

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد -

تلمس -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –  
Faculté de TECHNOLOGIE



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Systèmes des Télécommunications

**Par** :

**HAMMAD Ilham**

**HAMLI Nora**

**Sujet**

**APPLICATION DE LA TECHNIQUE CDMA AUX SYSTEMES DE  
COMMUNICATION OPTIQUE**

**Soutenu en 26 juin 2018 devant le Jury composé de :**

Mr. F.KARIM	MCA Univ-Tlemcen	Président
Mr. M.DEBBAL	MCB Centre Univ-Ain Tmouchent	Examinateur
Mr. M.CHIKH-BLED	Prof Univ-Tlemcen	Encadrant
Mr. M.Bouragaa	MCB Centre Univ-Mascara	Co-encadrant
Mr.S. Mahiaoui	Chef de subdivision développement du réseau CORE	Invité
Mr.A.Slimani	Chef de section Backbone RMS	Invité

# Dédicace



Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donnée la santé et le  
courage

pour terminer ce modeste travail.

Je dédie ce travail à ma chère mère qui m'a encouragé et qui m'a donnée  
tous les moyens disponibles. Pour que je puisse arriver à ce niveau.

A mes sœurs **Imane Kelthoum** et **Bouchra**.

A mes frères **Hichem** et **Sofian**.

A mes chères amies **Nada** et **Bouchra**.

A ma binôme Nora et sa famille.

A mon encadreur : *Mr. CHIKHBLED*

*et co-encadreur MR BOURAGAA.*

Et a tous mes amis.

Et a toute ma famille « **Hammad** ».

Je dédie ce mémoire.

**Ilham**



# Dédicace

 Je dédie ce travail à ...

*A ma très chère mère*

*Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*A la mémoire de mon Père*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.*

*Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

*A mon mari Lahsene*

*A ma chère petite fille Sahar*

*Toute dédicace ne peut pas décrire l'amour et l'appréciation que j'ai pour vous.*

*A mes très chers frères, soeurs et ma belle famille*

*En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.*

*Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.*

*A toute la famille de Hamli et de Khaldi sans exception.*

*A mes chères amies*

*Nada, Bochra, Ilham, Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des, soeurs sur qui je peux compter.*

*À tous mes chers amis et mes collègues de l'Université de Tlemcen.*

*A tous mes professeurs*

*Un profond respect et un remerciement particulier pour mon encadreur : Mr. CHIKHBLED et co-encadreur MR BOURAGAA. pour la bonne contribution de ce travail.*

Nora





## *Remerciement*

بسم الله الرحمن الرحيم والحمد لله رب العالمين

سبحان الله الذي وهبنا نعمة العقل، سبحان الذي يستحق الشكر

على نعمته وحده لا شريك له، سبحان الذي جعل لنا العلم نورا

وهدانا سبيل الرشاد.

Avant tout on tient nos remerciements à notre Dieu tout puissant de nous avoir donné la foi, la force et le courage.

A travers ce modeste travail, nous tenons à remercier vivement notre encadreur : *Mr. CHIKHBLÉD* et co-encadreur *MR BOURAGAA*. pour l'intéressante documentation qu'il a mise à notre disposition, pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre étude et réalisation de ce projet.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à la fin de notre cycle universitaire.

Sans omettre bien sur de remercier profondément Le chef de subdivision développement du réseau CORE Mr Mahiaoui Sidahmed et chef de section Backbone RMS Mr Slimani Anwar qui ont contribué à la réalisation de notre stage.

Melle. Hamli Nora.

Melle. Hammad Ilham.

# Table des matières

<b>Dédicaces 1</b>	<b>i</b>
<b>Dédicaces 2</b>	<b>ii</b>
<b>Remerciements</b>	<b>iii</b>
<b>Table des Matières</b>	<b>iv</b>
<b>Liste des Figures</b>	<b>vi</b>
<b>Liste des Tableaux</b>	<b>vii</b>
<b>Liste des Abréviations</b>	<b>viii</b>

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>2</b>
-----------------------------------	----------

## Chapitre I : Introduction aux réseaux télécommunications optiques

I.1 Introduction .....	5
I.2 Les Réseaux Optiques.....	5
I.2.1 Les réseaux longue distance WAN .....	5
I.2.2 Les réseaux métropolitains MAN.....	5
I.2.3 Les réseaux locaux LAN.....	6
I.3 techniques de multiplexage.....	6
I.3.1 Accès multiple par répartition dans la fréquence (FDMA).....	7
I.3.2 Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) .....	7
I.3.3 La technique du multiplexage en longueur d'onde(WDM).....	8
I.3.4 Accès multiple par répartition de codes (CDMA) .....	9
I.3.4.1 Les avantages de l'étalement de spectre.....	10
I.4 Le CDMA des radiofréquences à l'optique.....	10
I.5 Application de système de communication optique (OCDMA).....	11
I.5.1 La fibre optique.....	11
I.5.1.1 Les avantages de la fibre optique.....	12
I.5.2 Le CDMA optique.....	12
I.5.2.1 Les différentes approches de l'OCDMA .....	13
I.5.2.2 Les avantages du CDMA aux réseaux d'accès optique.....	14
I.6 Les différentes méthodes D'OCDMA.....	14
I.6.1 OCDMA unidimensionnel (1D-OCDMA).....	14

I.6.1.1	OCDMA temporel (L'encodage à séquence directe DS-OCDMA)...	14
I.6.1.2	OCDMA spectral.....	15
I.6.2	OCDMA bidimensionnel (2D-OCDMA).....	16
I.6.2.1	L'encodage à saut de fréquence (FH-OCDMA ).....	16
I.7	Les différents codes utilisés pour un système CDMA optique.....	16
I.7.1	Les code optique orthogonaux OOC ( optical orthogonal codes).....	16
I.7.2	Les codes premiers PC(prime codes).....	16
I.8	Présentation des différents récepteurs.....	17
I.8.1	Récepteur conventionnel (RC).....	17
I.8.2	Récepteur conventionnel avec limiteur optique (HL-RC).....	17
I.9	Conclusion.....	17

## Chapitre 2 : CDMA optique incohérent à séquence directe (DS-OCDMA)

II.1.	Introduction.....	19
II.2	CDMA Optique incohérent à séquence directe (DS-OCDMA) .....	19
II.3	Différentes parties d'une chaine DS-OCDMA.....	20
II.3.1	Partie d'émission d'un système DS-OCDMA.....	20
II.3.2	Codes utilisés pour un système DS-OCDMA incohérent.....	21
II.3.2.1	OOC (Optical Orthogonal Code).....	22
II.3.2.1.1	Autocorrélation et inter-corrélation des OOC.....	22
II.3.2.1.2	Cardinalité des OOC.....	23
II.3.2.1.3	Construction des codes .....	23
II.3.2.1.3.1	Construction par la méthode de BIBD.....	23
II.3.3	Partie de réception d'un système DS-OCDMA.....	26
II.3.3.1	Récepteur Conventionnel par Corrélacion.....	27
II.3.3.2	Récepteur Conventionnel avec Limiteur.....	28
II.4	Conclusion.....	29

## Chapitre 3 : Résultats et Simulations

III.1	Introduction.....	31
III.2	Approche théorique sur les performances d'une liaison DS-OCDMA.....	31
III.2.1	performances avec récepteur conventionnel (RC).....	31

III.2.1.1 Probabilité d'erreur du RC.....	33
III.2.1.2 Performance des codes dans le système DS-OCDMA incohérent utilisant le récepteur RC.....	34
III.2.1.2.1 Performance des OOC (L, W, 1 ,1) .....	34
III.2.2 Performances avec récepteur conventionnel avec limiteur (HL-RC).....	39
III.2.2.1 Probabilité d'erreur du HL-RC .....	39
III.2.2.2 Performance des codes dans le système DS-OCDMA incohérent utilisant le récepteur HL-RC.....	40
III.2.2.2.1 Performance des OOC (L, W, 1 ,1).....	40
III.3 Conclusion.....	45

## Chapitre 4 : Réseaux CDMA-FTTH

IV .1 Introduction.....	47
IV.2 Définition FTTX .....	47
IV.3 Architecture FTTH.....	48
IV.4 Structure de réseau FTTH .....	50
IV.4.1 Prise Terminale Optique (PTO).....	50
IV.4.2 Point d'éclatement du câble (PEC) .....	51
IV.4.3 Sous répartiteur optique (SRO) .....	51
IV.4.4 Boitier Pied de l'Immeuble (BPI) .....	51
IV.4.5 Nœud raccordement optique (NRO) .....	52
IV.4.6 Les splitters .....	52
IV.5 Deploiement de la Solution FTTH.....	53
IV.5.1 Le bilan optique.....	53
IV.6 Mise en service de la solution FTTH.....	55
IV.7 Préparation de l'environnement de configuration.....	55
IV.7.1 Scénario d'une solution FTTH.....	56
IV.7.2 Les étapes de configuration côté OLT.....	56
IV.7.3 Les étapes de Configuration côté client ONT .....	59
IV.8 Conclusion .....	61
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>63</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>64</b>



## Liste des figures

### Chapitre I : Introduction aux réseaux télécommunications optiques

Figure I.1 : La technique d'accès multiple FDMA.....	7
Figure I.2 : La technique d'accès multiple TDMA.....	8
Figure I.3: Principe d'une liaison WDM.....	8
Figure I.4: La technique d'accès multiple CDMA.....	9
Figure I.5 : Effet de l'étalement de spectre sur la présence d'un brouilleur.....	10
Figure I.6 : Lois de propagation du signal dans une fibre optique.....	11
Figure I.7 : réseau OCDMA.....	13
Figure I.8 : Principe de l'étalement temporel.....	15
Figure I.9 : Principe de l'étalement spectral.....	15

### Chapitre 2 : CDMA optique incohérent à séquence directe (DS-OCDMA)

Figure II. 1 : Système de transmission DS-OCDMA.....	19
Figure II. 2 : Codage d'une donnée '0' et d'une donnée '1'.....	20
Figure II.3: Partie émission d'un système CDMA optique à séquence directe.....	20
Figure II. 4 : Fonction d'autocorrélation pour l'utilisateur 1 du code OOC (61, 5)...	24
Figure II. 5 : Fonction d'autocorrélation pour l'utilisateur 2 du code OOC (61, 5)..	25
Figure II. 6 : Fonction d'inter-corrélation pour la couple des utilisateurs (1,2) du code OOC (61, 5).....	25
Figure II. 7: Fonction d'inter-corrélation pour la couple des utilisateurs (1,3) du code OOC (61, 5).....	26
Figure II.8 : Récepteur conventionnel de l'utilisateur 1.....	27
Figure II. 9 : Récepteur Conventionnel avec limiteur de l'utilisateur 1.....	28
Figure II. 10 : Effet du Hard Limiter sur un exemple de signal reçu.....	28

### Chapitre 3 : Résultats et Simulations

Figure III. 1: TEB d'un code OOC (361, 4, 1,1) avec N=8 utilisateurs en fonction du seuil de décision.....	34
--	----

Figure III. 2: Probabilité d'erreur du RC pour un code OOC (L, 4, 1,1) avec N=8 utilisateurs.....	35
Figure III. 3: Probabilité d'erreur du RC pour un code OOC (361, W, 1,1) avec N=8 utilisateurs, pour S=W.....	36
Figure III. 4: Probabilité d'erreur du RC pour un code OOC (361, 4, 1,1) avec N utilisateurs, pour S=4.....	37
Figure III. 5: Longueur minimale requise d'un OOC (L, W, 1,1) pour avoir un TEB fixé pour N=30 utilisateurs, pour un seuil optimal S=W.....	38
Figure III. 6: La probabilité d'erreur, $P_{eRC}$ , en fonction du poids de code, W, pour OOC (L, W, 1,1) et N=30 et avec un seuil de détection S optimal.....	39
Figure III. 7: La probabilité d'erreur, $P_{eRC}$ et $P_{eHL-RC}$ , en fonction du seuil S pour le code OOC (361, 4, 1,1).....	41
Figure III. 8: TEB des codes OOC (L, 4, 1,1) avec N=8 utilisateurs, pour un seuil optimal S=4.....	42
Figure III. 9: La probabilité d'erreur $P_{eRC}$ et $P_{eHL-RC}$ , en fonction du poids de code pour un code OOC (361, W, 1) et N=8.....	43
Figure III. 10: TEB des codes OOC (361, 4, 1,1) avec N utilisateurs, pour un seuil optimal S=4.....	43

## Chapitre 4 : Réseaux CDMA-FTTH

Figure IV.1 : Topologie FTTX.....	48
Figure IV.2: différents éléments constitutifs d'un réseau PON.....	49
Figure IV.3 : composants passifs du réseau FTTH.....	50
Figure IV.4 : Prise Terminal Optique.....	50
Figure IV.5: Point d'éclatement.....	51
Figure IV.6: Sous Répartiteur Optique SRO.....	51
Figure IV.7: Boitier pied de l'immeuble BPI.....	52
Figure IV.8: Nœud raccordement optique NRO.....	52
Figure IV.9 : Splitters.....	53
Figure IV.10: Bilan Optique.....	54
Figure IV.11: La configuration de l'OLT via le port serial local.....	55
Figure IV.12 : La configuration de l'OLT 5800 via le port ETH .....	55

Figure IV.13 : Scénario d'une solution FTTH.....	56
Figure IV.14: Ajout des VLANs aux Uplink port.....	57
Figure IV.15 : Vérification du port Uplink.....	57
Figure IV.16 : Configuration du service Internet.....	60
Figure IV.17 : Configuration du service voix.....	60

## Liste des tableaux

### Chapitre 2 : CDMA optique incohérent à séquence directe (DS-OCDMA)

Tableau II. 1 : Ensemble des positions des chips à « 1 » d'une famille de code OOC (61, 5, 1,1).....	24
--	----

### Chapitre 3 : Résultats et Simulations

Tableau III.1: Paramètres des codes (W x L) et débits D permettant différents nombre d'utilisateurs N de communiquer à un $TEB \leq 10^{-9}$ pour les récepteurs RC, HL-RC....	44
--	----

### Chapitre 4 : Réseaux CDMA-FTTH

Tableau IV 1: services offert chez l'abonné FTTH.....	56
---	----

## Liste des abréviations

ADSL	<b>A</b> symmetric <b>D</b> igital <b>S</b> ubscriber <b>L</b> ine .
WAN	<b>W</b> ide <b>A</b> rea <b>N</b> etwork
MAN	<b>M</b> etropolitan <b>A</b> rea <b>N</b> etwork
LAN	<b>L</b> ocal <b>A</b> rea <b>N</b> etwork
TDMA	<b>T</b> ime <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
FDMA	<b>F</b> requency <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
WDM	<b>W</b> avelength <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiplexing. <b>M</b> ultiplexing
CDMA	<b>C</b> ode <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess.
IAM	<b>I</b> nterférences d'Accès <b>M</b> ultiple
OCDMA	<b>O</b> ptical <b>C</b> ode <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
DS-OCDMA	<b>D</b> irect <b>S</b> quence - <b>O</b> CDMA
FH-OCDMA	<b>F</b> requency <b>H</b> opping - <b>O</b> CDMA
SFH-CDMA	<b>S</b> low <b>F</b> requency <b>H</b> opping- <b>C</b> DMA
FFH-CDMA	<b>F</b> ast <b>F</b> requency <b>H</b> opping- <b>C</b> DMA
PC	<b>P</b> rime <b>C</b> odes
OOC	<b>O</b> ptical <b>O</b> rthogonal <b>C</b> odes
BIBD	<b>B</b> alanced <b>I</b> ncomplete <b>B</b> lock <b>D</b> esign
RC	<b>R</b> écepteur <b>C</b> onventionnel
HL-RC	<b>H</b> ard <b>L</b> imiter- <b>R</b> écepteur <b>C</b> onventionnel
TEB	<b>T</b> aux d'Erreur <b>B</b> inaire
FTTX	<b>F</b> iber <b>T</b> o <b>T</b> he <b>X</b> terminal
FTTN	<b>N</b> =Node
FTTH	<b>F</b> iber <b>T</b> o <b>T</b> he <b>H</b> ome
FTTO	<b>F</b> iber <b>T</b> o <b>T</b> he <b>O</b> ffice

FTTB	<b>Fiber To The Building</b>
FTTC	<b>Fiber To The Curb</b>
PON	<b>Passive Optical Network.</b>
OLT	<b>Optical Line Termination</b>
ONT	<b>Optical Network Terminal</b>
B-PON	<b>Broadband Passive Optical Network</b>
E-PON	<b>Ethernet Passive Optical Network</b>
G-PON	<b>Gigabit Passive Optical Network</b>
PTO	<b>Prise Terminale Optique</b>
PEC	<b>Point d'Eclatement du Câble</b>
SRO	<b>Sous Répartiteur Optique</b>
BPI	<b>Boitier Pied de l'Immeuble</b>
NRO	<b>Nœud Raccordement Optique</b>

# *Introduction Générale*

Les réseaux en fibre optique se sont imposés comme le support de transmission par excellence. Ainsi, les différentes techniques d'accès haut débit, comme l'Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) développé sur le réseau cuivré, utilisent récemment la fibre optique comme support de transmission ceci pour un nombre d'utilisateurs de plus en plus élevé.

La fibre optique, initialement déployée dans les réseaux très longue distance et très fort débit tend aujourd'hui à se généraliser pour offrir des services plus consommateur en terme de bande passante. Il s'agit des technologies FTTH ou bien Fiber to the Home.

L'utilisation des techniques d'Accès Multiple sur fibre est donc un enjeu important pour le partage des ressources entre des abonnés de plus en plus nombreux. Différentes méthodes utilisées en communications hertziennes peuvent être considérée pour l'optique : comme la répartition en fréquence (FDMA), le multiplexage en longueur d'onde (WDM), la répartition dans le temps (TDMA), la répartition par code (CDMA).

Le CDMA appliqué à l'optique a fait l'objet de nombreuses études théoriques depuis une vingtaine d'années. Le challenge d'aujourd'hui réside au niveau du réseau LAN (Local Access Network) à haut débit utilisant les fibres optiques. En effet, ce support offre une bande passante très élevée ( $\approx 100\ 000$  GHz) dont l'utilisation actuelle n'est pas à son plein potentiel. Il permet un accès du réseau asynchrone, qu'il n'y a pas d'allocation rigide des ressources, qu'il paraît plus flexible que les autres techniques précédemment citées et qu'il permet d'entrevoir une sécurité des données accrue etc...

