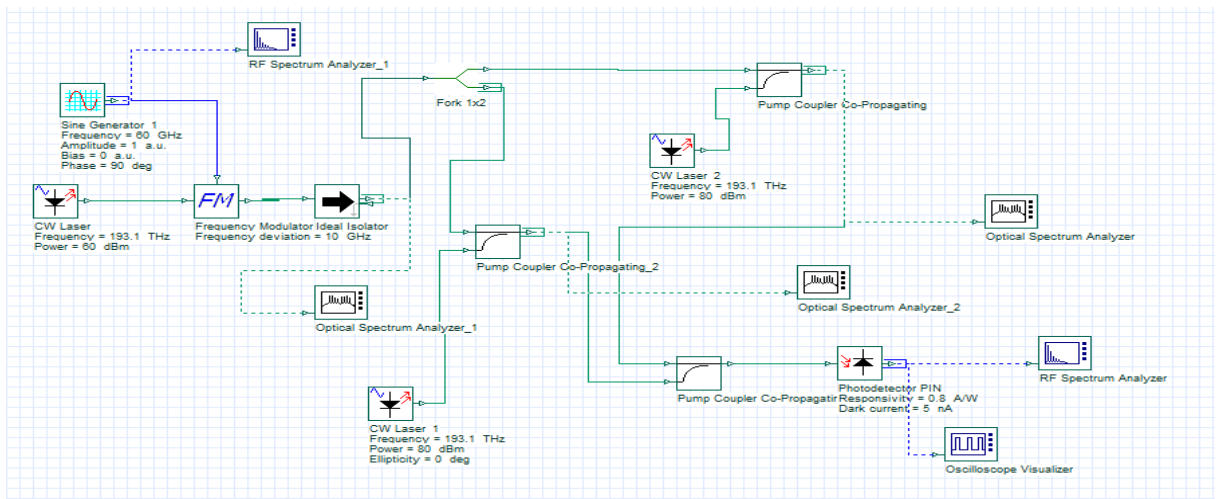


Figure III- 3 : Schéma réception d'un gNodeB obtenue par battement de lasers.

III-5-Résultats de la simulation

III-5-1-Influence des bandes de fréquence sur le SNR:

Les bandes de fréquences pour la 5G NR sont séparées en deux plages de fréquences différentes.

1. La gamme de fréquences 1 (FR1) comprend des bandes de fréquences inférieures à 6 GHz, dont certaines sont des bandes traditionnellement utilisées par les normes précédentes, mais a été étendue pour couvrir de nouvelles offres de spectre potentielles de 410 MHz à 7125 MHz.

2. La gamme de fréquences 2 (FR2) comprend des bandes de fréquences de 24,25 GHz à 52,6 GHz. Les bandes de cette gamme d'ondes millimétriques ont une portée plus courte mais une bande passante disponible plus élevée que les bandes FR1.

Pour notre simulation, nous allons transmettre un signal sinusoïdal RF ayant une puissance ensuite nous allons mesurer le SNR à la sortie du récepteur pour différentes fréquences des bandes FR1 et FR2 suscitées. Les figures ci-dessous représentent quelques exemples de la sortie du générateur RF (gauche) et de la sortie du photo-détecteur (droite)

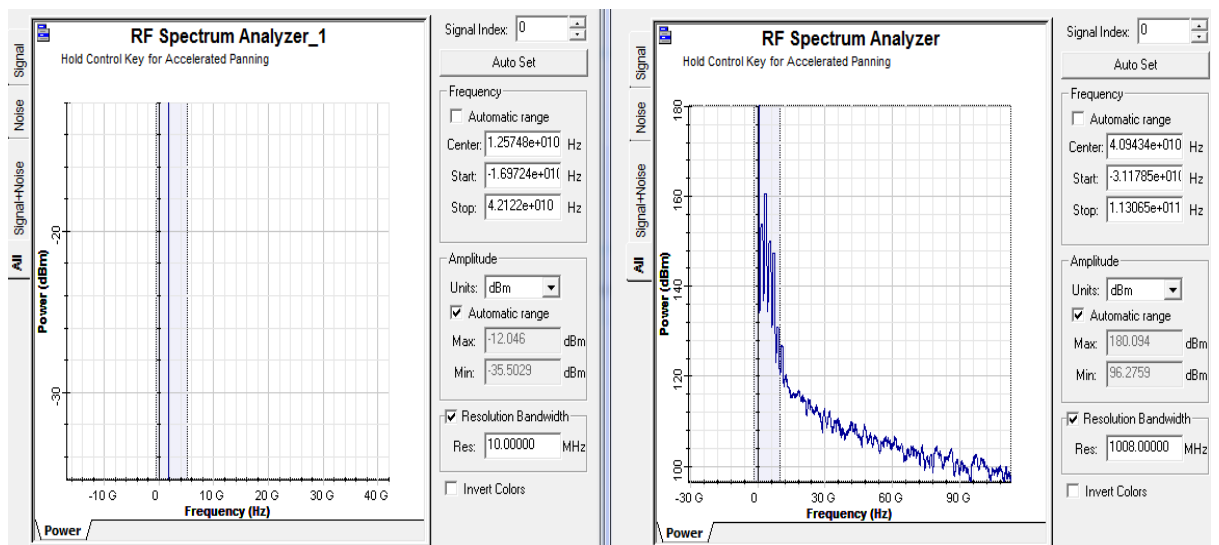


Figure III-4 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 1.8 GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm)

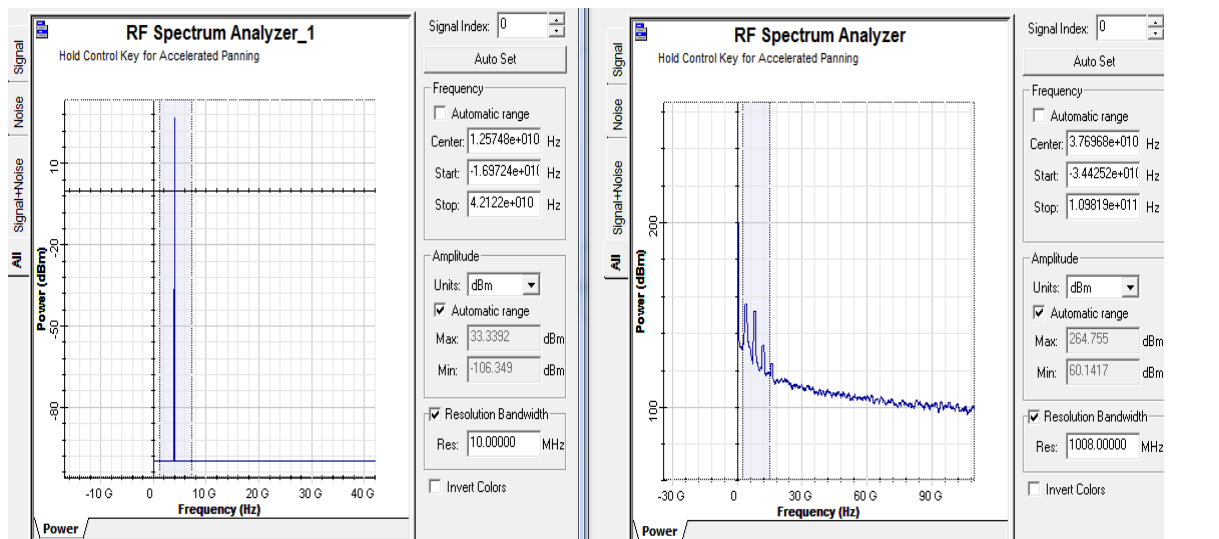


Figure III-5 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 4GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm)