L'utilisation de la CDMA optique dans les systèmes incohérents et asynchrones donne une destruction partielle de l'orthogonalité du code utilisé. Ceci provoque des interférences d'accès multiple (IAM), qui ont pour conséquence d'augmenter les erreurs avec une dégradation des performances du système.

Ainsi l'application de débits assez grands rend les composants de détection mono-utilisateurs ou multi-utilisateurs inutilisables.

Le but de notre travail concerne la mise en œuvre et la simulation sous MATLAB d'une liaison CDMA optique incohérente à séquence directe en utilisant les codes optiques orthogonaux (OOC).

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres :

**Le premier chapitre** décrit les différentes structures des réseaux optiques, ainsi que

Les différentes techniques de multiplexage (TDMA, FDMA, WDM....) et en particulier les accès multiples appliqués aux communications optiques dont la répartition de code (OCDMA).

Les deux types de détection cohérente et incohérente sont également présentés ainsi



## Introduction Générale

---

On a cité Les différent Codes et récepteurs utilisés pour un système CDMA optique.

**Le second chapitre** aborde d'une façon théorique une liaison CDMA optique incohérente à séquence directe en commençant par une description de la partie d'émission Les différentes familles de code optique orthogonal unipolaire (OOC) et (PC) et les différentes techniques de génération de codes sont également présentées.

On s'intéresse ensuite aux différents types de détecteurs pouvant être utilisés.

**Le troisième chapitre** présente L'évaluation théorique des performances pour un récepteur conventionnel (RC) et pour récepteur conventionnel avec limiteur (HL-RC), est réalisée en traçant le taux d'erreur (TEB) en fonction du seuil de décision  $S$ , du poids de code utilisée  $W$ , de la longueur de code  $L$  et du nombre d'utilisateurs  $N$  a l'aide du logiciel Matlab. En faisant une étude comparative entre les deux types de récepteurs.

**Au dernier chapitre** Nous avons illustré la nouvelle technologie FTTH et les différents points clés de cette nouvelle technologie.

*Chapitre 1*

*Les techniques d'Accès*

*Multiple*

## I.1 Introduction

Le développement rapide des nouvelles technologies de l'information et le trafic de données transporté par les réseaux de communication est en augmentation intéressante. Cela a encouragé les opérateurs de télécommunications à développer des systèmes de télécommunications à haut débit et à grande capacité de multiplexage. Il est prévu que les différentes techniques d'accès haut débit, développé sur le réseau cuivré, utilisent la fibre optique comme support de transmission à travers le monde. Dans un réseau de télécommunications, la chaîne de transmission d'un signal, depuis le point d'émission jusqu'au point de destination, comporte trois maillons principaux : WAN, MAN et LAN. Plusieurs techniques d'accès multiple existent afin d'augmenter le trafic des données : le partage des ressources en temps en fréquence, Longueur d'onde et la technique de différenciation des utilisateurs par l'attribution d'un code à chaque utilisateur.

## I.2 Les réseaux optiques

### I.2.1 Les réseaux longue distance WAN (Wide Area Network)

Un réseau étendu WAN permet de communiquer à l'échelle d'un pays, ou de la planète entière, les infrastructures physiques pouvant être terrestres (infrastructures au niveau sol), ou spatiales à l'aide de satellites de télécommunications c'est le cas de l'Internet.

La conversion Optique/Electronique/Optique (O/E/O) est nécessaire pour resynchroniser, remettre en forme et ré-amplifier le signal (appelé régénération 3R : Retime, Reshape, Reamplify) sur les longues distances. C'est la raison pour laquelle ces réseaux sont relativement coûteux à mettre en œuvre et sont donc des investissements à long terme [1].

### I.2.2 Les réseaux métropolitains MAN (Metropolitan Area Network)

C'est un réseau qui s'étend sur plusieurs kilomètres, dans une ville par exemple les réseaux locaux sont interconnectés via des liaisons téléphoniques à haut débit ou à l'aide d'équipements spéciaux comme des transmissions hertziennes (FH: faisceaux Hertiens).

L'infrastructure du réseau métropolitain peut être privée (sécurisée) ou publique.

Fondamentalement, on peut distinguer les réseaux métropolitains structurants et métropolitains d'accès:

- Les réseaux métropolitains sont généralement constitués d'anneaux de 80 à 150 km de circonférence avec six à huit nœuds.
- les réseaux métropolitains d'accès sont des anneaux de 10 à 40 km de circonférence dotés de trois ou quatre nœuds avec des embranchements vers des sites distants.

A la différence des réseaux longue distance, les réseaux métropolitains doivent prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission très divers, mêlant les trafics de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) ou du réseau optique synchrone (SONET) ou autres encore pour supporter cette diversité [1].

### I.2.3. Les réseaux locaux LAN (Local Area Network)

Un réseau local est un réseau regroupant des entités situées sur un même site. Les communications sur ce type de réseau ont généralement un débit élevé (100 Mbits/s ou 1Gbits/s) et elles sont gratuites puisqu'elles ne passent pas par les services d'un opérateur de télécommunication.

La diminution du coût de la fibre optique et des composants optiques actifs et passifs, conjuguée à l'accroissement des besoins multiservices et aux exigences d'un réseau moderne, capable d'assurer disponibilité, qualité, évolutivité et réactivité, expliquent pour l'essentiel l'introduction de la fibre optique. Cependant, le débat entre la fibre optique, le câble coaxial et la distribution radiofréquence est toujours d'actualité.

Le réseau local optique est encore souvent constitué par une partie en fibre optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné. Selon la localisation de la terminaison de réseau optique, différentes configurations sont envisageables:

- **FTTH / FTTO** (Fiber To The Home / Fiber To The Office) : La terminaison du réseau optique, propre à un abonné, est implantée dans ses locaux. La fibre optique va donc jusqu'au domicile ou au bureau.
- **FTTB** (Fiber To The Building) : La terminaison optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique, soit dans une armoire ou un conduit sur le palier. Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre.
- **FTTC** (Fiber To The Curb) : La terminaison de réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique, soit dans un centre de télécommunications, soit sur un poteau. Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau terminal en cuivre existant ou de mettre en œuvre une distribution terminale par voie radioélectrique [2].

### I.3. Techniques de multiplexage

Les systèmes de communications point à point étaient initialement conçus en affectant, à chaque couple émetteur/ récepteur, un canal de transmission "physique". Afin d'augmenter la capacité d'un réseau de communication en nombre des utilisateurs et d'optimiser l'utilisation des ressources, différentes techniques d'accès multiples ont fait leur apparition.

Ainsi, l'accès multiple à répartition dans le temps (TDMA), l'accès multiple par répartition de fréquences (FDMA), le multiplexage par longueur d'onde (WDM) et l'accès multiple par répartition de code (CDMA), sont des techniques de multiplexage déjà mises en place dans les réseaux radiofréquences ou les systèmes optiques.

### I.3.1 Accès multiple par répartition de fréquence (FDMA)

Ce type d'accès multiple, consiste à attribuer à chaque utilisateur une bande de fréquence (Figure I-1). L'ensemble est juxtaposé et transmis sur un même canal de transmission. En réception, un filtre sélectif accordé sur la bande de fréquence de l'utilisateur désiré permet de récupérer les données [3].

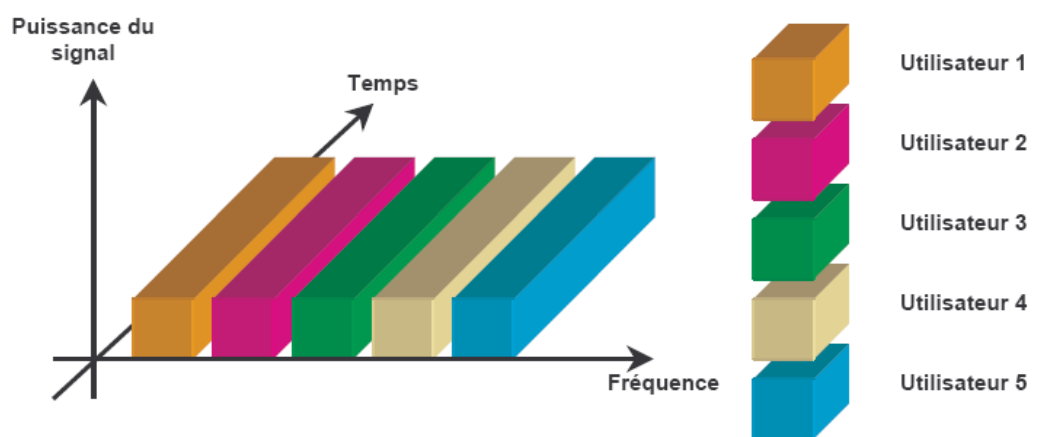


Figure I.1 : La technique d'accès multiple FDMA

### I.3.2 Accès multiple par répartition de temps (TDMA)

TDMA est la première technique utilisée en télécommunications optiques. Cette technique consiste à attribuer à chaque utilisateur un intervalle de temps de manière périodique. Les utilisateurs partagent la même bande passante et émettent les données à transmettre dans les différents intervalles de temps ou «time slot» qui sont alloués (Figure I-2). Pour la récupération des données, le récepteur effectue l'opération de démultiplexage temporel en utilisant un signal de synchronisation [3].

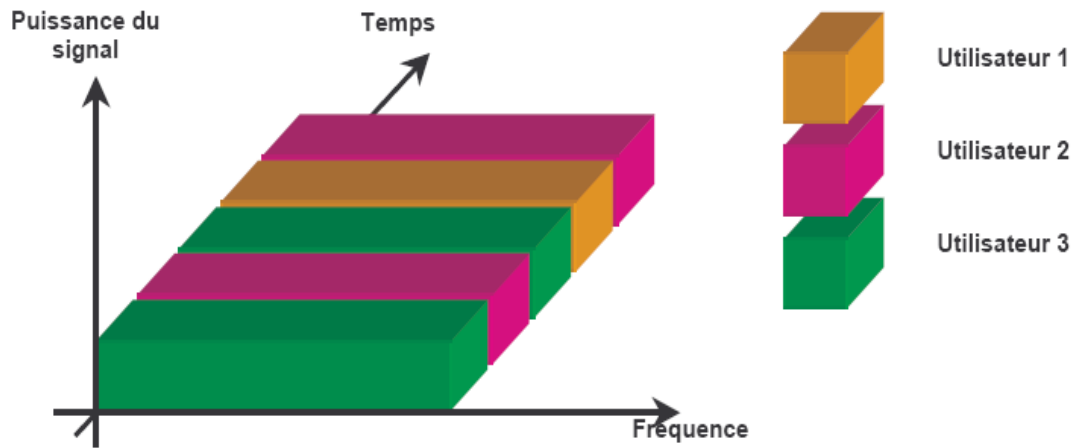


Figure I.2 : La technique d'accès multiple TDMA

### I.3.3 La technique du multiplexage en longueur d'onde (WDM)

Le WDM permet de multiplexer plusieurs signaux modulant des longueurs d'onde différentes dans une seule fibre optique, en les mélangeant à l'entrée par un multiplexeur (MUX) et en les séparant à la sortie au moyen d'un démultiplexeur (DEMUX) [4]. La WDM permet ainsi l'utilisation optimale de la bande passante optique.

Les données électriques de chaque utilisateur sont appliquées à l'entrée de modulateurs optiques émettant à des longueurs d'onde différentes. Les signaux en sortie des modulateurs sont multiplexés et émis sur la fibre (figure I-3).

A la réception, le signal optique reçu est dé multiplexé puis appliqué à l'entrée d'un filtre optique qui permet d'extraire le signal à la longueur d'onde correspondant au destinataire. Une photodiode permet d'effectuer la conversion optique-électrique [1].

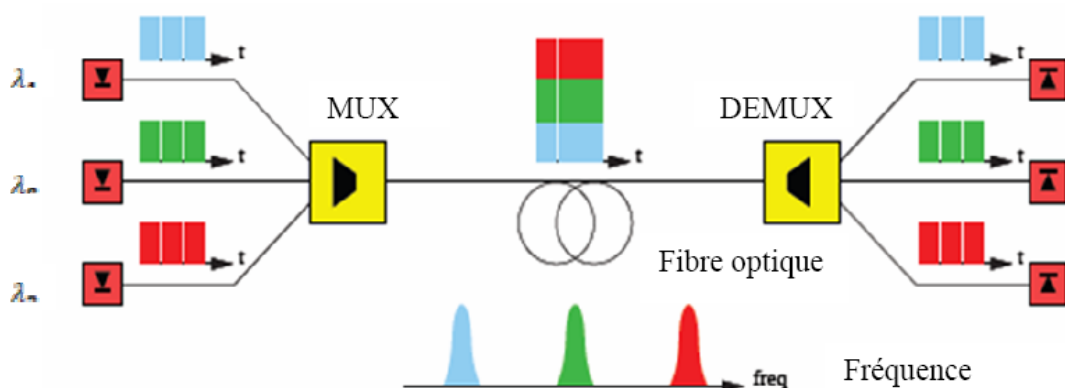


Figure I.3: Principe d'une liaison WDM [1]

La bande de fréquence la plus utilisée est la bande C (1530 - 1565 nanomètres), Afin d'augmenter la capacité totale d'un système WDM, il est possible de jouer sur le débit transporté par chaque canal ou sur le nombre de canaux, voir sur les deux en même temps [1].

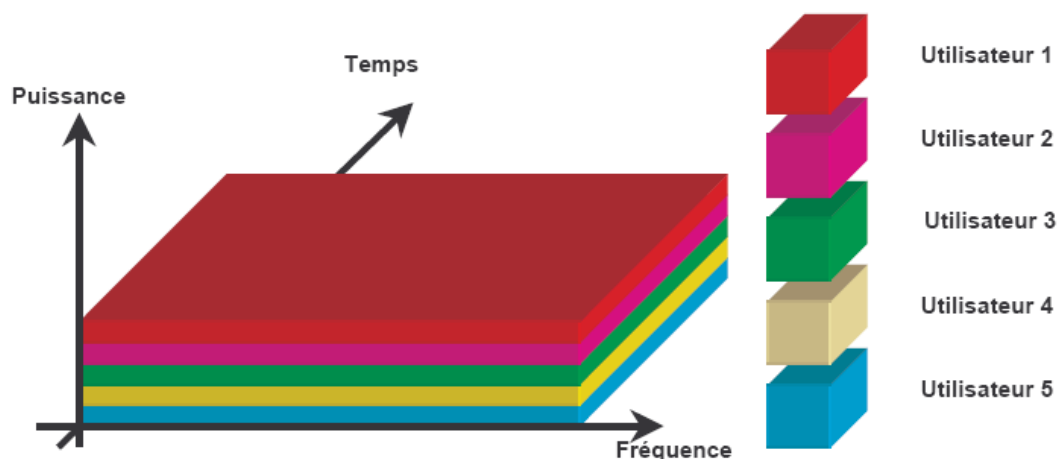
### I.3.4 Accès multiple par répartition de codes (CDMA) [5] [6]

La technologie CDMA est la technique de différenciation des utilisateurs par l'attribution d'une signature ou code à chaque utilisateur. Dans cette technique d'accès multiple, les utilisateurs partagent le même espace fréquentiel et transmettent sur les mêmes intervalles temporels.

Il s'agit, dans ce cas, d'affecter à chaque émetteur un code, aussi appelé séquence de code, qui lui permet de transmettre des informations en évitant d'interférer avec les messages provenant d'autres utilisateurs. La réduction des IAM n'est obtenue que dans le cas de l'utilisation de séquences de codes strictement orthogonaux.

La capacité de multiplexage du CDMA n'est pas limitée par des paramètres physiques (intervalles de temps disponibles, fréquences ou longueurs d'ondes utilisables ... etc.) mais par la capacité à générer un maximum de séquences de codes, celles-ci étant choisies de manière à minimiser les Interférences d'accès Multiple (IAM).

La Figure I-4 schématise la répartition des utilisateurs sur la bande de fréquence et dans le temps en fonction de la distribution des séquences de codes.



**Figure I.4: La technique d'accès multiple CDMA**

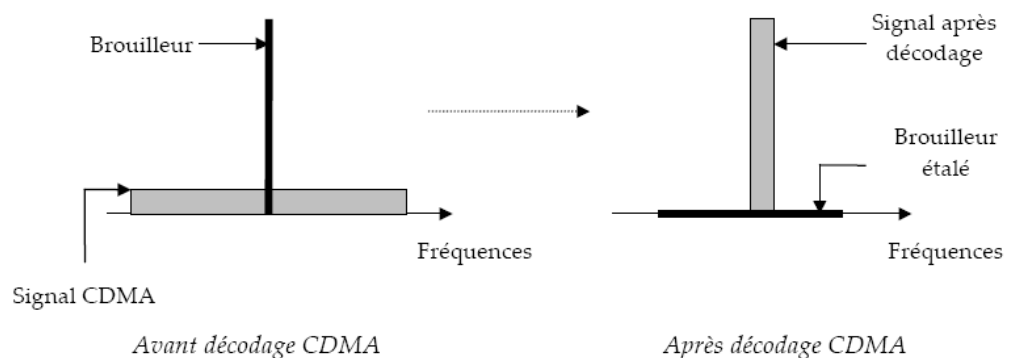
Les séquences de codes utilisées dans les systèmes CDMA sont composées d'une série d'impulsions nommées "chips" afin d'être distinguées des "bits" qui composent une séquence de données.

Un des avantages de la technique CDMA le fait que le spectre de signal original est artificiellement élargi (étalé) dans le domaine des communications radiofréquences. En effet,

la puissance d'un signal, après codage, est étalée sur toute la largeur de la bande de fréquence disponible. De ce fait deux caractéristiques importantes apparaissent :

-La puissance du signal étant étalée sur la bande spectrale disponible, le signal étalé ressemble au bruit du canal et sera donc difficile à détecter par un utilisateur non concerné.