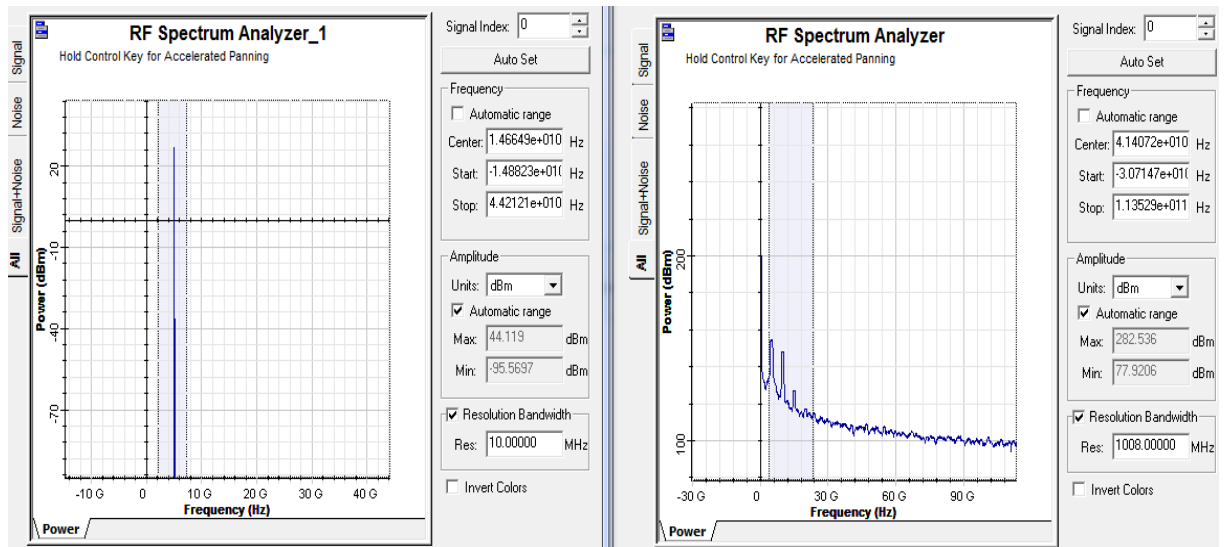


Figure III-6 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 5GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm)

D'après les résultats de mesure obtenus, on peut voir qu'il existe une variation du SNR obtenu (voir Tableau III-1) dans chaque bande de fréquence étudiée (1,8 GHz, 4 GHz et 5 GHz) de FR1 (<6 GHz), donc le SNR est lié à la bande de fréquence utilisée. Par conséquent, nous concluons que pour pouvoir obtenir un SNR constant à la réception, la puissance doit être prise en compte, et doit être modifiée en fonction de chaque bande.

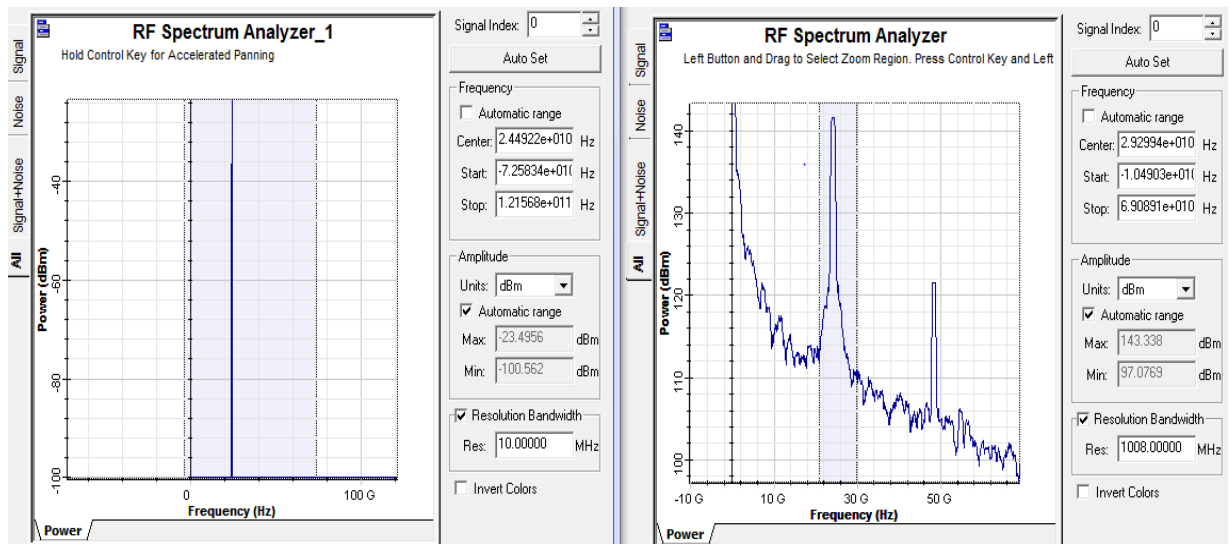


Figure III-7 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 24.25GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm)

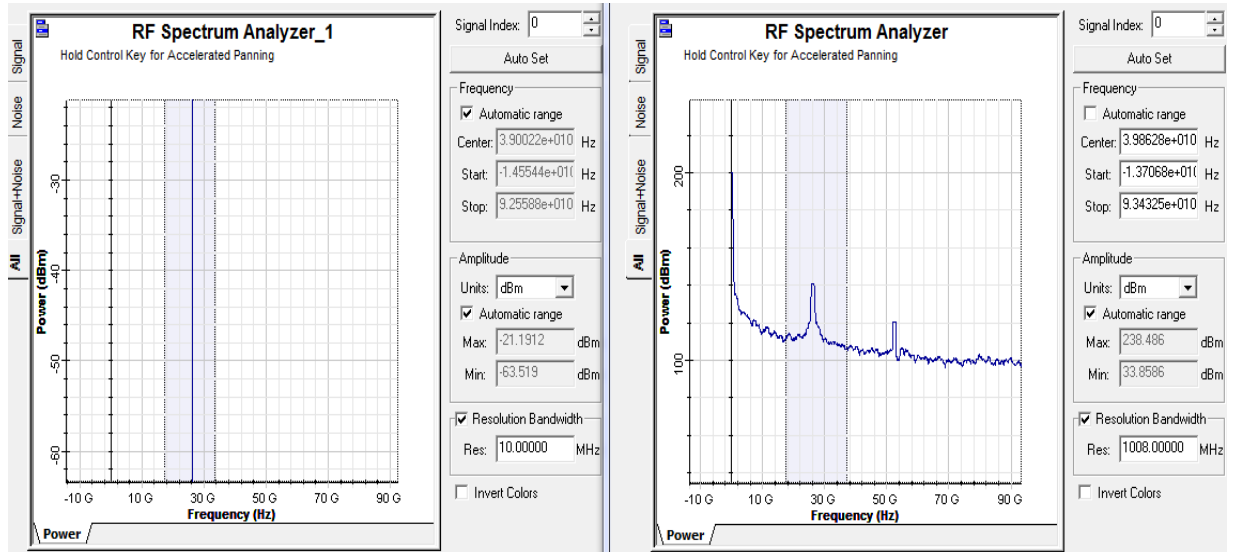


Figure III_8 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 26.25 GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm)