-Le signal CDMA (après codage) est plus résistant aux brouilleurs pouvant se présenter au cours de la transmission. Lors du décodage, la puissance de ce brouilleur est étalée sur la bande spectrale disponible alors que le signal utile est reconstitué. Toutefois, si le nombre de brouilleurs est importante, la puissance générée par ces derniers sera plus importante et affectera la qualité du signal utile obtenu après décodage.



**Figure I.5 : Effet de l'étalement de spectre sur la présence d'un brouilleur**

#### I.3.4.1 Les Avantages de l'étalement de spectre

- Le CDMA permet aux différents utilisateurs de transmettre leurs données sur n'importe quelle fréquence et sans nécessiter de synchronisation entre eux.
- Lutte contre les brouilleurs.
- Camouflage l'information.
  - ★ Interception délicate.
  - ★ Décodage difficile si code  $c(t)$  inconnu.
- Bonne résistance aux brouilleurs du même type.
  - ★ Faible inter-corrélation entre deux codes.
  - ★ Facile séparation d'un empilement de signaux étalés.

#### I.4 Le CDMA des radiofréquences à l'optique

Le CDMA optique est basé sur les concepts de base du CDMA radiofréquence. Les différents utilisateurs partagent le même canal optique et chacun dans le réseau a sa propre séquence d'étalement. L'implémentation du CDMA optique est totalement différente du CDMA radio. Cette différence est due principalement à la différence entre les deux milieux de



propagation. Pour appliquer le CDMA aux communications optiques, certains éléments doivent être adaptés aux contraintes du canal de transmission optique. Les effets qui perturbent le canal optique (dispersion chromatique et effets non-linéaires) sont différents de ceux du canal radio (atténuation et multi-trajets) [4].

### I.5 Application de système de communication optique (OCDMA)

Les systèmes de communications optiques actuels mettent en œuvre des techniques d'accès multiple, dont le principe repose sur le multiplexage de plusieurs canaux de transmission de données sur le même support physique qu'est la fibre optique. Cette opération de multiplexage permet de partager la bande passante de la fibre entre les différents utilisateurs des systèmes [7].

#### I.5.1 La fibre optique

Une fibre est un guide d'onde cylindrique et diélectrique. Elle est constituée de deux diélectriques de même axe, le cœur et la gaine, entourés d'une gaine de protection. Le guidage du signal optique est basé sur la loi de Descartes. La lumière se propage le long de la fibre par réflexions successives entre le cœur et la gaine (Figure I-6). Cela n'est possible que si le cœur et la gaine sont constitués de matériaux transparents et que l'indice de la gaine est inférieur à celui du cœur (une différence de quelques % est suffisante). La seconde condition est d'envoyer le signal lumineux dans la fibre avec un angle, par rapport à l'axe, inférieur à l'ouverture numérique. L'ouverture numérique (O.N.) représente l'ouverture angulaire limite avant une transmission et non une réflexion totale sur le dioptre cœur-gaine de la fibre [2].

$$(O.N. = \sqrt{n_1^2 - n_2^2})$$

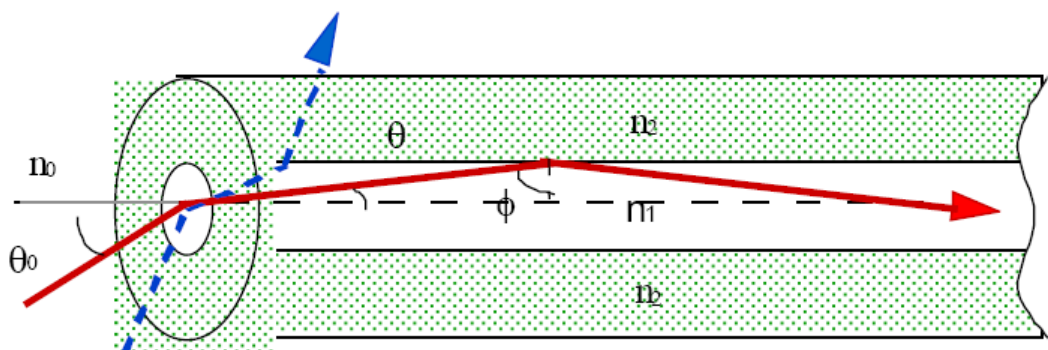


Figure I.6 : Lois de propagation du signal dans une fibre optique

Nous distinguerons deux grands types de fibres :

✓ Les fibres multimodes sont des fibres utilisées pour des applications courte distance, on distingue deux type de fibre :

- Fibre à saut d'indice : où lequell l'indice du cœur constant (forte dispersion).
- Fibre à gradient d'indice : dans ce cas l'indice de cœur n'est pas constant (moins dispersion).

✓ les fibres monomodes sont surtout utilisées pour des applications télécoms et donc sur de longues distances.

### **I.5.1.1 Les Avantages de la fibre optique [5]**

La fibre optique présente des avantages parmi lesquels nous pouvons citer :

- une très faible atténuation du signal transmis,
- une insensibilité aux interférences extérieures ainsi qu'une absence d'échauffement.
- le débit de transmission au sein de la fibre est très élevé.

### **I.5.2 Le CDMA optique [1] [3]**

La CDMA Optique permet un accès simultané et aléatoire au réseau sans nécessité désynchronisation, ainsi qu'une flexibilité de routage de l'information, avec une sécurité de codage.

Dans la technique CDMA, l'orthogonalité des codes est la propriété importante pour minimiser les interférences dues à l'accès multiple du canal. Donc l'Interférence d'Accès Multiple (IAM) qui augmente avec le nombre d'utilisateurs et qui est liée aux propriétés d'inter-corrélation des codes est une des principales limites des performances d'un système OCDMA.

Parmi les autres limitations à l'application du CDMA à l'optique, certaines sont dues à la nature du canal (dispersion chromatique), d'autres au fonctionnement des composants électroniques, optiques et optoélectroniques (bande-passante, non-linéarités, bruits du photo détecteur, etc..).

Les travaux concernant la technique OCDMA se sont développés essentiellement dans le contexte des réseaux d'accès haut débit. Il s'agit dans ce cas pour les opérateurs, de proposer grâce à OCDMA de nombreux services à un nombre d'abonnés de plus en plus important [5].

Un réseau optique CDMA est généralement constitué de N paires émetteurs-récepteurs (figure I-7)

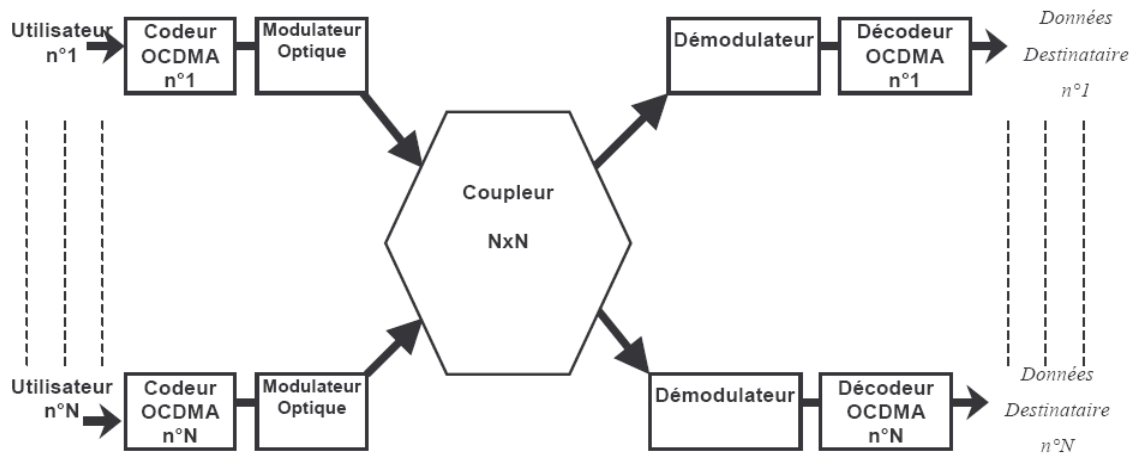


Figure I.7 : réseau OCDMA

Les fonctions de codage/décodage OCDMA peuvent être réalisées :

- Soit dans le domaine électrique; dans ce cas, la principale limitation pour l'implantation de la technique est la vitesse des circuits électroniques disponibles.
- ou bien dans le domaine optique; on parle alors de CDMA «tout-optique» et l'implantation est liée à la technologie et aux coûts des composants optiques nécessaires.

### I.5.2.1 Les différentes approches de l'OCDMA [5]

Classiquement, deux modes de fonctionnement pour l'OCDMA sont possibles :

► **L'OCDMA cohérent** : les informations codées à transmettre utilisent

L'amplitude et la phase du signal transmis, il est possible d'utiliser des codes bipolaires (-1 et 1). Cette bipolarité (codes de Gold, Walsh, m-séquence, . . .) permet aux différents codes d'être strictement orthogonaux. Cependant, ce type de codage nécessite l'utilisation de composants qui rendent le système plus complexe, ce qui augmente le coût de mise en œuvre.

► **L'OCDMA incohérent** : les informations codées à transmettre utilisent la puissance du signal transmis. Le canal est donc unipolaire (0 et 1). La plupart des études portant sur le CDMA Optique envisagent ce type de codage car le système est plus simple à mettre en œuvre et donc moins coûteux. La contrepartie est que les séquences de code utilisées ne peuvent pas être strictement orthogonales. Ceci implique, les données émises par

les différents utilisateurs du système interfèrent les uns avec les autres (IAM), est une des principales limitations des performances.

### **I.5.2.2 Les avantages du CDMA aux réseaux d'accès optique**

De nombreux avantages sont liés à l'utilisation du CDMA pour les réseaux optiques, tels que :

- les utilisateurs accèdent au réseau simultanément et de manière asynchrone.
- la technique, consistant à attribuer un code spécifique à chaque utilisateur, est flexible : il est simple d'ajouter ou d'enlever des utilisateurs en fonction de la demande.
- les informations transmises sont sécurisées, cela est dû au principe d'encodage des données à émettre (code spécifique et distinct) et à l'accès multiple.
- plusieurs types de services peuvent être émis simultanément (CDMA pour le multimédia).
- Le système est évolutif : de nouveaux services ou clients peuvent être déployés en fonction du nombre de codes.

## **I.6 Les différentes méthodes d'OCDMA**

En OCDMA, le code peut être implémenté de différentes manières. On distingue toutefois deux méthodes distinctes : la première est une méthode unidimensionnelle du procédé d'encodage (codes 1D) et la seconde méthode bidimensionnelle (codes 2D) [7].

### **I.6.1 OCDMA unidimensionnel (1D-OCDMA)**

Dans le cas des systèmes OCDMA 1D, le codage est effectué dans le domaine temporel ou dans le domaine spectral.

#### **I.6.1.1 OCDMA temporel (L'encodage à séquence directe DS-OCDMA)[2][5]**

La durée du temps bit  $T_b$  est alors divisée en  $F$  intervalles appelés chip de durées  $T_c$  avec  $T_b = F \cdot T_c$  (Figure 1.2).

$F$  caractérise la longueur temporelle du code. C'est un facteur multiplicatif du débit :  $D_c = F \cdot D$

Où  $D$  est le débit binaire des données et  $D_c$  est le débit des chips émis.

$W$  indique le nombre de chip à '1' dans le code.

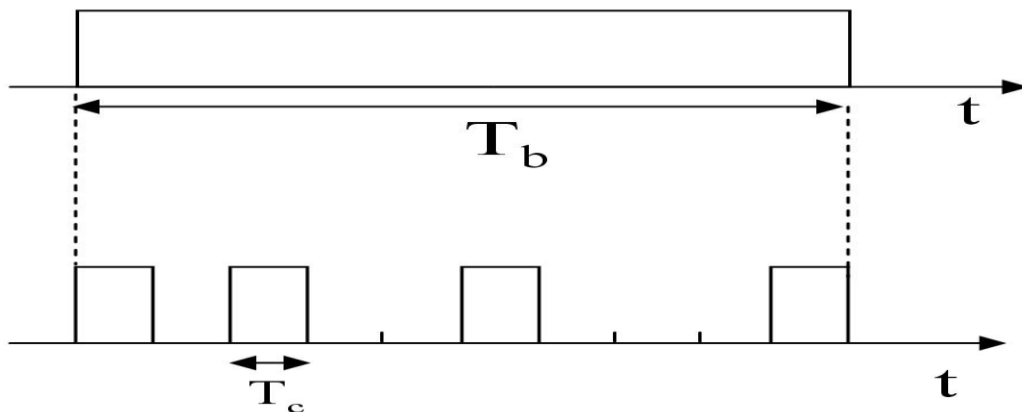


Figure I.8 : Principe de l'étalement temporel

Cette technique est réalisée en multipliant directement une séquence de code signature avec les données à transmettre. Les données codées de chaque utilisateur sont envoyées simultanément via une même fibre. En réception, le récepteur multiplie le signal reçu avec la séquence adresse du destinataire (code signature) et le signal désiré est désétaillé puis remis en forme via un intégrateur pour prise de décision (corrélation).

#### I.6.1.2 OCDMA spectral [5]

Une autre manière de réaliser un système OCDMA est d'utiliser un encodage spectral. Avec cette méthode : Les utilisateurs émettent à un instant donné sur plusieurs longueurs d'ondes ( $W$ ) sélectionnées parmi un ensemble de ( $L$ ) longueurs d'ondes disponibles (figure I-9). Une séquence de code est donc un ensemble de  $W$  longueurs d'ondes parmi  $L$ .

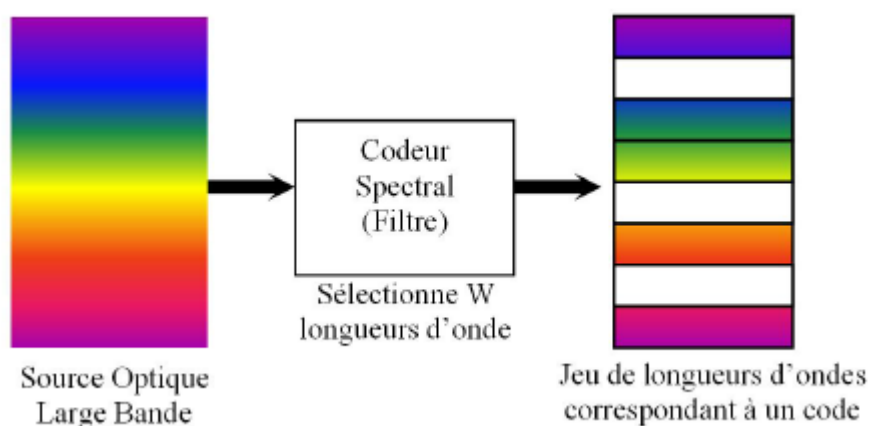


Figure I.9 : Principe de l'étalement spectral

### **I.6.2 OCDMA bidimensionnelle (2D-OCDMA)**

Les systèmes OCDMA à 2 dimensions mettent en œuvre à la fois les dimensions spectrale et temporelle pour effectuer l'encodage. La méthode la plus étudiée est :

#### **I.6.2.1 L'encodage à saut de fréquence (FH-OCDMA: Frequency Hopping OCDMA) [6]**

Dans un système d'étalement de spectre par saut de fréquence (FH-CDMA), les "chips" qui composent la séquence de code associée à chaque utilisateur, sont émis à des fréquences différentes, le choix de ces fréquences pouvant se faire de manière aléatoire.

Le modèle de saut de fréquence est dit "lent" (SFH-CDMA: Slow Frequency Hopping-CDMA) (Figure I-9) lorsque plusieurs séquences de codes sont émises à la même fréquence, le changement de fréquence ne s'effectue qu'après plusieurs bits de données transmis.

Le modèle de saut de fréquence est dit "rapide" (FFH-CDMA : Fast Frequency Hopping-CDMA) lorsque l'émission des chips d'un même code se fait sur plusieurs fréquences.

### **I.7 Les différents Codes utilisés pour un système CDMA optique [1][2][3]**

De nombreux codes pseudo-orthogonaux unipolaires et leur application au CDMA optique ont été étudiés depuis 1988. Ces codes unipolaires ce sont des séquences qui prennent des valeurs de l'ensemble  $\{0, +1\}$ , mais on ne peut pas avoir une orthogonalité stricte avec ces codes (facteur d'auto et d'inter-corrélation nul). Ces codes seront utilisés pour l'OCDMA temporel. Les codes qui ont fait l'objet de plus d'attention sont les Codes Optiques Orthogonaux (OOC) et les Codes Premiers.

#### **I.7.1 Les codes optiques orthogonaux OOC(optical orthogonal codes)**

Ont été développés par Salehi en 1989, ces codes sont généralement notés OOC (F, W, ha, hc). Possèdent de meilleures propriétés d'auto et d'inter-corrélation que les codes PC, car il est possible de générer des familles de codes quelque soient les valeurs d'autocorrélation et d'inter-corrélation désirées, mais ils nécessitent des algorithmes plus complexes pour leur génération.

#### **I.7.2 Les codes premiers PC (prime codes)**

Ont d'abord été conçus par Cooper et Nettleton en 1978 pour les communications cellulaires. Ils ont été adaptés aux systèmes de communications optiques par Shaar et Davies en 1983. Les codes PC sont définis par une seule grandeur  $p$  qui doit être un nombre premier.

De nombreuses variantes aux codes PC (prime codes) ont également été développées tels que : Extended Prime Code, Synchronized Prime Code,  $2n$  Prime Code, Generalized Prime Code.

Le principal avantage lié à l'utilisation des codes PC ou de ses variantes consiste dans la facilité de génération des séquences de code. En effet, ceux-ci sont construits à partir d'équations mathématiques basées sur les propriétés des corps de Galois.

### **I.8 Présentation des différents récepteurs**

La structure de réception utilisée en bout de la chaîne de transmission est un élément très important, dont la fonction est : recevoir le signal transmis dans la fibre optique puis, à partir de ce signal, estimer la donnée émise par l'utilisateur désiré.

Différentes structures de réception peuvent être utilisées pour les systèmes OCDMA temporel.

#### **I.8.1 Récepteur conventionnel (RC) [1]**

Dans le cas où l'on utilise un récepteur conventionnel pour la réception, la partie décodage du système OCDMA temporel s'effectue par corrélation, désignant l'utilisateur à effectuer cette opération.

#### **I.8.2 récepteur conventionnel avec limiteur optique (HL-RC) [3]**

Afin de réduire le nombre d'erreurs sur une donnée, on peut limiter à l'entrée du système de réception le niveau de l'interférence dû aux utilisateurs non-désirés en plaçant un composant qui limite la puissance reçue. C'est un composant optique appelé «hard limiter».

### **I.9 Conclusion**

Nous avons présenté dans ce premier chapitre la description du réseau de télécommunications optiques et les différentes techniques de multiplexage existantes (TDMA, FDMA, WDM, CDMA).

Une attention particulière est portée sur le CDMA optique et ses multiples implémentations en utilisant la méthode unidimensionnelle (OCDMA temporel, OCDMA spectral) et la méthode bidimensionnelle (FH-OCDMA).

Ce chapitre a pour but d'apporter toutes les informations nécessaires à la compréhension de la liaison CDMA optique et plus particulièrement avec l'encodage temporel pour comprendre les chapitres suivants.

*Chapitre 2*

*CDMA Optique*

*incohérent à séquence*

*directe (DS-OCDMA)*



## II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous parlerons dans un premier temps de la technique CDMA optique à séquence directe (DS-OCDMA) pour  $N$  utilisateurs. On peut tout d'abord différencier les systèmes optiques cohérents et incohérents. Des études ont porté sur la réalisation de systèmes CDMA optiques cohérents. Dans de tels systèmes, l'information est portée par l'amplitude et la phase du signal transmis. Dans un système optique incohérent, les données sont codées par la puissance de la lumière reçue [8]. Nous nous intéressons aux systèmes OCDMA incohérents pour une solution potentielle à "bas coût" ainsi qu'une implantation plus simple et plus flexible dans le contexte des réseaux d'accès haut débit [5].

On commence par la description de la partie d'émission, ainsi que les différents types de codes temporels adaptés au CDMA Optique (OOC, Prime Code). Puis, on aborde la partie de réception, en présentant les différentes structures de décodeurs qui permettent de traiter les interférences d'accès multiples (IAM). A la fin, on fait une évaluation théorique des performances en fonction uniquement d'interférence d'accès multiple (IAM) qui représente la limitation d'un système CDMA optique [1].

## II.2 CDMA Optique incohérent à séquence directe (DS-OCDMA) [8]

Dans un système DS-OCDMA, l'étalement spectral est réalisé en multipliant directement les séquences de code des utilisateurs avec leurs données à transmettre à l'émission. Les données codées de chaque utilisateur sont couplées et envoyées simultanément via une même fibre. A la réception, le récepteur multiplexe le signal reçu avec chaque séquence adresse du destinataire désiré pour extraire les données envoyées comme illustré sur la figure II.1

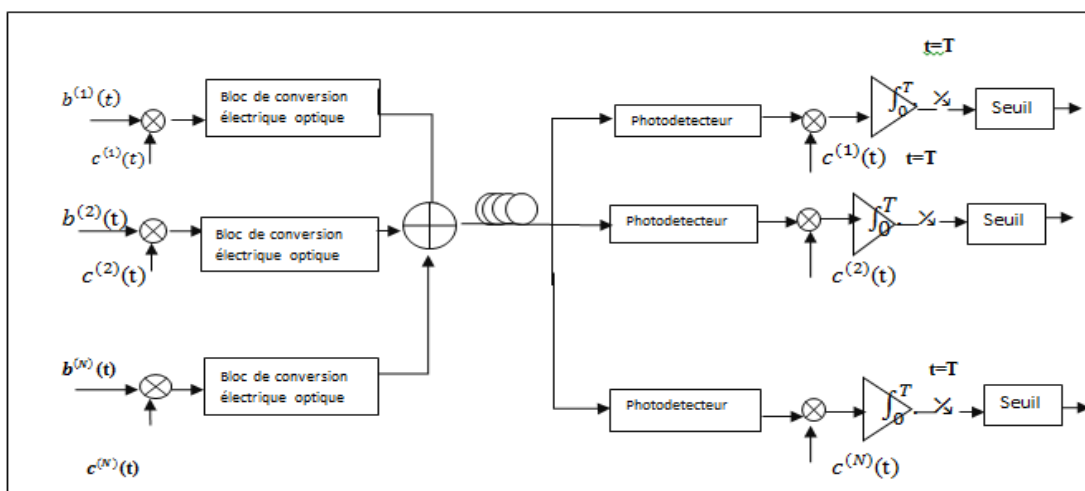


Figure II. 1 : Système de transmission DS-OCDMA

Dans un système DS-OCDMA, la multiplication directe des données par le code, l'émetteur revient à envoyer le code lorsque la donnée est « 1 », et ne rien envoyer lorsque la donnée est « 0 », comme illustré sur la figure 2.2, avec un code pour lequel  $L=10$  et  $W=3$ .

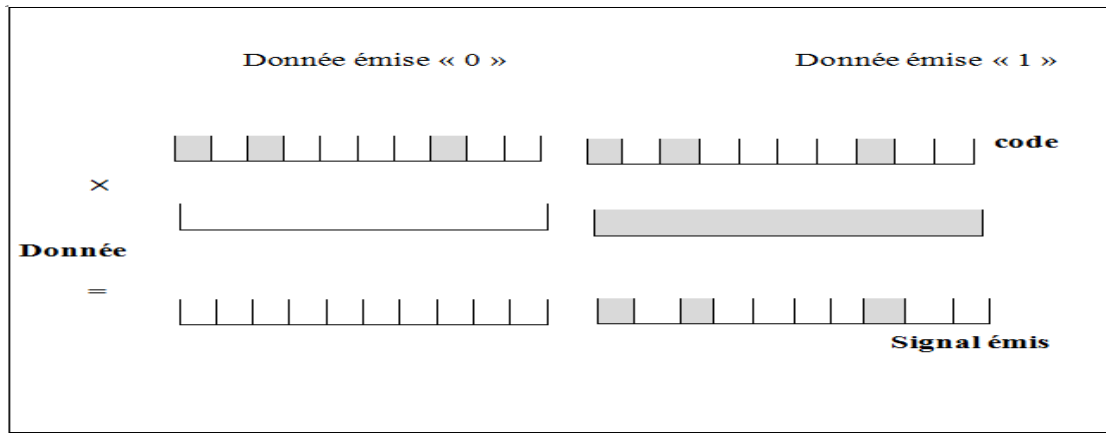


Figure II. 2 : Codage d'une donnée '0' et d'une donnée '1'

### II.3 Différentes parties d'une chaîne DS-OCDMA [1]

#### II.3.1 Partie d'émission d'un système DS-OCDMA

Le schéma suivant présente la partie émission d'un système CDMA optique à séquence directe (DS-OCDMA) où les données des utilisateurs sont multiplies par la séquence de code c'est ce que n'appelle l'étalement temporelle [9].

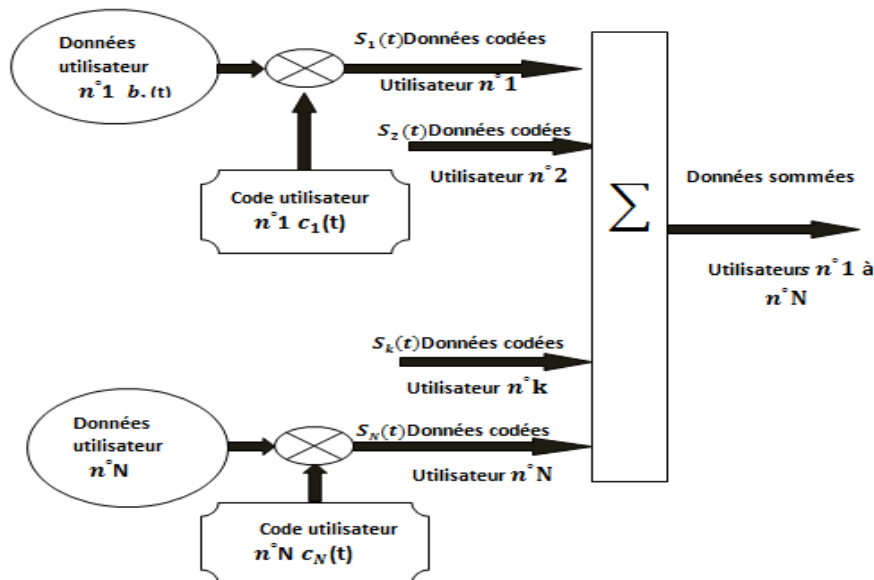


Figure II.3: Partie émission d'un système CDMA optique à séquence directe

Soit le signal transmis par un utilisateur K [6]:

$$S_k(t) = S_k \cdot b_k(t) \cdot C_k(t) \tag{II.1}$$

Avec :

$S_k$  Le niveau d'amplitude en sortie du codeur ; on prend par la suite la valeur normalisée  $S_k=1$ .

$b_k(t)$  représente les données de l'utilisateur  $k$ .

$C_k(t)$  est la séquence de code du  $k^{\text{ème}}$  utilisateur.

Le signal reçu  $r(t)$  quand le canal de transmission (fibre optique) est supposé idéal est la somme des données codées de tous les utilisateurs actifs du réseau. Il est de la forme :

$$r(t) = \sum_{k=1}^N S_k(t - \tau_k) \quad (\text{II. 2})$$

Avec  $\tau_k$  retard du  $k^{\text{ème}}$  utilisateur.

### II.3.2 Codes utilisés pour un système DS-OCDMA incohérent [10]

Dans les systèmes de communication optique utilisant la technique de partage CDMA, les caractéristiques des codes sont un facteur déterminant pour la mise en œuvre du système.

Les familles des codes que nous recherchons pour le système doivent posséder les caractéristiques suivantes:

- ❖ Chaque séquence doit être facilement distinguable de toutes les autres séquences de la famille (facteur d'inter-corrélation).

- ❖ Une séquence doit être facilement distinguable d'une version décalée d'elle-même, et cela, pour toutes les séquences de la famille (facteur d'autocorrélation).

Deux catégories de codes ont été étudiées, les codes bipolaires et les codes unipolaires.

Les codes bipolaires : sont des séquences qui prennent des valeurs de l'ensemble

$\{-1, +1\}$ . Avec ces codes on peut avoir de meilleures caractéristiques d'auto et d'inter-corrélation, mais leur utilisation de ces codes dans les systèmes optiques, demande l'utilisation de dispositifs pour le contrôle de phase ce qui se manifeste d'une part par la complexité du système et d'autre part par l'augmentation du coût de la liaison. Dans cette catégorie de code, on distingue plusieurs familles : les m-séquences, les séquences de Gold, séquences de Kasimi. Ce type de code sera principalement utilisé en OCDMA spectral.

Les codes unipolaires : pour palier le problème de contrôle de phase les séquences unipolaires peuvent être utilisées. Ce sont des séquences qui prennent des valeurs de l'ensemble  $\{0, +1\}$ , mais on ne peut pas avoir une orthogonalité stricte avec ces codes (facteur d'auto et d'inter corrélation nul). Ces codes seront utilisés pour l'OCDMA temporel. Les codes qui ont fait l'objet de plus d'attention sont les Codes Optiques Orthogonaux (OOC) et les Codes Premiers (PC).

### II.3.2.1 OOC (Optical Orthogonal Codes) [11] [8] [1]

Les codes optiques orthogonaux (OOC) ont été présentés en 1989 par Salehi afin de résoudre les problèmes rencontrés par l'utilisation, dans le domaine optique, de séquences bipolaires et de système à détection cohérente, ces codes sont généralement notés OOC ( $L$ ,  $W$ ,  $h_a$ ,  $h_c$ ).

- $L$  est la longueur de la séquence.

- $W$  est le poids du code, qui représente le nombre de chips à « 1 ».

- $h_a$ ,  $h_c$  sont respectivement les contraintes d'auto et inter corrélation.

Le choix des paramètres d'un code OOC peut être arbitraire. Cependant, dans une application CDMA on cherche à :

-avoir le plus d'utilisateurs actifs dans le réseau ; cela signifie qu'on cherche à obtenir le plus grand nombre de mots de code dans une famille donnée.

-respecter au mieux les contraintes d'auto et d'inter-corrélation

Il existe plusieurs façons de représenter mathématiquement les codes OOC :

- ✓ Avec un vecteur donnant les positions des chips à 1.
- ✓ Avec un vecteur donnant les retards relatifs.
- ✓ Avec un vecteur donnant la valeur de chaque chip.

#### II.3.2.1.1 Autocorrélation et inter-corrélation des OOC [8]

Les valeurs d'autocorrélation et d'inter-corrélation des codes sont des paramètres clés pour évaluer les performances du système en présence de plusieurs utilisateurs. Pour  $\lambda_a$  et  $\lambda_c$  fixés, les codes d'une famille OOC doivent vérifier :

$$|AC_{x,x}(l)| = |\sum_{n=1}^L x_n x_{n+l}| = \begin{cases} w & \text{pour } l = 0 \\ \leq \lambda_a & \text{pour } 1 \leq l \leq L \end{cases} \quad (\text{II.3})$$

Et

$$|AC_{x,y}(l)| = |\sum_{n=1}^L x_n y_{n+l}| = \leq \lambda_a \quad \text{pour } 0 \leq l \leq L \quad (\text{II.4})$$

La première relation (II.3) revient à déterminer, pour toutes les valeurs de décalage circulaire, le nombre de chips à « 1 » en commun entre le code et sa version décalée.

La deuxième relation (II.4) revient à déterminer, le nombre de chips unité en commun entre deux codes de la famille, pour toutes les valeurs de décalage circulaire entre les 2 codes.

### II.3.2.1.2 Cardinalité des OOC

Il a été montré par Salehi que la cardinalité d'un code OOC ( $L, W, \lambda_a = 1, \lambda_c = 1$ ) est donnée par :

$$N \leq \left\lfloor \frac{L-1}{w(w-1)} \right\rfloor \quad (\text{II.5})$$

Où  $\lfloor \cdot \rfloor$  : est l'opérateur qui prend la partie entière d'un nombre par valeur inférieure. Il est à noter que cette expression théorique donne une borne supérieure du nombre d'utilisateurs possibles dans une famille de code. Ainsi, certaines familles auront un nombre réel de codes inférieur à la valeur théorique. On peut extrapoler que le nombre d'utilisateurs possibles dans une famille OOC ( $L, W, \lambda_a, \lambda_c$ ), telle que  $\lambda_a = \lambda_c = 1$ , est [12]

$$N(L, W, \lambda) = \left\lfloor \frac{1}{W} \left\lfloor \frac{L-1}{W-1} \left\lfloor \frac{L-2}{W-2} \left\lfloor \frac{L-3}{W-3} \dots \left\lfloor \frac{L-\lambda}{W-\lambda} \right\rfloor \right\rfloor \right\rfloor \right\rfloor \right\rfloor \quad (\text{II.6})$$

### II.3.2.1.3 Construction des codes

Pour construire les codes OOC, plusieurs méthodes de génération de codes OOC peuvent être mises en œuvre **Construction systématique, Greedyalgorithm.**

Au cours de cette étude, nous avons utilisé une construction appelée : la méthode "BIBD" (Balanced Incomplete Block Design).

#### II.3.2.1.3.1 Construction par la méthode BIBD (Balanced Incomplete Block Design) [13]

La méthode BIBD est une méthode de construction utilisable seulement lorsque la longueur souhaitée du code est un nombre premier. Cette méthode fait appel à l'utilisation de racines primitives. Une racine primitive est un nombre  $\alpha$  d'un corps de Galois  $GF(q)$  (corps fini, qui contient  $q$  éléments) qui vérifie :  $\alpha \in GF(q)$ .

Chaque élément de  $GF(q)$  (excepté 0) peut être généré par une puissance de  $\alpha$ . On peut donc écrire :

$$GF(q) \setminus \{0\} \cup \{\alpha^i \pmod{q}, i = 1, 2, \dots, q-1\} \quad (\text{II.7})$$

Cette méthode de construction est basée sur un calcul mathématique, qui donne les vecteurs positions des codes, à partir d'une longueur de code  $F$  ( $F$  étant un nombre premier), et du poids  $W$ . Le nombre de codes possibles est donné par l'équation (II. 18). Le calcul diffère selon la parité de  $W$  :

Si  $W$  est pair ( $w = 2.m$ ):

$$P_{ci} = \{\alpha^{mi+jk}\} \cup \{0\} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

$$k = WN = 2mN \text{ et } i \in [0, N - 1], j \in [0, w - 2] \tag{II. 9}$$

Si  $W$  est impair ( $w = 2.m + 1$ ):

$$P_{ci} = \{\alpha^{mi+jk}\} \tag{II. 10}$$

Avec :

$$k = (W - 1)N = 2mN \text{ et } i \in [0, N - 1], j \in [0, w - 1] \tag{II. 11}$$

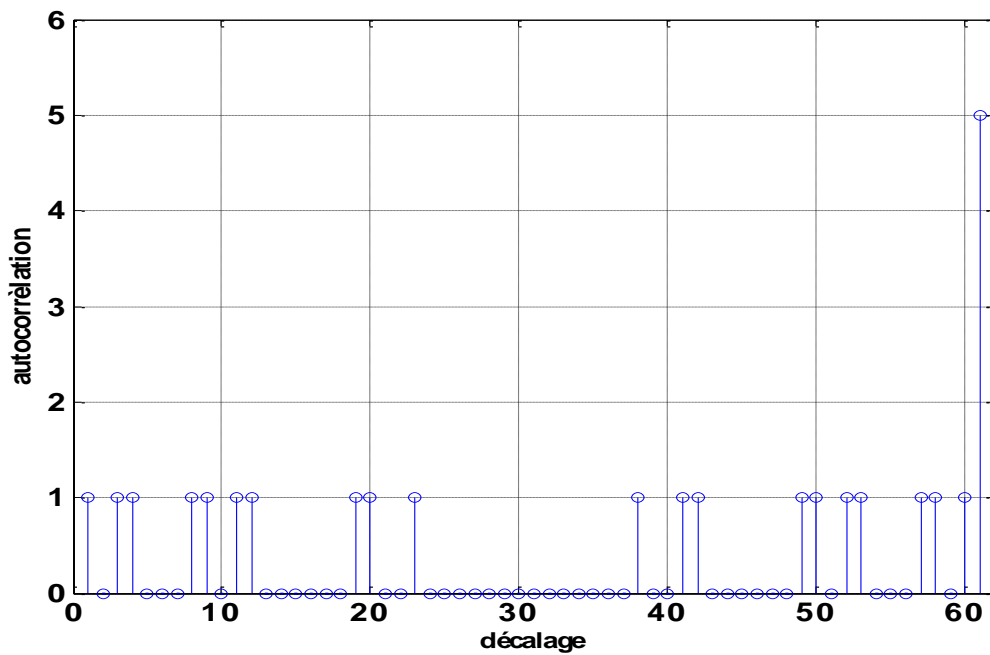
**Exemple :**

On écrit un programme pour générer des codes OOC avec la méthode de BIBD. Puis, on vérifie le niveau d’auto et inter-corrélation de ces codes. *Tableau II. 1* présente les résultats des codes obtenus pour OOC (61, 5, 1,1) et  $N=3$