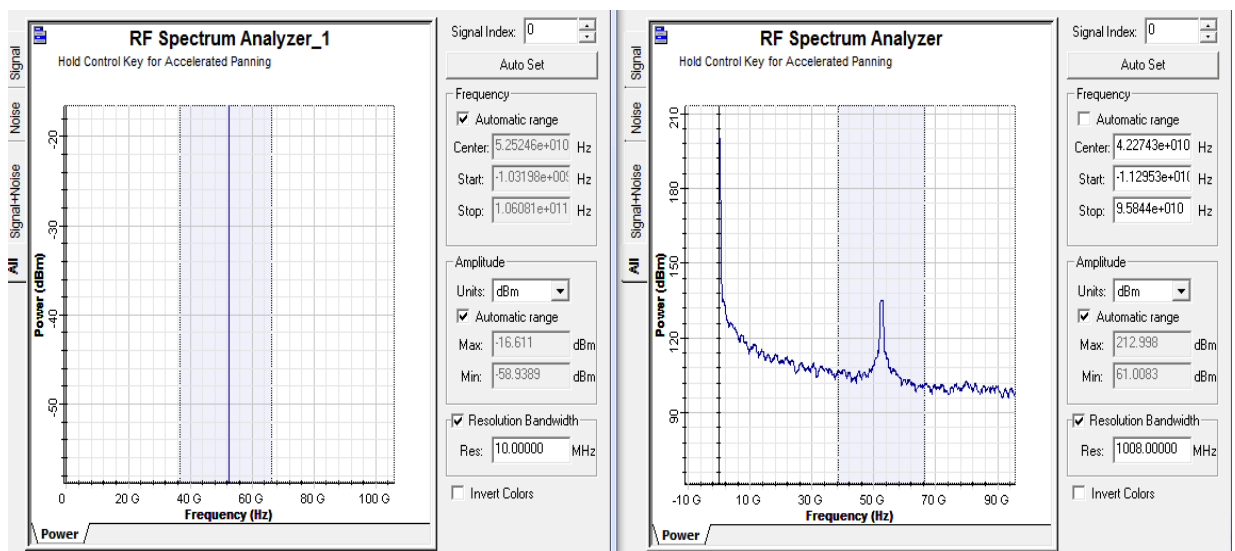


Figure III-9 : Schéma des sorties de l'émetteur et du récepteur pour un signal RF à 52.6 GHz (Puissance Maitre 110dBm et esclave 70dBm)

D'après les résultats obtenus, dans les mesures des bandes de fréquences FR2, 24.25GHz, 26.25GHz et 52.6GHz, on remarque une variation de la valeur du SNR(Voir le tableau III-1) pour chaque valeur de fréquence tout en maintenant la même puissance, nous concluons donc que la puissance transmise peut être modifiée pour obtenir la meilleure valeur du SNR désiré.

III-5-2-Influence de la puissance des lasers sur le SNR:

Les chiffres ci-dessous montrent que le signal analogique est de 26,5 GHz, la variance du rapport signal sur bruit (SNR).

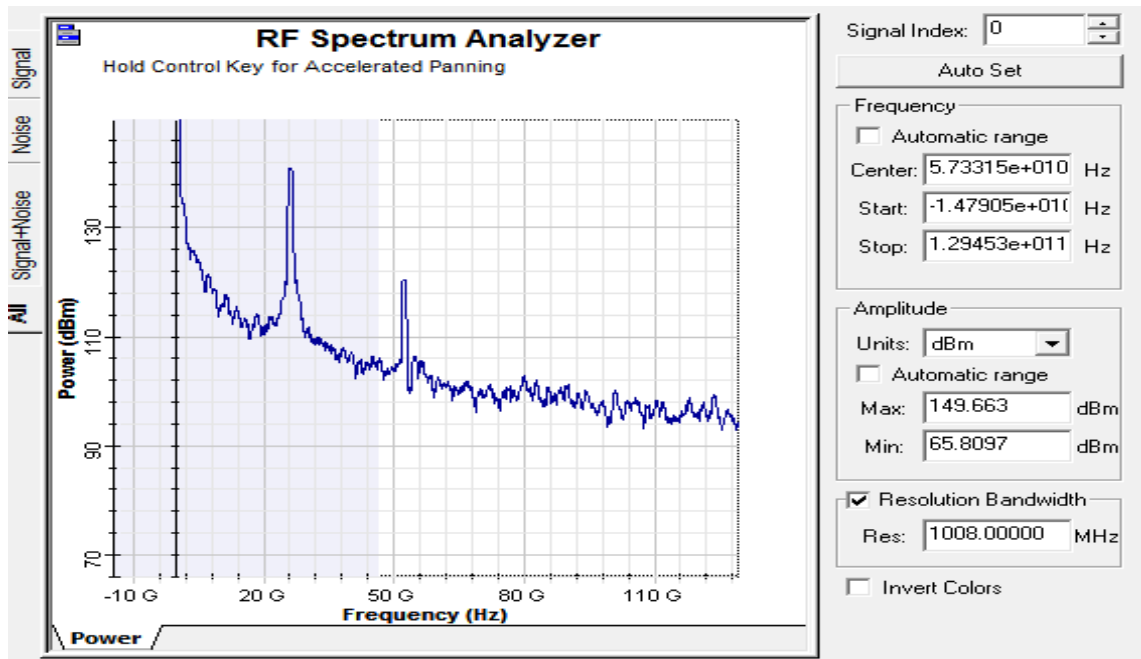


Figure III- 10 : Schéma de la sortie du récepteur pour les puissances Maître 110dBm et esclave 70dBm (26.25 GHz)

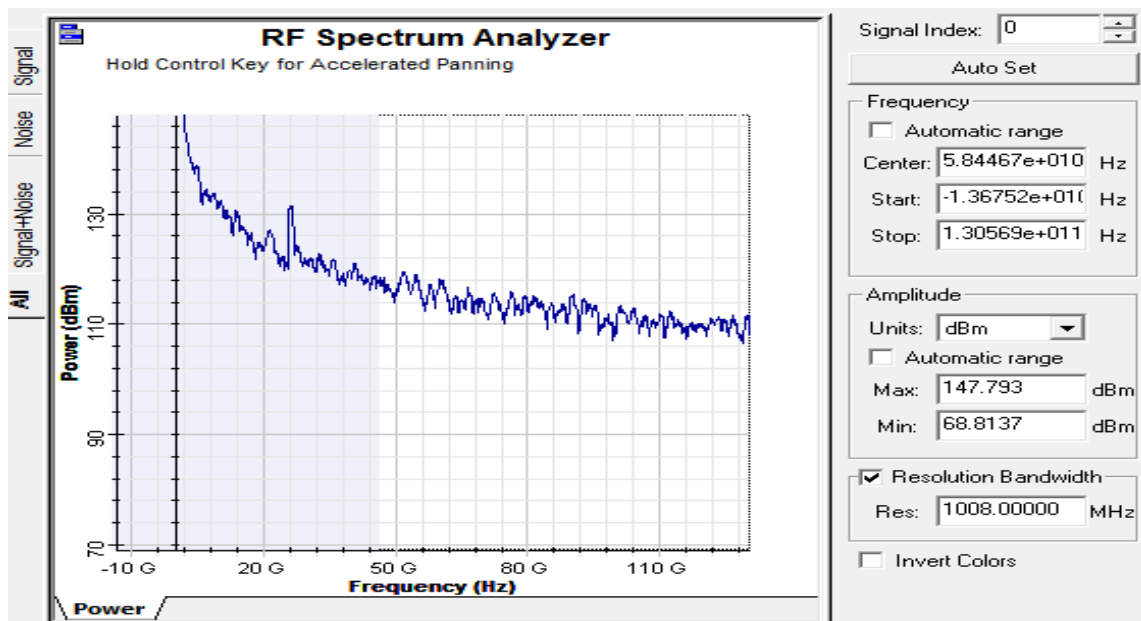


Figure III- 11 : Schéma de la sortie du récepteur pour les puissances Maître 70dBm et esclave 100dBm (26.25 GHz)