Utilisateurs	P1	P2	P3	P4	P5
C1	1	2	10	21	59
C2	1	5	20	37	50
C3	1	14	16	17	23

**Tableau II. 1 : Ensemble des positions des chips à « 1 » d’une famille de code OOC (61, 5, 1,1).**

**Les fonctions d’autocorrélation des codes générés**



**Figure II. 4 : Fonction d’autocorrélation pour l’utilisateur 1 du code OOC (61, 5)**

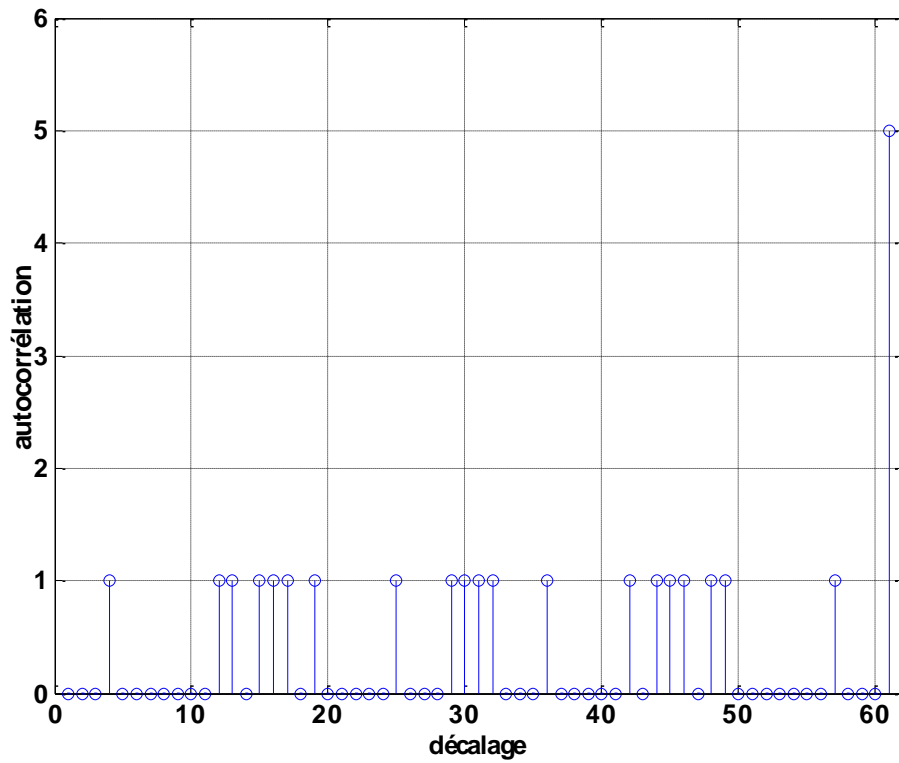


Figure II. 5 : Fonction d'autocorrélation pour l'utilisateur 2 du code OOC (61, 5)

Les fonctions d'inter-corrélation des codes générés

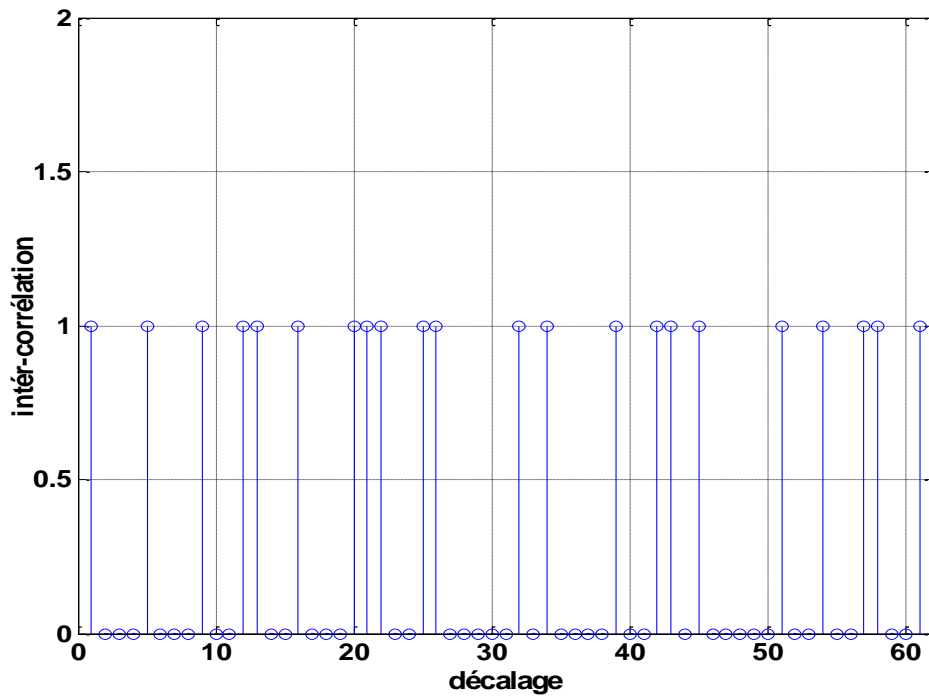
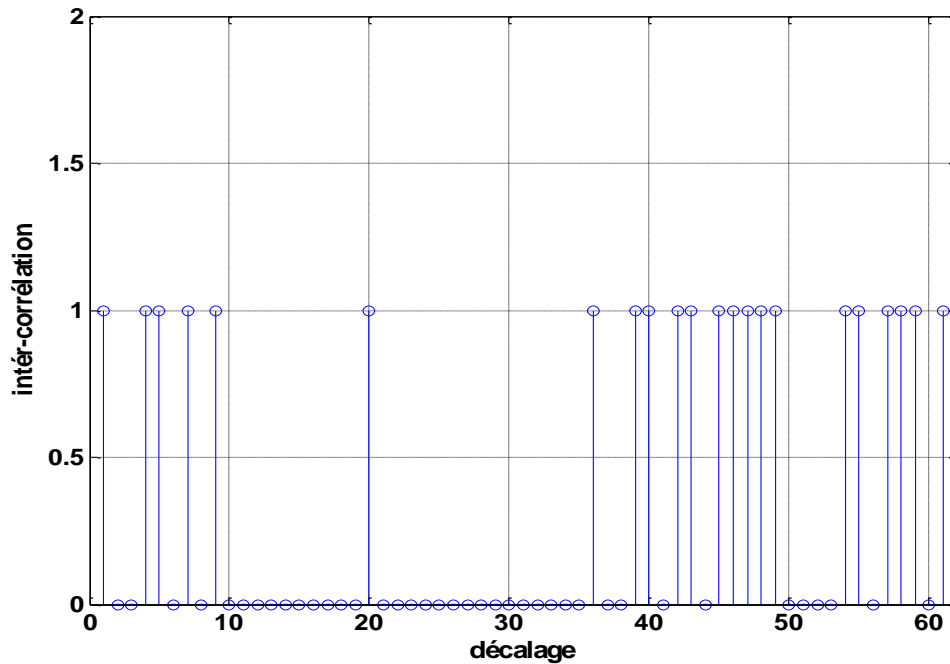


Figure II. 6 : Fonction d'inter-corrélation pour la couple des utilisateurs (1,2) du code OOC (61, 5)



**Figure II. 7: Fonction d'inter-corrélation pour la couple des utilisateurs (1,3) du code OOC (61, 5)**

Cette méthode de construction est donc intéressante puisqu'elle permet de générer de manière immédiate des séquences de code OOC respectant les contraintes sur les valeurs de corrélation. Bien que cette méthode impose l'utilisation d'un nombre premier, le choix des autres paramètres de la famille de code ( $N_{OOC}$  et  $W$ ) reste relativement souple. De plus les valeurs d'autocorrélation et d'inter-corrélation sont minimales ( $h_a = h_c = 1$ ), ce dernier point doit cependant être vérifié à l'issue de la génération.

### II.3.3 Partie de réception d'un système DS-OCDMA

La structure de réception utilisée en bout de la chaîne de transmission, dont la fonction est : recevoir le signal transmis dans la fibre optique puis, à partir de ce signal estimer la donnée émise par l'utilisateur désiré. Différentes structures de réception peuvent être utilisées pour les systèmes OCDMA [14]

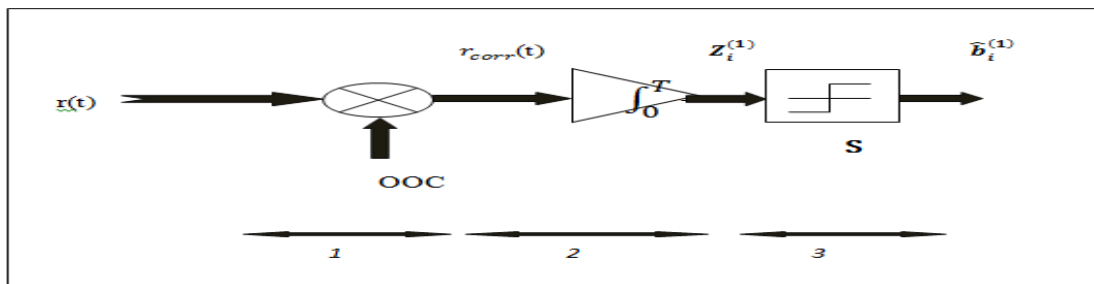
Pour les quels seule la connaissance du code de l'utilisateur désiré est nécessaire. Pour ces récepteurs, l'interférence générée par les autres utilisateurs n'est pas prise en compte et est considérée comme du bruit. Comme cette interférence augmente de façon significative avec le nombre d'utilisateurs actifs, ces récepteurs réalisent de nombreuses erreurs dans un réseau chargé [15].



**II.3.3.1 Récepteur conventionnel par corrélation**

Le récepteur conventionnel par corrélation RC (Conventional Correlation Receiver) est le récepteur le plus simple d'une chaîne DS-OCDMA [10]. Il estime la puissance présente dans les chips unité du code, pour la comparer au seuil de décision.

La figure présente le schéma de détection et d'estimation de la donnée émise. Il est composé de 3 fonctions [8]:



**Figure II.8 : Récepteur conventionnel de l'utilisateur 1**

1. Multiplication du signal reçu par le code de l'utilisateur désiré. Cette étape, permet de ne conserver que la puissance présente dans les chips unité du code.

2. Intégration du signal obtenu sur le temps bit : cette étape évalue la puissance totale présente sur le signal précédemment obtenu, pendant l'intervalle d'un temps bit. Cette étape fournit la valeur de la variable décisionnelle.

3. Prise de décision par comparaison à un seuil : la comparaison de la variable décisionnelle avec le seuil de décision permet d'obtenir la donnée estimée

D'un point de vue mathématique, les opérations successives se traduisent par les expressions suivantes :

➤ La multiplication du signal reçu par le code de l'utilisateur désiré donne :

$$\begin{aligned}
 r_{corr}(t) &= r(t) \cdot c_1(t) \\
 &= (\sum_{k=1}^N b_i^{(k)} \cdot c_k(t)) \cdot c_1(t) \\
 &= b_1(t) \cdot c_1^2(t) + \sum_{k=2}^N b_i^{(k)} \cdot c_k(t) \cdot c_1(t)
 \end{aligned}$$

➤ L'intégration du signal obtenu fournit la variable décisionnelle  $Z(i1)$  du  $i^{ème}$  bit de donnée de l'utilisateur n°1 de la forme :

$$\begin{aligned}
 Z_i^{(1)} &= \int_0^{T_b} b_i^{(1)} \cdot c_1(t) dt + \sum_{k=2}^N b_i^{(k)} \cdot \int_0^{T_b} c_k(t) \cdot c_1(t) \\
 &= W \cdot b_i^{(1)} + \sum_{k=2}^N b_i^{(k)} \cdot \int_0^{T_b} c_k(t) \cdot c_1(t)
 \end{aligned}$$

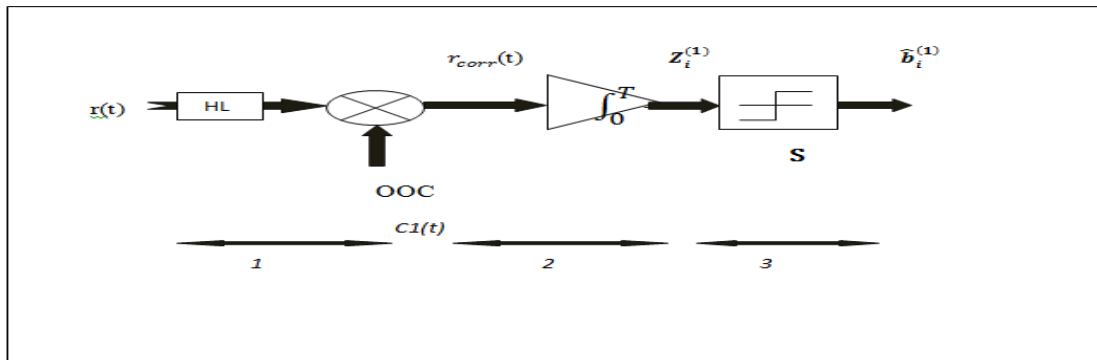
➤ La prise de décision par comparaison à un seuil  $S$  suit la règle de décodage suivante

$$\begin{cases} \text{si } Z_i^{(1)} \geq S \Rightarrow \hat{b}_i^{(1)} = 1 \\ \text{si } Z_i^{(1)} < S \Rightarrow \hat{b}_i^{(1)} = 0 \end{cases}$$

**II.3.3.2 Récepteur Conventionnel avec Limiteur**

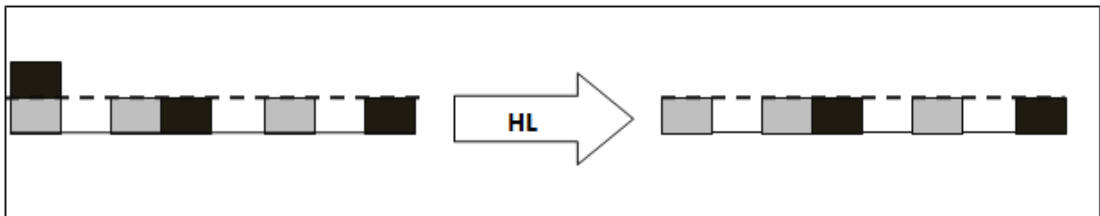
Cette structure de réception présentée sur la figure II.9 reprend le principe du RC de manière identique. La seule différence consiste en l'ajout d'une fonction appelée Hard Limiter (HL) [16]. Cette fonction a pour objectif d'écrêter le signal reçu, et peut être définie par :

$$g(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 1 \\ 0 & 0 \leq x \leq 1 \end{cases}$$



**Figure II. 9 : Récepteur Conventionnel avec limiteur de l'utilisateur 1**

En pratique, le composant « Hard Limiter » (HL) supprime une partie de la puissance reçue pour avoir au final un signal dont chaque chip contient une puissance nulle ou égale à « 1 ».



**Figure II. 10 : Effet du Hard Limiter sur un exemple de signal reçu**

L'ajout de cette fonction très simple va permettre d'améliorer les performances du système. En effet, la limitation de l'amplitude du signal reçu à 1 va diminuer l'impact de l'IAM. Ainsi, quelque soit le nombre d'utilisateurs qui interfèrent sur un chip de l'utilisateur

désiré, le signal issu du bloc **HL** n'est constitué que de valeurs au plus égales à '1' contrairement au récepteur **RC**. Par contre, les étapes suivantes (2 et 3) sont établies de manière identique au récepteur **RC**.

#### **II.4 Conclusion**

Nous avons décrit dans ce chapitre le système CDMA optique incohérente à séquence directe (DS-OCDMA) et leur bloc d'émission, de réception et les différents types de familles de code qui sont appliquées.

A la fin de ce chapitre, nous avons présenté la partie de réception des données. Dans cette partie, nous avons étudié deux types de récepteurs tels que le récepteur conventionnel par corrélation (**RC**) et le récepteur conventionnel avec limiteur optique (**HL-RC**).

Dans le prochain chapitre, nous montrons les performances d'un système de transmission CDMA Optique en utilisant les codes OOC avec les récepteurs **RC**, **HL-RC**.

# *Chapitre 3*

## *Résultat et Simulation*

### III.1 Introduction

Il existe plusieurs technique de configurer et implémenter la CDMA en system de télécom optique. Parmi ces techniques, on a DS-OCDMA. Cette technique consiste à partager l'énergie lumineuse dans toute la bande de fréquence disponible.

Dans ce chapitre, nous avons fait plusieurs simulations en étudiant les performances de transmission DS-OCDMA en fonction des paramètres des codes OOC (L, W, N) et les deux récepteurs RC et HL-RC.

### III.2 Approche théorique sur les performances d'une liaison DS-OCDMA

Nous étudions les performances d'une liaison DS-OCDMA en utilisant le code optique OOC, dans ce cas, tous les composants sont considérés idéaux. Nous aborderons en premier un récepteur conventionnel avec le bloc de corrélation (RC) seul puis nous ajouterons un limiteur optique (HL-RC) à l'entrée de ce bloc.