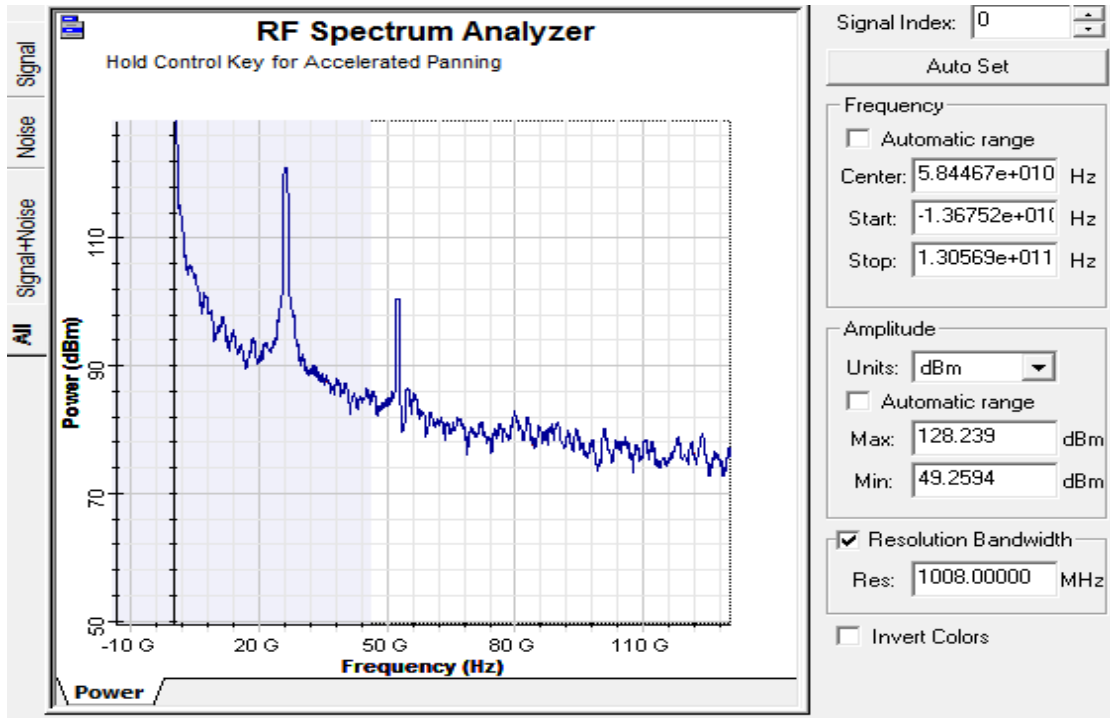


Figure III- 12 : Schéma de la sortie du récepteur pour les puissances Maître 110dBm et esclave 50dBm (26.25 GHz)

D'après le schéma des résultats obtenus, après mesure des états de puissance, en changeant les puissances du laser Maître et des lasers esclaves, on remarque une variation de la valeur du SNR dans chaque cas étudié (Voir le tableau III-2).

Par conséquent, nous concluons que nous pouvons obtenir un SNR souhaitable grâce à une combinaison des puissances des lasers Maîtres et esclaves.

Tableau III.1 : Variation du SNR selon les bandes de fréquences

Les bandes de fréquences (GHz)		SNR (dB)
FR1	1.8	2.71
	4	6.43
	5	5.59
FR2	24.25	1.69
	26.25	8.47
	52.6	5.43

Chapitre III : Simulation et Résultat de liaison RoF pour NR 5G

Dans le Tableau III.1 nous voyons un écart de la valeur de SNR c'est-à-dire à 1,8dBm (RF1) et 24,25dBm (RF2) la valeur de SNR comme un très faible.

Et à 4dBm (RF1) et 26,25dBm (RF2) nous remarquons une augmentation de la valeur de SNR.

Et à 5dBm (RF1) et 52.6dBm (RF2) on remarque une valeur SNR moyenne.

Tableau III.2 : Variation du SNR selon les puissances maître /esclave

Les puissances (dBm) maîtres et esclaves	SNR (dBm)
110dBm 70dBm	3.56
70dBm 100dBm	3.31
110dBm 50dBm	4.15

Dans le Tableau III.2 nous voyons un écart dans la valeur de SNR C'est-à-dire qu'à 110dBm (maître) et 70dBm (esclave) la valeur de SNR est quelque peu moyenne.

à 70dBm (maître) et 100dBm (esclave) valeurs SNR faible et à 110dBm (maître) et 50dBm (esclave) valeurs SNR au pic.

III-6-Simulation d'une liaison optique avec un signal d'entrée numérique :

Dans cette simulation, nous allons étudier une liaison complémentaire à la liaison RoF simulée auparavant. Cette liaison fait partie des interfaces existant dans un gNodeB. Deux types de liaison optique seront considérés, l'une avec une fibre optique monomode et l'autre avec une fibre optique bidirectionnelle. La simulation consiste à utiliser un signal numérique, de type RZ ou NRZ, pour moduler le signal issu d'un laser à l'aide d'un modulateur optique de type Mach-Zehnder. Une photodiode permet de récupérer le signal numérique initial. Figure III-13

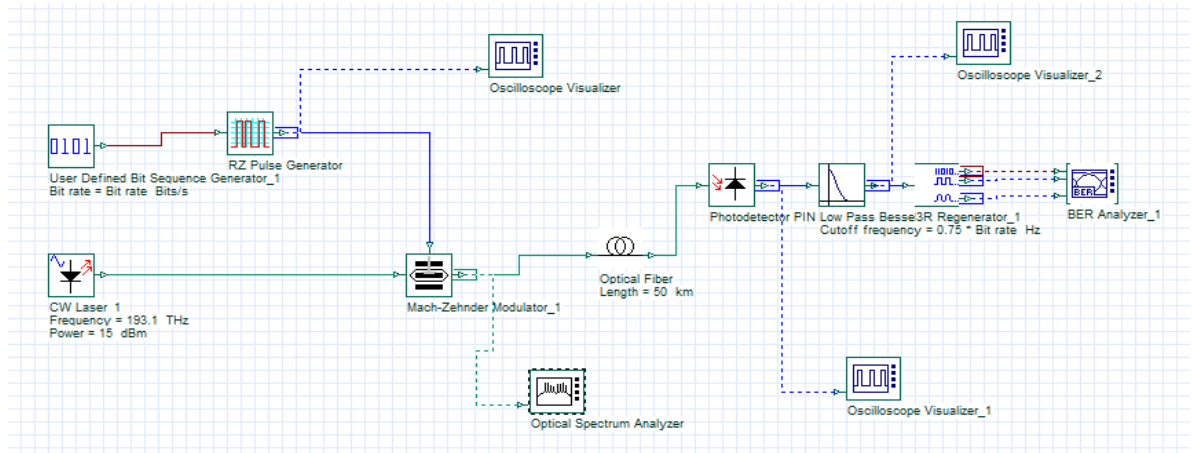


Figure III- 13 : Schéma d'une liaison avec une fibre monomode et une entrée numérique

Dans cette étude, nous utilisons un générateur de séquences binaires RZ et NRZ. Le laser à onde continue est utilisé pour générer un signal optique avec trois puissances différentes 5dBm, 10dBm ,20dBm. Le modulateur Mach Zehnder génère ainsi un signal optique modulé qui sera émis dans une fibre optique monomode. Nous avons considéré des fibres de longueurs (5km, 12.5km, 25km et 50km), de longueur d'onde 1550nm et d'atténuations. (0.2db/km, 0.4dB/km, 0.6dB/km, 0.8dB/km). Nous avons pris des mesures sur une fibre monomode et les classés selon la distance, la puissance, le débit, et type d'impulsion (NRZ, RZ). Nous avons considéré le facteur Q comme mesure de la qualité de la liaison. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.3 : Tableau des mesures de la valeur du Q facteur

L (km)	P (dBm)	B.R (Mb/s)	NRZ	RZ	L (km)	B.R(Mb)	NRZ	RZ		
5	5	3,5	415,783	624,303	25	3,5	203,114	213,678		
		4	404,414	199,059		4	51,436	42,8705		
		5,5	339,826	447,118		5,5	78,3482	121,433		
	10	3,5	457,558	1029,5		3,5	229,728	254,457		
		4	445,383	203,099		4	113,553	104,537		
		5,5	308,519	631,763		5,5	79,4196	136,161		
	20	3,5	469,793	1401,09		3,5	212,913	291,1		
		4	465,635	205,701		4	170,993	175,772		
		5,5	410,144	725,851		5,5	67,5204	148,009		
	12,5	5	3,5	335,299		405,298	50	3,5	81,9748	97,5692
			4	212,691		156,576		4	65,1166	89,2179
			5,5	192,962		213,417		5,5	27,0658	42,1929
10		3,5	349,509	534,783	3,5	94,3009		135,807		
		4	293,146	195,408	4	65,1166		111,042		
		5,5	124,788	238,31	5,5	28,1948		49,2814		
20		3,5	357,529	587,208	3,5	66,2283		137,524		
		4	312,637	203,147	4	52,8996		92,9368		
		5,5	205,529	261,626	5,5	37,0467		64,6067		

Ces résultats nous permettent de dimensionner la liaison optique numérique dans le gNodeB. En effet, sachant les valeurs de la distance et du débit imposé, nous pouvons prévoir la puissance pour obtenir le facteur Q désiré.

III-6-1- Exemples de diagramme de l'œil et du facteur de qualité Q :

- La figure III-14 représente le Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité Q pour les paramètres suivants : Distance=50 km, puissance =20dBm, débit =3,5GHz.

La courbe en bleu représente le diagramme de l'œil et la courbe en rouge représente la valeur du Q facteur. On remarque que l'œil du diagramme est bien ouvert au milieu de la durée du bit et que le facteur Q est aussi maximal au milieu du bit. Ceci indique la bonne qualité de la transmission.

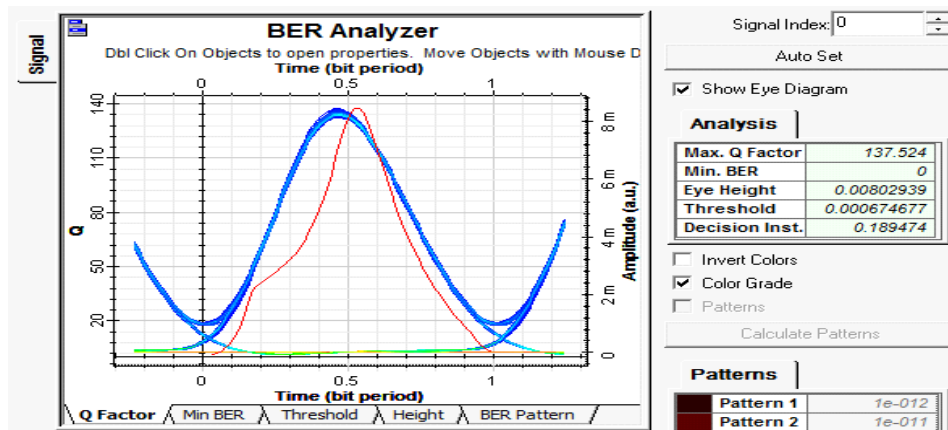


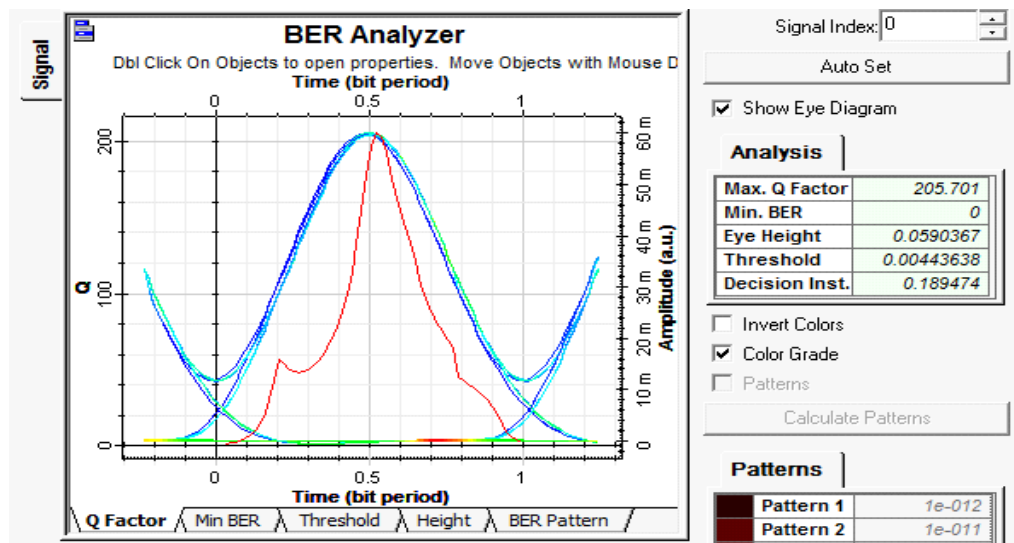
Figure III-14 : Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres:

Distance =50 km, puissance=20dBm, débit =3,5GHz.

La figure III-15 représente le Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres suivants :

Distance=5 km, puissance= 20dBm, débit= 4GHz.