#### III.2.1 Performances avec récepteur conventionnel (RC) [8]

Pour déterminer la probabilité d'erreur du RC, il faut analyser l'expression de la variable décisionnelle. Considérons la variable décisionnelle  $Z_i^{(1)}$  du  $i^{\text{ème}}$  bit de donnée  $b_i^{(1)}$  de l'utilisateur  $n^{\circ} I$ :

$$Z_i^{(1)} = W \cdot b_i^{(1)} + \sum_{k=2}^N b_i^{(k)} \int_0^T c_k(t) c_1(t) dt \quad (\text{III.1})$$

- Le premier terme  $W \cdot b_i^{(1)}$  correspond à la contribution de l'utilisateur désiré.

$$\begin{cases} \text{si } b_i^{(1)} = 0 \Rightarrow W \cdot b_i^{(1)} = 0 \\ \text{si } b_i^{(1)} = 1 \Rightarrow W \cdot b_i^{(1)} = W \end{cases}$$

- Le deuxième terme  $I_1$  correspond à l'interférence due aux autres utilisateurs : c'est l'Interférence d'Accès Multiple (IAM).

$$I_1 = \sum_{k=2}^N b_i^{(k)} \int_0^T c_k(t) c_1(t) dt = \sum_{k=2}^N I_k^{(1)} \quad (\text{III.2})$$

Le terme d'interférence  $I_k^{(1)}$  de l'utilisateur non-désiré  $n^{\circ} k$  sur l'utilisateur désiré  $n^{\circ} I$ , dépend de:

- la donnée émise  $b_i^{(k)}$

- l'inter-corrélation entre le code de l'utilisateur désiré  $c_1(t)$  et celui de l'utilisateur non désiré  $c_k(t)$ .

$$\begin{cases} \text{si } b_i^{(k)} = 0 & \Rightarrow I_k^{(1)} = 0 \\ \text{si } b_i^{(1)} = 1 & \Rightarrow I_k^{(1)} = \int_0^{T_b} c_k(t) \cdot c_1(t) dt \end{cases}$$

Comme  $\int_0^{T_b} c_k(t) \cdot c_1(t) dt$  est une grandeur positive ou nulle, le terme d'interférence est positif ou nul, et sera au plus égal à la valeur maximale d'inter-corrélation. Si l'inter-corrélation  $\int_0^{T_b} c_k(t) \cdot c_1(t) dt$  est non nulle, on dira que l'utilisateur (k) est «interfèrent ». Comme chaque terme d'interférence  $I_k^{(1)}$  prend des valeurs positives ou nulles, le terme d'IAM  $I_1$  a une valeur positive ou nulle.

En conséquence :

- si  $b_i^{(1)}=1$ , alors la variable décisionnelle s'écrit  $Z_i^{(1)}=W+I_1$  avec  $I_1 \geq 0$ . Donc :

$Z_i^{(1)} \geq W$ . Si  $S \leq W$ , d'après la règle de décodage, on ne peut pas faire d'erreur de décision sur  $\hat{b}_i^{(1)}$  lorsque  $b_i^{(1)}=1$ .

- si  $b_i^{(1)}=0$ , alors la variable décisionnelle s'écrit  $Z_i^{(1)} = I_1$  avec  $I_1 \geq 0$ .

Donc :

$Z_i^{(1)} \geq 0$ . Si  $Z_i^{(1)} = I_1 \geq S$ , une erreur est possible sur terme  $\hat{b}_i^{(1)}$ .

D'autre part, le récepteur doit parfaitement décoder les données d'un seul utilisateur dans la chaîne de transmission. Donc, dans le cas sans bruit, il faut que :

- $S \leq W$  pour détecter correctement un '1'
- $S > 0$  pour détecter correctement un '0'

Donc, il faut que  $0 < S \leq W$ .

D'après l'analyse précédente, cela signifie que, quel que soit le nombre d'utilisateurs actifs, une donnée '1' sera toujours correctement détectée.

Pour diminuer au maximum le nombre d'erreurs sur un '0', et donc obtenir la plus faible probabilité d'erreur possible, le seuil optimal sera le plus élevé possible donc :

$$S_{RC} = W$$

### III.2.1.1 Probabilité d'erreur du RC

#### Probabilité d'erreur du RC pour des codes de $\lambda_c=1$

On considère un système OCDMA avec N utilisateurs actifs. Nous considérons un RC dont le seuil est S tel que  $0 < S \leq W$ .

D'une manière générale, la probabilité d'erreur s'écrit :

$$P_{eRC} = \frac{1}{2} P(\hat{b}_i^{(1)} = 0 / b_i^{(1)} = 1) + \frac{1}{2} P(\hat{b}_i^{(1)} = 1 / b_i^{(1)} = 0) \quad (III.3)$$

Nous avons montré au paragraphe précédent que, pour un système OCDMA, la probabilité d'erreur sur un '1' est nulle. Donc  $P(\hat{b}_i^{(1)} = 0 / b_i^{(1)} = 1) = 0$

D'où :

$$\begin{aligned} P_{eRC} &= \frac{1}{2} P(\hat{b}_i^{(1)} = 1 / b_i^{(1)} = 0) \\ &= \frac{1}{2} P(Z_i^{(1)} \geq S / b_i^{(1)} = 0) \\ &= \frac{1}{2} P(I_1 \geq S) \end{aligned} \quad (III.4)$$

Le terme d'interférence  $I_1$  est la somme de (N-1) variables aléatoires indépendantes identiquement distribuées  $I_k^{(1)}$  telles que :

$$I_k^{(1)} = b_i^{(k)} \int_0^{T_b} c_k(t) \cdot c_1(t) dt \quad (III.5)$$

Nous redémontrons que  $I_k^{(1)}$  ne peut prendre que les valeurs :

- '0' avec la probabilité  $(1 - \frac{R}{2})$

- '1' avec la probabilité  $(\frac{R}{2})$

Donc  $I_1$  suit une loi binomiale :

$$P(I_1 = i) = Q_1 \left( t = i, T = N - 1, q = \frac{R}{2} \right) = C_{N-1}^i \left( \frac{R}{2} \right)^i \left( 1 - \frac{R}{2} \right)^{N-1-i} \quad (III.6)$$

Il y a une erreur si  $I_1 \geq S$ . Comme la valeur maximale de l'interférence est N-1, il y a une erreur pour  $S \leq I_1 \leq N-1$ , d'où :

$$P_{eRC} = \frac{1}{2} \sum_{i=S}^{N-1} P(I_1 = i) \quad (III.7)$$

Finalement, on obtient la probabilité d'erreur du RC pour un code dont l'inter-corrélation maximale est 1 :

$$P_{eRC} = \frac{1}{2} \sum_{i=S}^{N-1} C_{N-1}^i \left( \frac{R}{2} \right)^i \left( 1 - \frac{R}{2} \right)^{N-1-i} \quad (III.8)$$

Avec R la probabilité d'avoir 1 chip en commun entre 2 codes

On peut remarquer que, si  $N - 1 < S$ , c'est-à-dire, si  $S \leq N$ , alors il n'y a pas de termes dans la sommation, donc la probabilité d'erreur est nulle.

### Application aux OOC (L, W, 1,1)

Pour les codes OOC (L, W, 1,1), on a  $R = \frac{W^2}{L}$  est la probabilité d'avoir 1 chip en commun entre 2 codes

$$P_{eRC} = \frac{1}{2} \sum_{i=S}^{N-1} C_{N-1}^i \left(\frac{W^2}{2L}\right)^i \left(1 - \frac{W^2}{2L}\right)^{N-1-i} \quad (\text{III.9})$$

### III.2.1.2 Performances des codes dans le système DS-OCDMA incohérent utilisant le récepteur RC

#### III.2.1.2.1 Performances des OOC (L, W, 1,1)

Afin de pouvoir utiliser les variations théoriques de la probabilité d'erreur en fonction du L, W et N, nous vérifions tout d'abord par la simulation que le choix optimal du seuil de détection S est égal à W. Pour cela, nous avons considéré une famille de code OOC (361, 4, 1,1) avec N=8 utilisateurs, pour un seuil S variant de 1 à 4 par pas de 1. Et Nous avons tracé sur la figure l'évolution des performances simulées du RC.

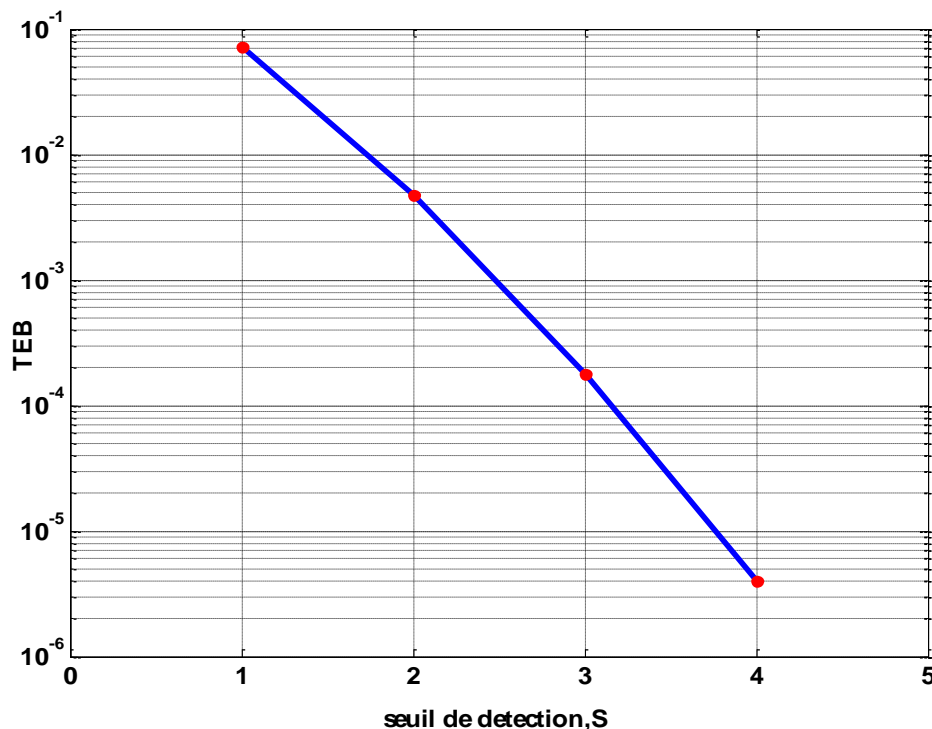


Figure III. 1: TEB d'un code OOC (361, 4, 1,1) avec N=8 utilisateurs en fonction du seuil de décision

On constate que la valeur minimale ( $P_{eRC} \approx 4.10^{-6}$ ), est obtenue pour  $S=W=4$ . Donc  $S= W=4$  est bien la valeur entière optimale du seuil du RC.



De nombreux paramètres ont une influence sur les performances tels que :

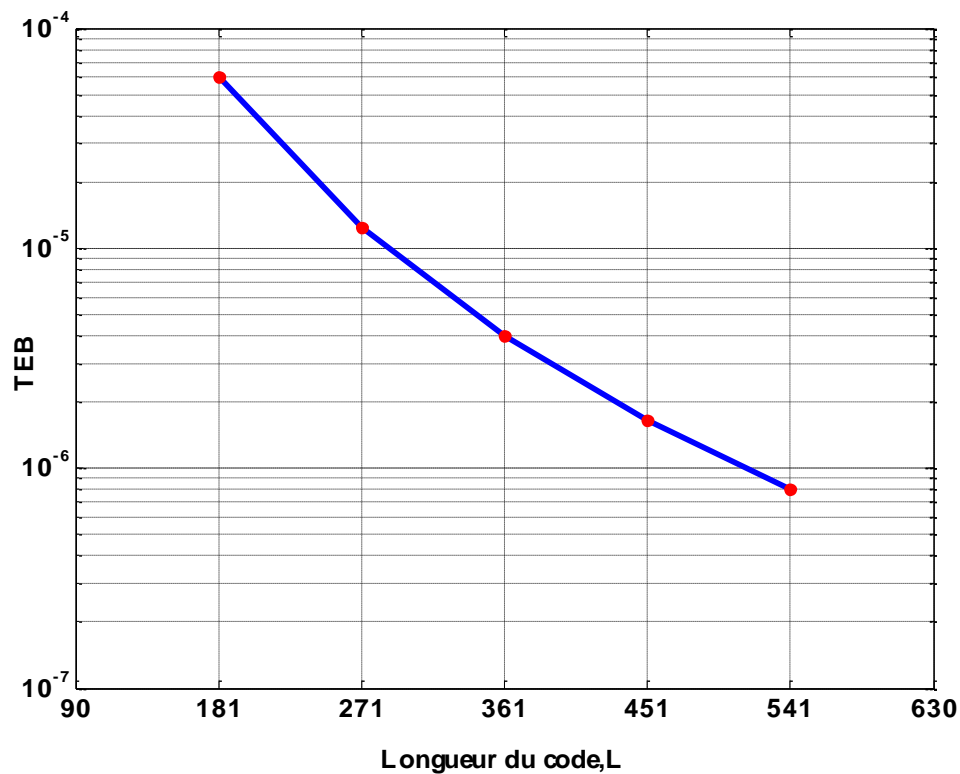
- la valeur de la longueur d'étalement temporel des codes  $L$ .
- la valeur du poids du code  $W$ .
- le nombre d'utilisateurs  $N$  qui communiquent simultanément.

Pour évaluer l'impact de chacun de ces paramètres sur les performances du RC, nous avons tracé :

Sur la figure III.2 l'évolution du TEB pour différentes valeurs de la longueur de code  $L$ ,  $W=4$  et  $N=8$ .

Sur la figure III.3 l'évolution du TEB pour différentes valeurs du poids du code  $W$ , pour  $L=361$  et  $N=8$ .

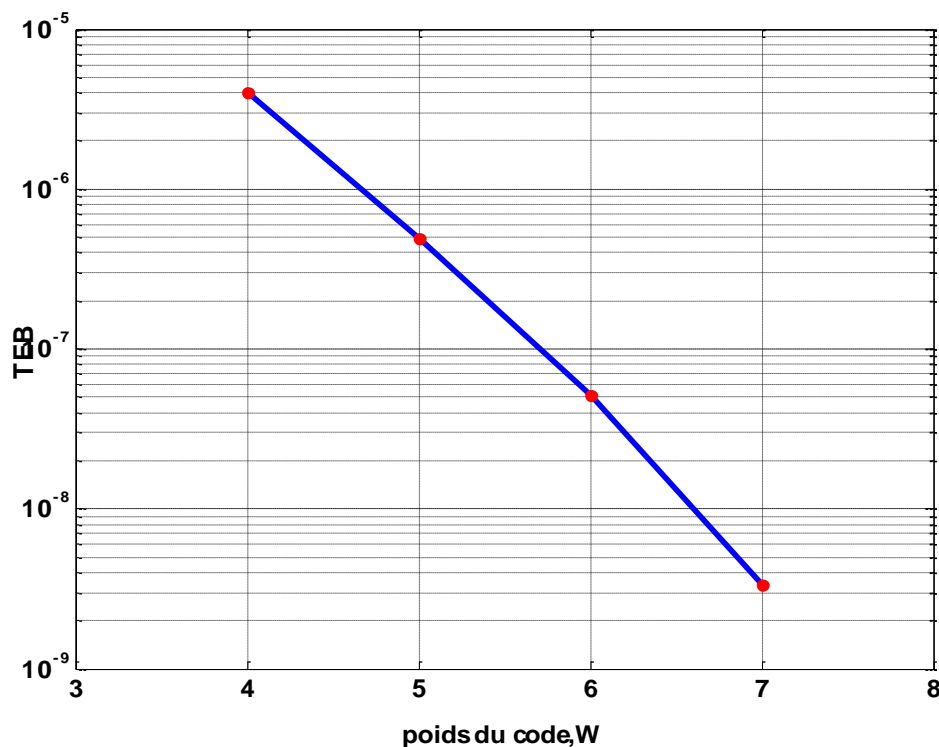
Sur la figure III.4 l'évolution du TEB pour différentes valeurs du nombre d'utilisateurs  $N$ , pour  $L=361$  et  $W=4$ .



**Figure III. 2: Probabilité d'erreur du RC pour un code OOC ( $L, 4, 1, 1$ ) avec  $N=8$  utilisateurs**

La Figure III. 2 illustre le tracé de probabilité d'erreur en fonction de la longueur du code  $L$ . Nous pouvons remarquer que plus la longueur de code  $L$  augmente, plus la probabilité d'erreur diminue. Ce résultat s'explique par le fait que la probabilité que deux codes aient un chip unité en commun (donc qu'il puisse y avoir de l'IAM), est inversement proportionnelle à

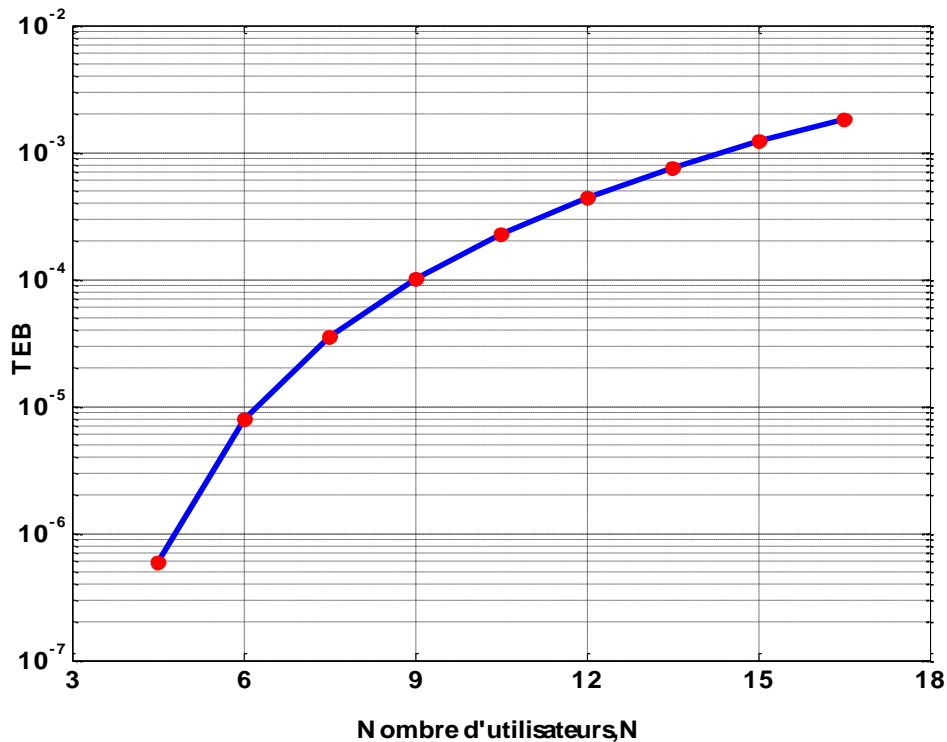
la longueur du code  $L$ . Ainsi, plus  $L$  augmente, moins il y a d'IAM, donc les performances sont meilleures.