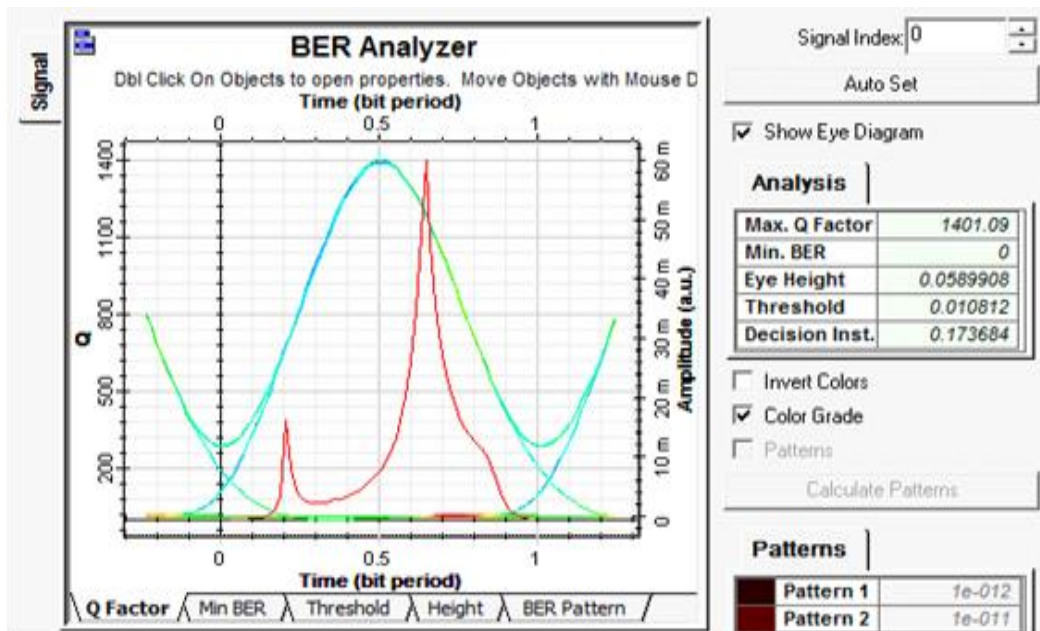
La courbe en bleu représente le diagramme de l'œil et la courbe en rouge représente la valeur du Q facteur. On remarque que l'œil du diagramme est bien ouvert au milieu de la durée du bit et que le facteur Q est aussi maximal au milieu du bit. Ceci indique la bonne qualité de la transmission.



FigureIII-15 : Diagramme d’œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres:

Distance =5 km, puissance =20dBm, débit= 4GHz.

- La figure III-16 représente le Diagramme d’œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres suivants : Distance =5 km, puissance =20dBm, débit= 3,5GHz.



FigureIII-16 : Diagramme d’œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres:

Distance=5 km, puissance= 20dBm, débit =3,5GHz.

III-7- Simulation de la liaison numérique avec une fibre bidirectionnelle :

La figure III-17 représente la transmission d'un signal numérique modulant un signal lasers en utilisant un modulateur de type Mach Zehnder. Le signal modulé est émis dans une fibre optique bidirectionnelle.

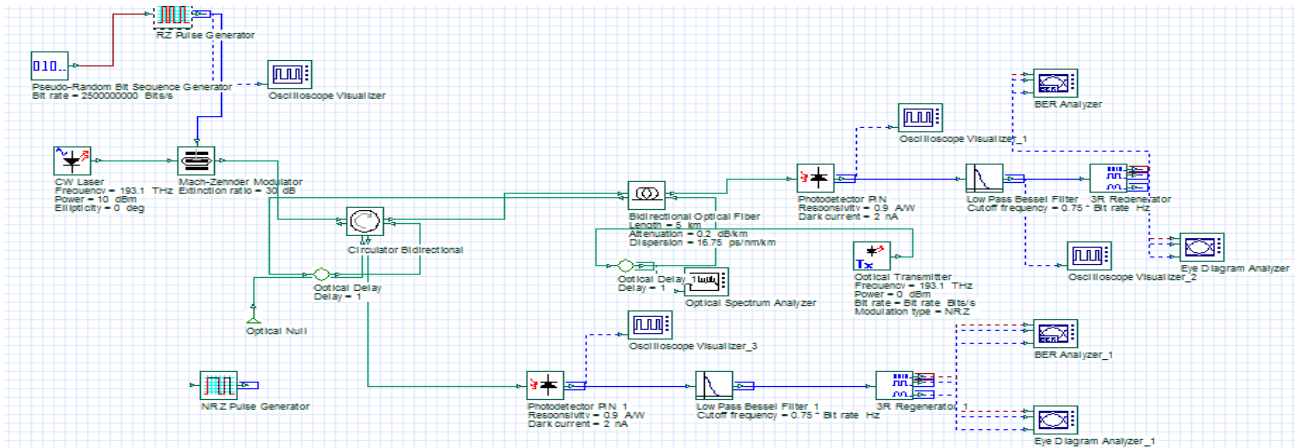


Figure III-17 : Schéma d'une liaison numérique avec une fibre bidirectionnelle

Nous avons pris des mesures sur une fibre bidirectionnelle et les avons classés selon la distance, la puissance, le débit, le type d'impulsion (NRZ, RZ). Nous avons considéré le facteur Q comme mesure de la qualité de la liaison. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.4 : Tableau des mesures pour la valeur de Q facteur

L (km)	P (dBm)	B.R (Mbps)	NRZ	RZ	L (km)	P (dBm)	B.R (Mbps)	NRZ	RZ
5	5	2,5	465,323	828,24	25	5	2,5	267,509	332,637
		4,5	407,606	597,958			4,5	133,333	162,111
	10	2,5	496,674	1459,71		10	2,5	299,779	441,888
		4,5	427,813	877,518			4,5	145,459	171,343
	20	2,5	524,632	2127,57		20	2,5	340,581	502,394
		4,5	432,657	1007,85			4,5	108,048	185,26
12,5	5	2,5	372,14	601,78	50	5	2,5	140,734	130,275
		4,5	256,083	303,508			4,5	49,4966	74,4387
	10	2,5	395,66	875,195		10	2,5	179,959	195,309
		4,5	283,049	335,352			4,5	52,7837	91,6535
	20	2,5	423,963	1037,3		20	2,5	142,113	228,177
		4,5	304,829	378,524			4,5	46,7684	103,575

Comme pour le cas de la monomode, les résultats obtenus permettent le dimensionnement de la liaison optique numérique avec fibre bidirectionnelle dans le gNodeB. En effet, sachant les valeurs de la distance et du débit imposé, nous pouvons prévoir la puissance qu'il faut pour obtenir le facteur Q désiré.

III-7-1- Exemples de diagramme de l'œil et du facteur de qualité Q :

- La figure III-18 représente le Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les

- suivants : Distance 5 km, puissance 20dBm, débit 2,5GHz.

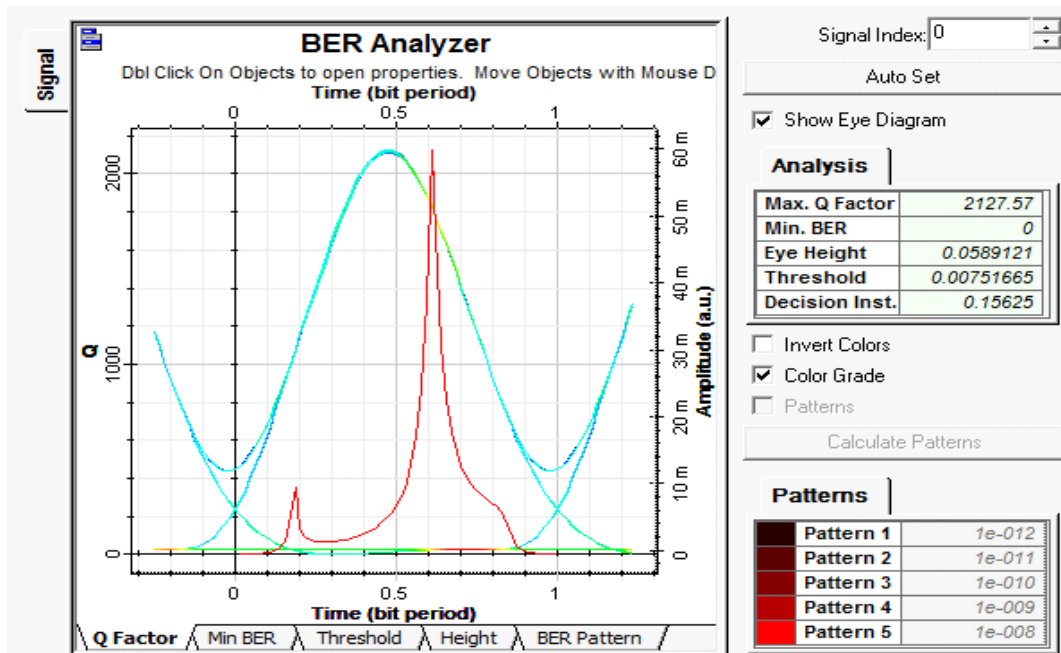


Figure III-18 : Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres:

Distance =5 km, puissance =20dBm, débit =2,5GHz.

- La figure III-19 représente le Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres suivants : Distance= 5 km, puissance =20dBm, débit= 4,5GHz.

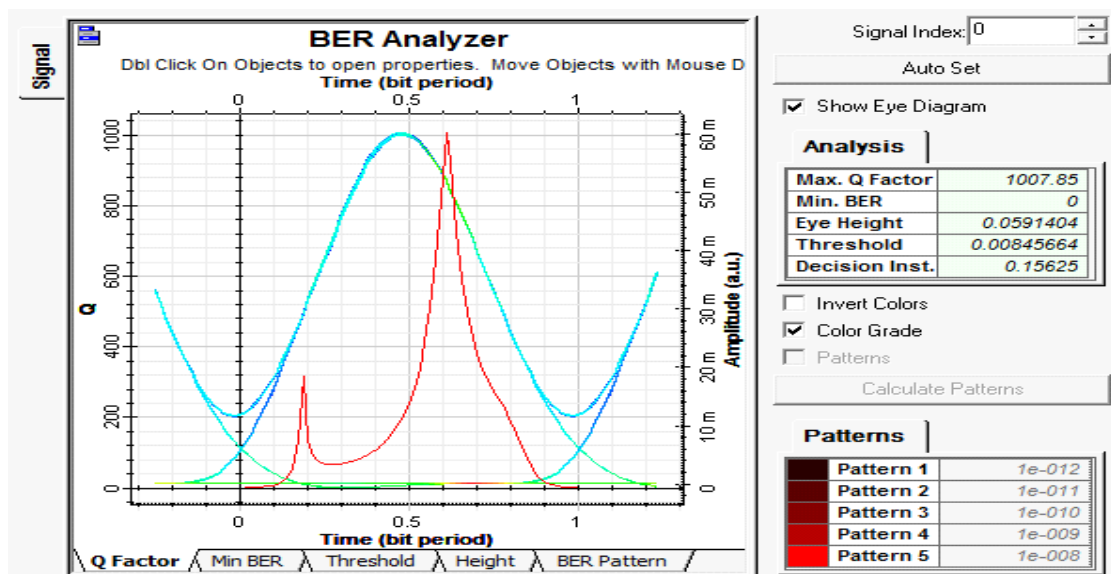


Figure III-19 : Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres :

Distance =5 km, puissance =20dBm, débit= 4,5GHz.

- La figure III-20 représente le Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres suivants : Distance=5 km, puissance =10dBm, débit= 2,5GHz.

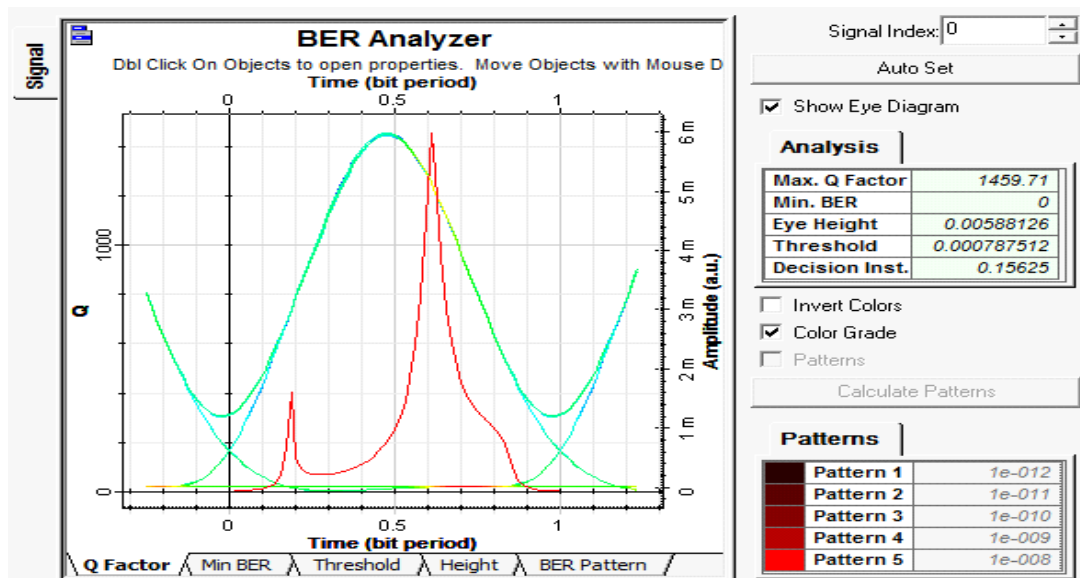


Figure III-20 : Diagramme d'œil ainsi que le facteur de qualité pour les paramètres: Distance =5 km, puissance= 10dBm, débit =2,5GHz.

Grâce aux résultats obtenus à partir de la simulation que nous avons menée, nous pouvons comparer les résultats des deux types de fibres en termes de valeur du facteur Q, où nous avons constaté que la valeur du facteur Q pour le signal de fibre bidirectionnelle RZ et NRZ est meilleure que la valeur du facteur Q du signal RZ et NRZ pour la fibre monomode.

III-8-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes techniques pour réaliser une liaison radio via la fibre optique. On a étudié les facteurs qui sont la cause des limitations liées à une transmission optique RoF.

Deux types de structures on utilise la radio via fibre optique(RoF). Soit entre DU et RU, dans ce cas la simulation montre. La simulation montre que la fibre optique est un support de transmission qui permet une meilleure qualité pour la transmission des RoF du signal 5G NR pour une liaison fronthauling du gNodeB.

Chapitre III : Simulation et Résultat de liaison RoF pour NR 5G

Soit entre BBU-RRU d'un gNodeB.

Nous avons mené cette étude sur deux types de fibres (fibre monomode, fibre bidirectionnelle) avec des mesures pour extraire la meilleure valeur de Q facteur. Nous avons effectué plusieurs mesures sur la ligne de transmission et avons pu obtenir la mesure idéale pour chaque type de fibre en termes d'atténuation, de débit, de distance et de puissance.

Conclusion
générale

Conclusion générale

Avec le développement remarquable du système de communication, il est devenu possible de développer de nouvelles structures de systèmes de transmission optiques et électroniques qui permettent des hauts débits de transmission dans les réseaux de communication mobile.

Dans les réseaux de communication 5G, le réseau d'accès 5G NR permet une couverture plus grande avec une efficacité énergétique plus importante. Cette efficacité est due en partie aux économies d'énergie réalisées au niveau des liaisons entre la DU et la RU.