**Figure III. 3: Probabilité d'erreur du RC pour un code OOC (361, W, 1,1) avec N=8 utilisateurs, pour S=W**

La figure III.3 montre la probabilité d'erreur en fonction du poids de code  $W$ , pour un seuil variable fixé au poids (seuil optimal).

Le fait que le seuil de détection optimal est égal au poids la probabilité d'erreur diminue, malgré l'augmentation du poids, et l'augmentation de l'IAM. Ceci est dû au fait que plus le seuil de décision est grand, plus il y a d'interférents, donc moins il est probable d'avoir des combinaisons conduisant à une erreur. Ainsi, malgré l'augmentation d'IAM, l'augmentation du poids permet, avec l'utilisation du seuil optimal d'améliorer les performances.



**Figure III. 4: Probabilité d'erreur du RC pour un code OOC (361, 4, 1,1) avec N utilisateurs, pour S=4**

La figure III.4 montre la probabilité d'erreur en fonction du nombre d'utilisateurs  $N$ . Nous remarquons que plus le nombre d'utilisateurs qui communiquent de manière simultanée augmente, plus les performances se dégradent. En effet, nous avons vu que dans le cas d'un système optique incohérent, les familles de code utilisées ne peuvent pas être orthogonales. Cette limitation fait que chaque utilisateur communiquant en même temps que l'utilisateur désiré peut interférer sur la variable décisionnelle de ce dernier. Par conséquent, plus le nombre d'utilisateurs augmente, plus l'interférence augmente et donc plus les performances se dégradent.

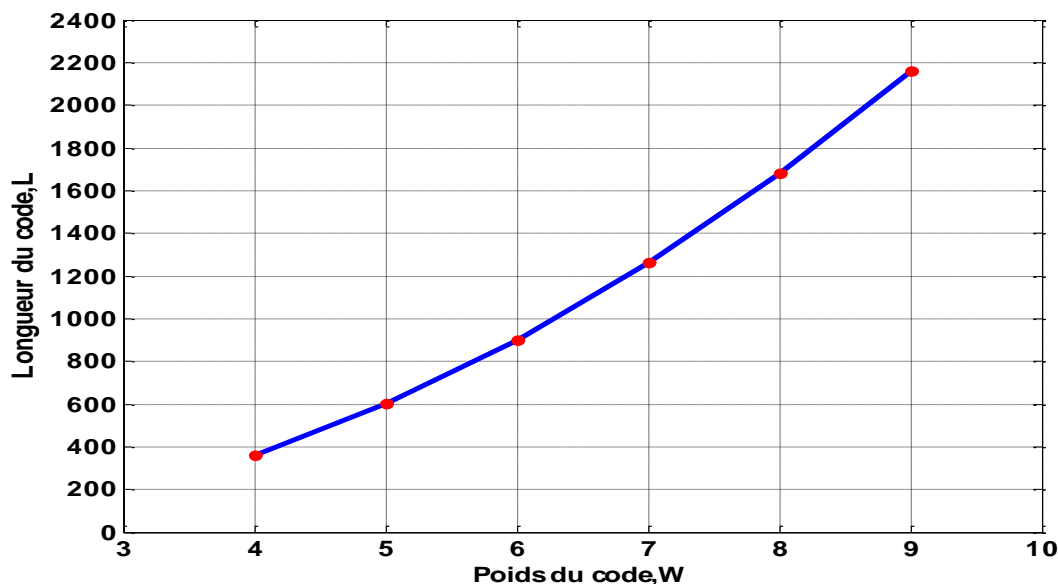
On peut donc conclure que les performances du RC s'améliorent si ces conditions sont vérifiées :

- \*  $S=W$
- \* la longueur de code  $L$  soit la plus grande possible
- \* le poids de code  $W$  soit le plus grand possible
- \* utilisée moins d'utilisateurs  $N$ .

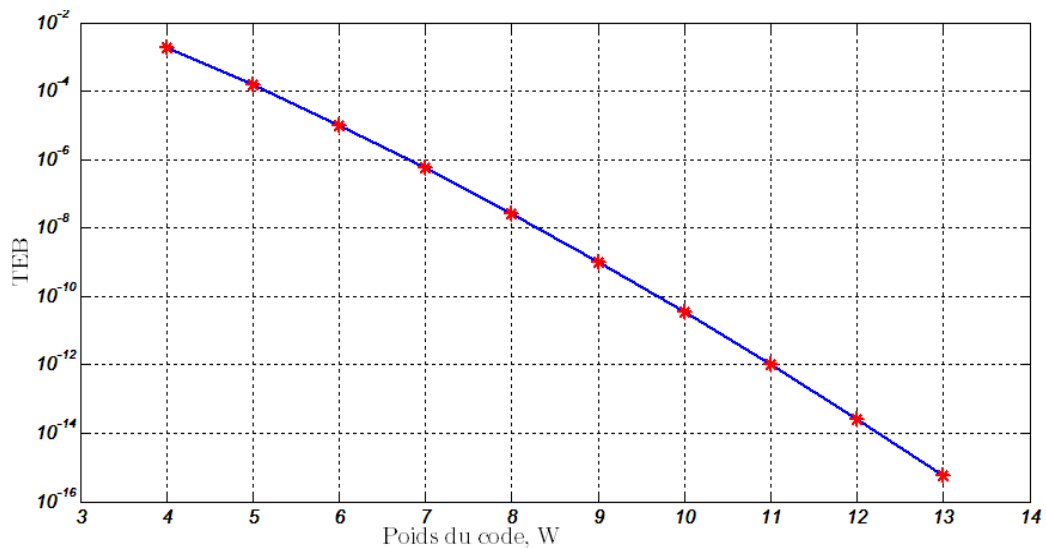
La première condition est la plus facile à réaliser car il n'y a pas de contrainte pour fixer la valeur du seuil à une valeur particulière. A l'inverse, les 3 conditions suivantes sont plus problématiques car :

- Une augmentation de la longueur d'étalement temporel  $L$  va limiter les débits proposés. En effet, si on considère une bande passante électronique  $B$ , le débit par utilisateur est égal à  $D = \frac{B}{L}$ . Par conséquent, augmentation de  $L$  améliore les performances mais diminue le débit offert à chaque utilisateur.
- une augmentation du poids  $W$  implique d'une part une augmentation de nombre de longueur de code. L'utilisation d'un nombre de longueur plus élevé rend le système plus complexe à mettre en œuvre.
- la diminution du nombre d'utilisateurs. Or dans le cadre de l'accès multiple (OCDMA), nous voulons au contraire pouvoir faire communiquer simultanément un nombre d'utilisateurs le plus grand possible.

En conséquence, nous avons essayé de déterminer s'il existait des codes permettant d'obtenir une performance fixée pour un nombre d'utilisateurs donné. Comme la contrainte sur la longueur du code est déterminante pour la réalisation pratique du système, nous cherchons les codes optimaux ayant la longueur la plus faible possible. Pour définir ces codes optimaux, nous avons tracé la longueur d'étalement minimale requise permettant à 30 utilisateurs de communiquer simultanément dont le TEB n'excède pas  $10^{-9}$ , en fonction du poids  $W$ .



**Figure III. 5: Longueur minimale requise d'un OOC ( $L, W, 1,1$ ) pour avoir un TEB fixé pour  $N=30$  utilisateurs, pour un seuil optimal  $S=W$**



**Figure III. 6: La probabilité d'erreur,  $P_{eRC}$ , en fonction du poids de code,  $W$ , pour OOC ( $L, W, 1,1$ ) et  $N=30$  et avec un seuil de détection  $S$  optimal.**

La figure III.6 illustre le taux d'erreurs TEB d'un code OOC ( $L, W$ ) pour un nombre d'utilisateurs fixé  $N = 30$ . Cette figure nous permet d'obtenir le code minimale permettant d'obtenir une performance de  $10^{-9}$  est le code ( $L=2161, W=9$ ).

Comme on peut remarquer que plus le TEB est faible, plus la longueur de code et le poids sont importants. Cependant, on peut observer que cette recherche des codes optimaux est importante, car elle permet de réduire de façon significative la longueur et le poids du code.

En suivant le même principe, on calcule le code minimal pour une performance de  $10^{-9}$  pour d'autres valeurs de  $N$ :

- ❖ Pour  $N=10$  : ( $L=561, W=8$ ).
- ❖ pour  $N=15$  : ( $L=1081, W=9$ ).
- ❖ pour  $N=20$  : ( $L=1441, W=9$ ).
- ❖ pour  $N=25$  : ( $L=1801, W=9$ ).

### III.2.2 Performances avec récepteur conventionnel avec limiteur (HL-RC)

#### III.2.2.1 Probabilité d'erreur du HL-RC [8][1]

##### Probabilité d'erreur du HL-RC pour des codes de $\lambda_c=1$

Comme pour le récepteur conventionnel, nous supposons que l'émission des données est équiprobable. De plus, pour les mêmes raisons que précédemment, le récepteur ne peut faire des erreurs dans le cas sans bruit que si la donnée émise est un 0. Par conséquent, l'expression de la probabilité d'erreur théorique s'écrit :

$$P_{eRC} = \frac{1}{2} P(\hat{b}_i^{(1)} = 1/b_i^{(1)} = 0) \quad (\text{III. 18})$$

Lorsque l'utilisateur désiré a envoyé un 0, nous avons montré qu'une erreur se produit s'il existe parmi les  $W$  chips unité du code de l'utilisateur désiré, au moins  $S$  chips contenant au moins une interférence. Cette interférence peut être générée par les  $(N-1)$  utilisateurs non-désirés.

Un chip unité particulier du code de l'utilisateur désiré subira une interférence si un utilisateur non désiré ayant envoyé un '1' possède un chip unité à la position du chip unité considéré de l'utilisateur désiré.

En considérant que  $R_c$  est la probabilité qu'un utilisateur non-désiré ait un chip en commun avec un chip donné de l'utilisateur désiré, alors la probabilité qu'un utilisateur interfère sur ce chip est  $(R_c/2)$ .

Donc la probabilité que  $(\hat{b}_i^{(1)} = 1/b_i^{(1)} = 0)$  du HL-RC est :

$$P_{eHL-RC} = \frac{1}{2} C_W^S \times \prod_{i=0}^{S-1} \left(1 - \left(1 - \frac{R_c}{2}\right)^{N-1-i}\right) \quad (\text{III. 19})$$

Avec  $R_c$  la probabilité que le chip considéré de l'utilisateur désiré soit en commun avec un chip de l'utilisateur non-désiré.

#### **Application aux OOC (L, W, 1,1)**

Pour les codes OOC (L, W, 1,1), on a  $R_c = \frac{w^2}{L}$

En conséquence, on obtient la probabilité d'erreur du HL-RC pour un code OOC

(L, W, 1,1) :

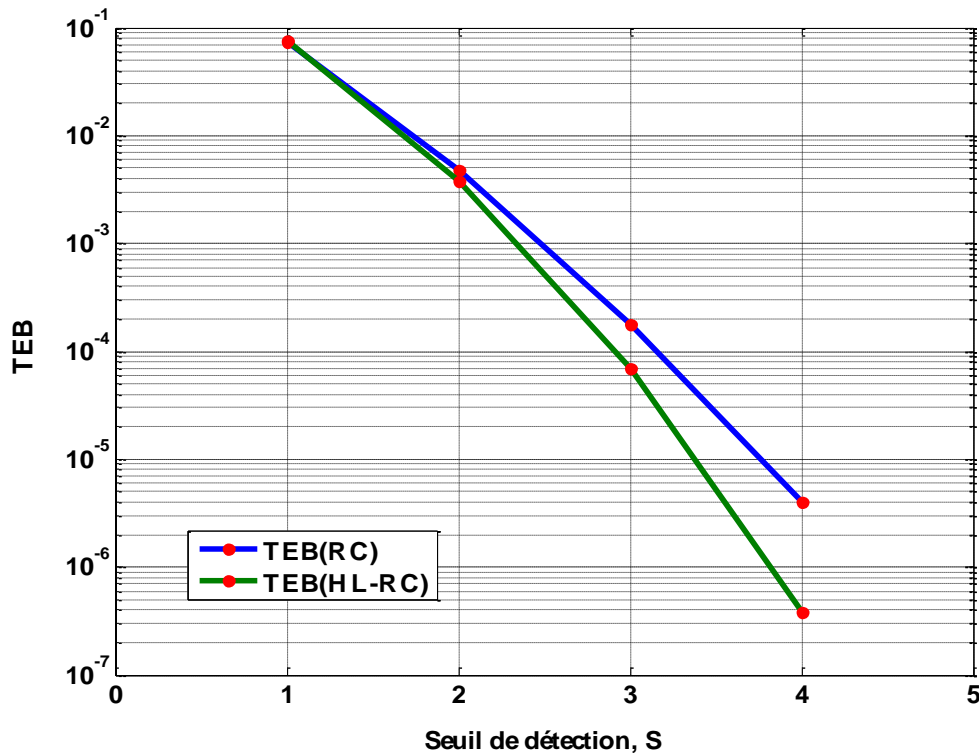
$$P_{eHL-RC} = \frac{1}{2} C_W^S \times \prod_{i=0}^{S-1} \left(1 - \left(1 - \frac{w^2}{2L}\right)^{N-1-i}\right) \quad (\text{III. 20})$$

### **III.2.2.2 Performances des codes dans le système DS-OCDMA incohérent utilisant le récepteur HL-RC**

#### **III.2.2.2.1 Performances des OOC (L, W, 1,1)**

Afin de pouvoir étudier les variations théoriques de la probabilité d'erreur du HL-RC, nous vérifions tout d'abord que le seuil optimal  $S$  est égal à  $W$ . Pour cela, nous avons tracé la figure III.7 qui représente la probabilité d'erreur pour le récepteur conventionnel (RC) et le récepteur conventionnel avec limiteur optique (HL-RC) pour le code OOC (361, 4, 1,1) avec

$N = 30$  utilisateurs, en fonction du seuil  $S$  variant de 1 à 4 par pas de 1.



**Figure III. 7: La probabilité d'erreur,  $P_{eRC}$  et  $P_{eHL-RC}$ , en fonction du seuil  $S$  pour le code OOC (361, 4, 1,1)**

On remarque que la valeur la plus faible du TEB ( $\approx 5 \cdot 10^{-7}$ ) est obtenue pour  $S=4$ . Donc  $S=W=4$  est bien la valeur entière optimale du seuil du HL-RC.

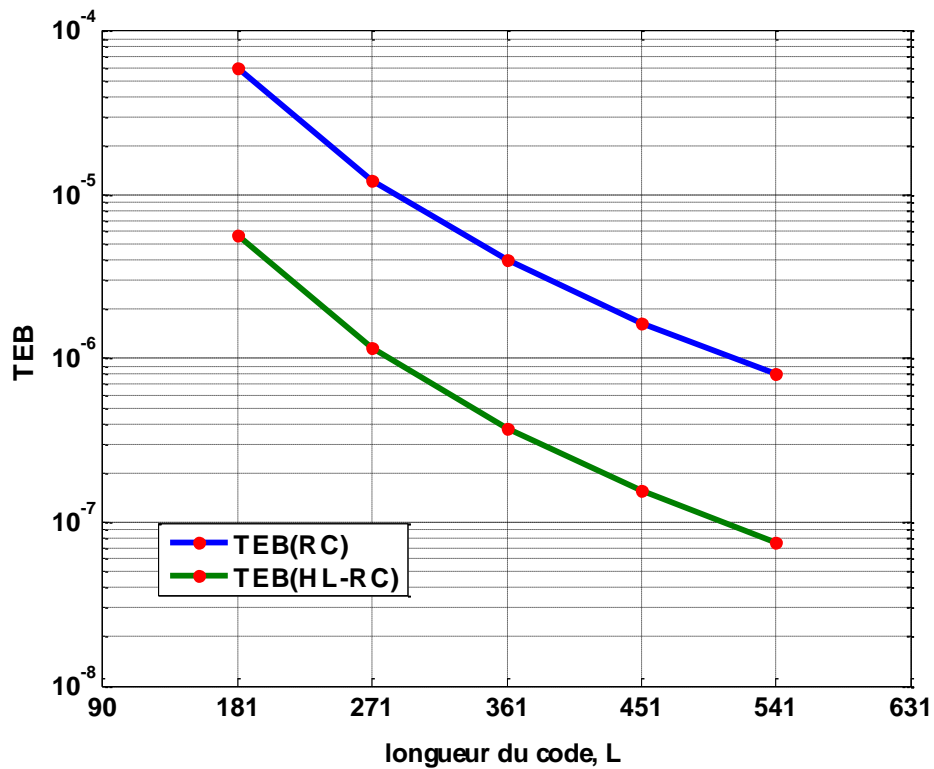
Nous pouvons observer que le seuil optimal du récepteur conventionnel avec limiteur est inchangé ( $S=W=4$ ) puisque le limiteur ne modifie pas la nature du récepteur. Il permet seulement d'éliminer certains motifs d'interférence.

Pour le cas  $S=1$ , les deux courbes de probabilité  $P_{eRC}$  et  $P_{eHL-RC}$  sont confondues donc le limiteur n'a aucun effet pour ce cas.

Lorsque le seuil  $S$  augmente et le nombre de motifs d'interférence possibles pour générer une interférence  $I_1$  égale à  $S$  augmente ( $C_W^S$ ), l'utilisation d'un limiteur optique permet de réduire le nombre de ces motifs en limitant la valeur de l'interférence à 1. On constate donc une amélioration des performances avec le récepteur conventionnel avec limiteur (HL-RC) par rapport au récepteur conventionnel (RC) d'autant plus grande que  $S$  est grand.