Notre document est divisé en deux parties, dans la première partie, nous avons présenté le réseau de communication mobile 5G en mettant l'accent sur la liaison Fronthaul. Le concept et le principe de la transmission radio sur fibre RoF a été longuement exposée.

Dans la deuxième partie, nous avons présenté une simulation de la liaison Fronthaul DU-RU en utilisant le logiciel Optisystem. On a commencé par simuler une liaison RoF en transmettant un signal analogique haute fréquence. Les résultats trouvés nous ont permis de faire une comparaison de plusieurs configurations de la liaison RoF. Une deuxième simulation consistait à transmettre un signal numérique sur un lien fibre et de réaliser des comparaisons entre plusieurs configurations du lien. Ces deux types de lien sont omniprésents dans un gNodeB du système de communication mobile 5G.

Nous avons mené une série d'expériences de performances en termes d'atténuation, de longueur de fibre, de puissance et de fréquence. L'expérience nous a permis de tester l'utilité de la nouvelle radio sur fibres optiques pour atteindre la grande vitesse de transmission

Cette étude nous a permis de dimensionner des liens dans le réseau d'accès 5G NR, en choisissant les équipements optiques et électroniques les plus adaptés.

Comme perspective à notre étude, nous proposons de simuler les autres liens du réseau d'accès 5G NR comme le backhauling optique et par satellite.

Références

Références

- [1] Séries, M. (2017). Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface (s). Report, 2410-0.
- [2] Moutaly, E. (2019). Etude d'une architecture radio-sur-fibre pour le fronthaul 5G (Doctoral dissertation, Université Paris-Est; Université de Nouakchott).
- [3] <https://www.shunlongwei.com/fr/what-is-5g-network-architecture/>
- [4] Moutaly, E. (2019). Etude d'une architecture radio-sur-fibre pour le fronthaul 5G (Doctoral dissertation, Université Paris-Est; Université de Nouakchott).
- [5] Li, L., Shao, W., & Zhou, X. (2021). A flexible scheduling algorithm for the 5th-generation networks. *Intelligent and Converged Networks*, 2(2), 101-107.
- [6] Sadou, B., Alqudami, D. A., & Zaaimia, M. Z. E. (2020). Etude des techniques de modulation pour les réseaux mobiles 5G de nouvelle génération (Doctoral dissertation, Université de Jijel).
- [7] Brown, G. (2018). New Transport Network Architectures for 5G RAN. White Paper. Available online: <https://www.fujitsu.com/us/Images/New-Transport-Network-Architectures-for-5G-RAN.pdf> (accessed on 29 June 2021).
- [8] <https://www.nickvsnetworking.com/ng-ran-lower-layer-higher-layer-split/>
- [9] Brown, G. (2018). New Transport Network Architectures for 5G RAN. White Paper. Available online: <https://www.fujitsu.com/us/Images/New-Transport-Network-Architectures-for-5G-RAN.pdf> (accessed on 29 June 2021).
- [10] <https://developer.nvidia.com/blog/transforming-next-gen-wireless-with-5t-for-5g-and-aerial-sdk/>
- [11] Bertenyi, B., Burbidge, R., Masini, G., Sirotkin, S., & Gao, Y. (2018). NG radio access network (NG-RAN). *Journal of ICT Standardisation*, 6(1), 59-76.

Références

- [12] DafaSeynadouLoum. Transmission radio haut débit multiservices sur fibres optiques. Application à l'optimisation de la capacité multi-utilisateurs en emprises de transport. Réseaux et télécommunications [cs.NI]. Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 2012. Français. NNT: 2012VALE0005. tel-00713119.
- [13] [David Labroche](#). Quelle est la différence entre la fibre optique monomode et multimode ?[22 décembre 2017](#)
- [14] Lecoy, Pierre. [Télécoms sur fibres optiques. English]
Fiber-optic communications / Pierre Lecoy. p. cm. Includes bibliographical references and index. ISBN 978-1-84821-049-3.1. Optical fiber communication. I. Title. TK5103.592.F52L4313 2008.621.382'75--dc22
- [15] Larry Traducteur David <https://community.fs.com/fr/blog/step-index-multimode-fiber-vs-graded-index-multimode-fiber.html>11 avril 2020
- [16] Victor Girondin. Etude et modélisation d'un modulateur à électro-absorption pour des applications de transmission radio sur fibre de signaux ULB aux fréquences centimétriques. Simulation système et caractérisation d'une liaison radio sur fibre à modulation externe. Electronique. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2016. Français. NNT : 2016PA066127. tel-01395077
- [17] H.B pour MELEC .fibre optique et liaison FTTH (fibre to the home).MAI2016.
- [18] H. Chettat, S. Mokhtar, Y. Bouslimani et H. Hamam, "Les systèmes Hybrides Fibre / sans fil, applications, limitations et approches de résolutions", SETIT 2007, 4th International, Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunication, pp. 1-5, March 25-29, 2007, Tunisia.
- [19]Hexin Liu. Radio sur fibre : réseaux, couvertures radio, architectures et dimensionnements matériels. Sciences de l'ingénieur [physics]. Télécom Bretagne, Université de Bretagne Occidentale, 2013. Français. tel-00823575
- [20]R. Prasad, J. Velez Fernando, "WiMAX Networks Techno-Economic Vision and Challenge", SpringerVerlag, 2010.
- [21] D. Hardy, G. Malleus et J-N. Méreur, "Réseaux, Internet, Téléphonie et Multimédia : Convergence et complémentarités", Edition DeBoeck, 2002.
- [22] Guillory J., Radio over Fiber (RoF) for the future home area networks, Thèse de doctorat, Université Paris-Est, 2012, 274p.

Références

- [23] F. Deshours, G. Alquié, G. I. Abib, E. Grard, V. Rodrigues, E. Leclerc, A. Kabalan and A-L. Billabert, "Optical Transimpedance Receiver for High Data Transmission in OFDM Modulation Format", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 33, no 110, pp. 2004 - 2011, 15 MAY 2015.
- [24] A. Kanno et al., "Coherent Radio-Over-Fiber and Millimeter-Wave Radio Seamless Transmission System for Resilient Access Networks," in *IEEE Photonics Journal*, vol. 4, no. 6, pp. 2196-2204, Dec. 2012.
- [25] Emine Moutaly .Etude d'une architecture radio-sur-fibre pour le fronthaul 5G .Thèse de doctorat d'Université Paris-Est En cotutelle avec l'Université de Nouakchott Al Asryaa .Soutenue le 09 décembre 2019
- [26] Web site: Laser Diode. <https://circuitglobe.com/laser-diode.html>.
- [27] Kassa W.E., Electrical modeling of semiconductor laser for high data rate wireless communication. Thèse de doctorat, Université Paris-Est, 2015, 163p.
- [28] C.Alferness, "Waveguide Electrooptic Modulators", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-30, No.8, August 1982.
- [29] L. Kazovsky, S. Benetto and A. Wilner, Artech House "Optical Fiber Communications", Publication, 1996.
- [30] A.B. David, "Electric-Field Dependence of Linear Optical properties in quantum well Structures: waveguide electro-absorption and Sum Rules ", *IEEE Journal of Quantum electronics*, Vol.22, No 9, Septembre 1986.
- [31] Y. Deshaies, "Optoélectronique appliquée : Mesures, instruments, modèles", éditions Ellipses, 2014.
- [32] Z. Toffano, "Optoélectronique : Composants photoniques et fibres optiques", éditions Ellipses 2001.