Afin de pouvoir estimer le gain en performance apporté par le HL-RC, nous avons tracé pour les 2 récepteurs:

- Figure III.8, l'évolution des performances théoriques en fonction de la longueur du code  $L$ , pour  $W=4$  et  $N=8$ .
- Figure III.9, l'évolution des performances théoriques en fonction du poids du code  $W$ , pour  $L=361$  et  $N=8$ .
- Figure III.10, l'évolution des performances théoriques en fonction du nombre d'utilisateurs  $N$ , pour  $L=361$  et  $W=4$ .



**Figure III. 8: TEB des codes OOC ( $L, 4, 1, 1$ ) avec  $N=8$  utilisateurs, pour un seuil optimal  $S=4$**

Nous comparons les deux types de récepteur, en faisant varier la longueur  $L$  du code OOC ( $L, 4, 1, 1$ ) pour le seuil optimal  $S = W = 4$ . D'après la figure ci-dessus, le récepteur avec limiteur HL-RC permet d'obtenir de meilleures performances que le récepteur conventionnel RC, lorsque les seuils considérés sont optimaux. Ceci est dû à la capacité du HL de supprimer certains motifs d'interférence.



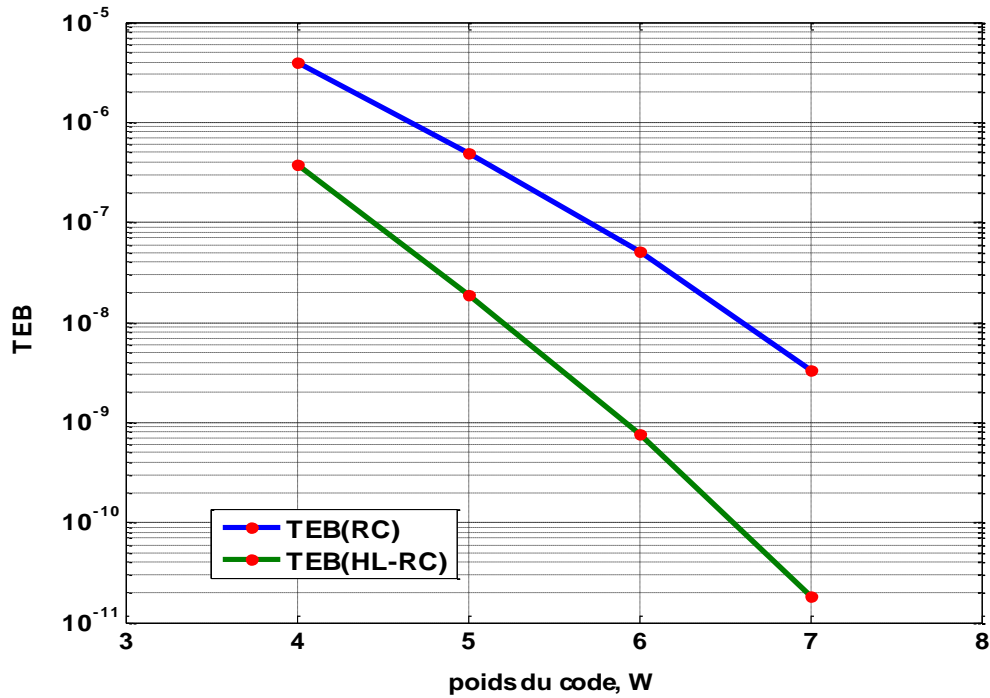


Figure III. 9: La probabilité d’erreur  $P_{eRC}$  et  $P_{eHL-RC}$ , en fonction du poids de code pour un code OOC (361, W, 1) et N=8

La Figure III. 9 représente la probabilité d’erreur pour les deux récepteurs en fonction du poids du code OOC (361, W, 1,1) pour un nombre d’utilisateurs N=8. Le récepteur conventionnel avec limiteur optique améliore les performances quelque soit le poids W.

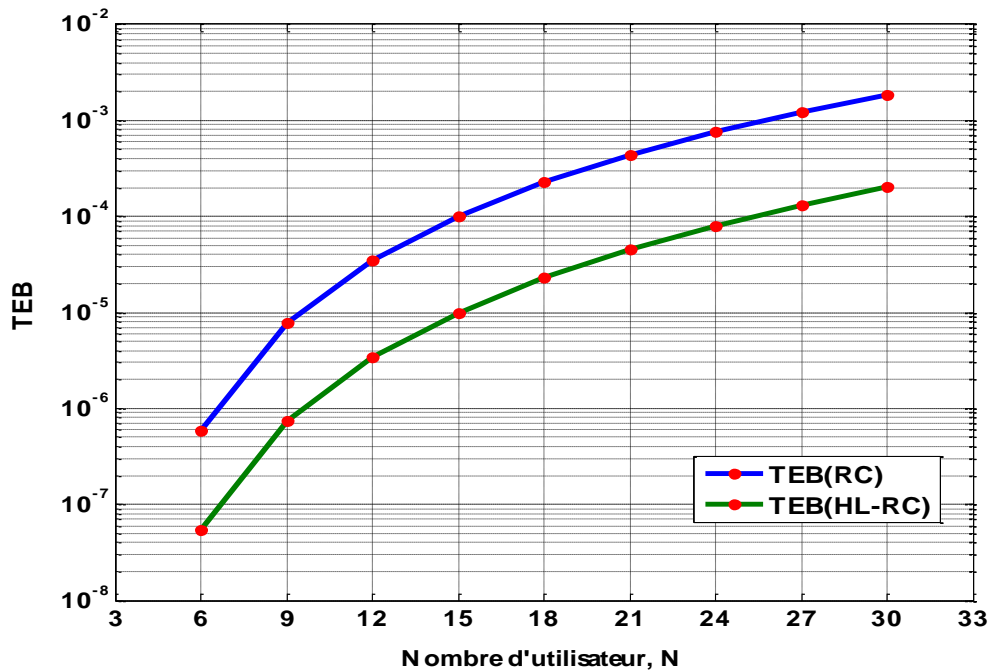


Figure III. 10: TEB des codes OOC (361, 4, 1,1) avec N utilisateurs, pour un seuil optimal S=4

La figure III. 10 représente la probabilité d'erreur pour les deux récepteurs en fonction du nombre d'utilisateurs qui communiquent simultanément.

Nous remarquons sur cette figure que dans les deux cas, la probabilité d'erreur augmente avec l'augmentation du nombre d'utilisateurs à cause de l'interférence d'accès multiple (IAM). On constate que l'utilisation de récepteur conventionnel avec limiteur optique améliore les performances dans tous les cas.

Pour terminer la comparaison entre les structures RC et HL-RC, on détermine le code minimal permettant d'obtenir une performance inférieure à  $10^{-9}$ , et on calcule le débit. Les résultats sont présentés dans le tableau III.1 :

Nombre d'utilisateur		10	15	20	25	30
RC	code	(8x561)	(9x1081)	(9x1441)	(9x1801)	(9x2161)
	débit	17.8 Mb/s	9.2 Mb/s	6.9 Mb/s	5.5 Mb/s	4.6 Mb/s
HL-RC	code	(7x421)	(7x631)	(8x1121)	(8x1401)	(8x1681)
	débit	23.7 Mb/s	15.8 Mb/s	8.9 Mb/s	7.1 Mb/s	5.9 Mb/s

**Tableau III.1: Paramètres des codes (W x L) et débits D permettant différents nombre d'utilisateurs N de communiquer à un  $TEB \leq 10^{-9}$  pour les récepteurs RC, HL-RC.**

Nous pouvons remarquer que pour chacune des structures de réception, plus le nombre d'utilisateurs actifs augmente plus les paramètres de codes doivent être élevés. Par conséquent les débits sont plus faibles.

On constate que l'utilisation du HL permet de réduire de façon significative les paramètres des codes optimaux, puisque quelque soit le TEB considéré, la réduction concerne à la fois la longueur du code et le poids. Ainsi, le HL prouve son efficacité à améliorer les performances de la liaison en supprimant une partie de l'IAM présente dans le signal reçu, pour permettre la réduction des paramètres de code.

**III.3 Conclusion**

Nous avons présenté dans ce chapitre la partie de réception des données. Dans cette partie, nous avons étudié les différents types de récepteurs ; le récepteur conventionnel par corrélation (RC) et le récepteur conventionnel avec limiteur (HL-RC) et leurs processus d'extraire les données transmises par les utilisateurs de réseaux, nous avons présenté les performances des codes OOC avec les deux récepteurs , on a fait une étude paramétrique comparative entre les deux récepteurs en fonction de la longueur du code  $L$ , du poids  $W$  du code et du nombre  $N$  d'utilisateurs a été réalisée.

# *Chapitre 4*

## *Réseaux CDMA-FTTH*

### 1V.1 Introduction

FTTX (Fiber To The X terminal) consiste à amener la fibre optique au plus près de l'utilisateur, afin d'augmenter la qualité de service (en particulier le débit) dont celui-ci pourra bénéficier.

Le débit fourni via une fibre optique est indépendant de la distance, alors que le débit fourni via les derniers mètres (ou hectomètres) de cuivre dépend de la longueur de la paire de cuivre (affaiblissement du signal).

En pratique, si la longueur de cuivre résiduelle est inférieure à 1 km, le client peut bénéficier du très haut débit.

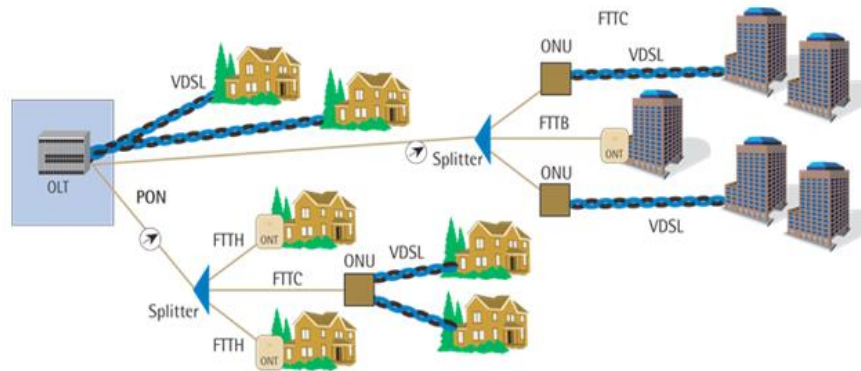
Les opérateurs de télécommunication tentent donc de raccourcir le plus possible la paire de cuivre existante qui raccorde leur clients à leur réseau.

Ce quatrième chapitre est consacré à l'étude de la solution FTTH. Dans une première section nous sommes intéressés à l'architecture du réseau FTTH ainsi que les composants passifs du réseau FTTH. Nous terminons cette étude par une configuration de OLT et ONT dans un réseau FTTH.

### IV.2 Définition FTTX [17]

Les fibres optiques peuvent être déployées selon diverses topologies FTTx où la variable x décline le niveau plus ou moins profond de déploiement de la fibre optique vers l'utilisateur final :

- FTTN (N = Node) : la fibre optique jusqu'à un nœud du réseau.
- FTTC (C = Curb) : la fibre optique s'arrête à l'armoire de sous-répartition. A partir de ce point, les clients pourraient être raccordés en VDSL, sur les fils de cuivre de la boucle locale.
- FTTB (B = Building) : la fibre se termine au pied d'immeuble. Pour effectuer le raccordement terminal des clients, on peut utiliser soit un câble Ethernet, soit la terminaison en cuivre traditionnelle.
- FTTH (H = Home) : la fibre optique jusqu'à l'abonné, donc FTTH permet de bénéficier de tous les avantages techniques de la fibre sur l'intégralité du réseau jusqu'à l'abonné.



**Figure IV.1 : Topologie FTTH**

### IV.3 Architecture FTTH [18]

Le réseau FTTH (Fiber to the Home), ce qui signifie « Fibre optique jusqu'au domicile », est un réseau de télécommunications physique qui permet notamment l'accès à internet à très haut débit et dans lequel la fibre optique se termine au domicile de l'abonné.

Le réseau FTTH est composé d'un certain nombre d'éléments qui peuvent être classés en trois catégories :

- Infrastructure : composée notamment des fourreaux, des chambres, des armoires de rue et des locaux techniques,
- optique passive : composants passifs du réseau et qui comportent notamment les fibres optiques, les boîtiers et les baies de brassage,
- optique active : composants consommateurs en courant électrique et qui comportent notamment les systèmes émetteurs et récepteurs.

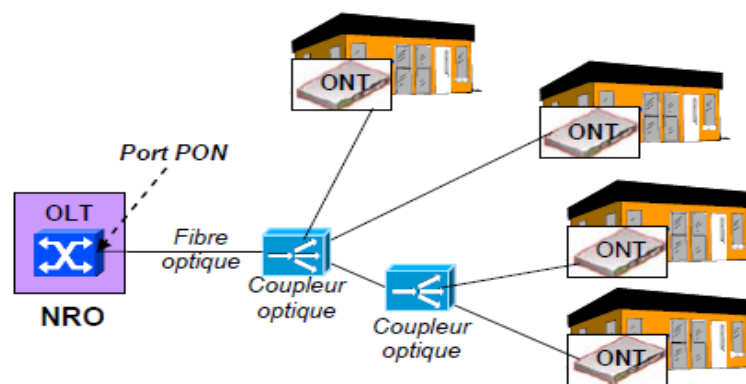
L'architecture FTTH généralement retenue par les opérateurs est une architecture PON (Passive Optical Network). Le PON est une architecture point à multipoints basée sur les éléments suivants :

- Une infrastructure en fibres optiques partagée. L'utilisation de coupleurs optiques dans le réseau est à la base de l'architecture et de l'ingénierie de déploiement. Les coupleurs sont utilisés pour desservir plusieurs zones ou plusieurs abonnés.
- Un équipement de centre faisant office de Terminaison Optique de Ligne (OLT : Optical Line Termination) [19]. L'OLT gère la diffusion et la réception de flux à travers des interfaces réseaux et a pour finalité de recevoir des signaux de la part des clients ainsi que de leur diffuser des contenus basés sur des

services spécifiques (par exemple triple Play). Architecturés autour de cartes, il gère un certain nombre d'abonnés et leur permet l'accès à des débits spécifiques.

- Des équipements d'extrémité:
  - ONT (Terminaisons de Réseau Optique) dans le cas où l'équipement est dédié à un client et où la fibre arrive jusque le client. Il s'agit alors d'une architecture de type FTTH (Fiber To The Home). Il n'y a qu'une seule fibre par client (les signaux sont bidirectionnels).
  - ONU (unité de réseau optique) dans le cas de réseaux FTTB.

Le schéma ci-dessous permet de visualiser le principe et les différents éléments constitutifs d'un réseau PON.



**Figure IV.2: différents éléments constitutifs d'un réseau PON.**

- A noter que la derrière appellation PON se cache toute une série de variantes basées sur des protocoles différents :

- B-PON (Broadband Passive Optical Network) peut monter jusqu'à des débits de 1Gb/s dans le sens descendant et 622Mb/s dans le sens remontant mais son utilisation est usuellement vue pour des débits de 622Mb/s descendant et 155Mb/s remontant.

- E-PON (Ethernet Passive Optical Network) présente un débit symétrique maximal de 1,25Gb/s par port, partagé pour un maximum de 64 abonnés, et disposant d'une portée d'environ 20 km.

- G-PON (Gigabit Passive Optical Network) autorise un débit maximal de 2,5 Gb/s (sens descendant) et 1,25 Gb/s (sens montant) par port, partagé pour un maximum de 64 abonnés, sur une distance de 60 km.

A titre d'exemple, Algérie Télécom a opté pour la technologie de type G-PON.

La technologie future et qui reste encore à standardiser, bien que déjà implémentée dans les réseaux hauts débit longues distances est la CDMA-PON qui se base sur le PON avec une couche de multiplexage en code.

#### IV.4 Structure de réseau FTTH [20]

Le déploiement d'une boucle locale en câbles en fibre optique est structuré autour de plusieurs nœuds et répartiteurs, dans ce qui suit on présente les principales règles d'ingénieries à appliquer lors du dimensionnement des réseaux d'accès FTTH. Le dimensionnement des réseaux en fibre optique comprend le dimensionnement des différents nœuds (NRO, SRO, PBO, etc.) et des liaisons de transport et de distribution entre ces nœuds.

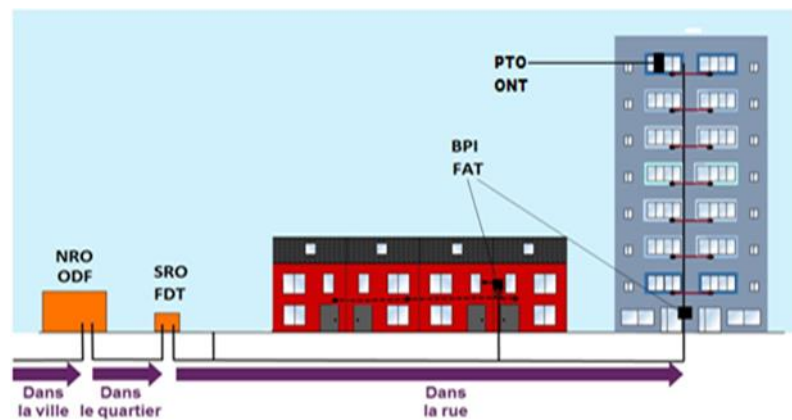


Figure IV.3 : composants passifs du réseau FTTH.

##### IV.4.1 Prise Terminale Optique (PTO)

La Prise Terminale Optique PTO relie l'abonné au point de branchement (BPI) par un câble de branchement mono-fibre ou bi-fibre en fonction de la catégorie de l'abonné à desservir.



Figure IV.4 : Prise Terminal Optique.



#### IV.4.2 Point d'éclatement du câble (PEC)

Le PEC a pour rôle d'optimiser et d'apporter de la flexibilité au réseau FTTH. Il est placé dans une chambre, à proximité des immeubles, le PEC permet d'éclater un câble optique en 8 afin de desservir plusieurs immeubles.



Figure IV.5: Point d'éclatement.

#### IV.4.3 Sous répartiteur optique (SRO)

Le sous-répartiteur optique SRO est une armoire de rue similaire aux sous-répartiteurs utilisés au niveau des réseaux téléphoniques. Il regroupera un nombre entier de point d'éclatement de câble (PEC) et il représente un point de convergence des infrastructures génie civil.



Figure IV.6: Sous Répartiteur Optique SRO.

#### IV.4.4 Boîtier Pied de l'Immeuble (BPI)

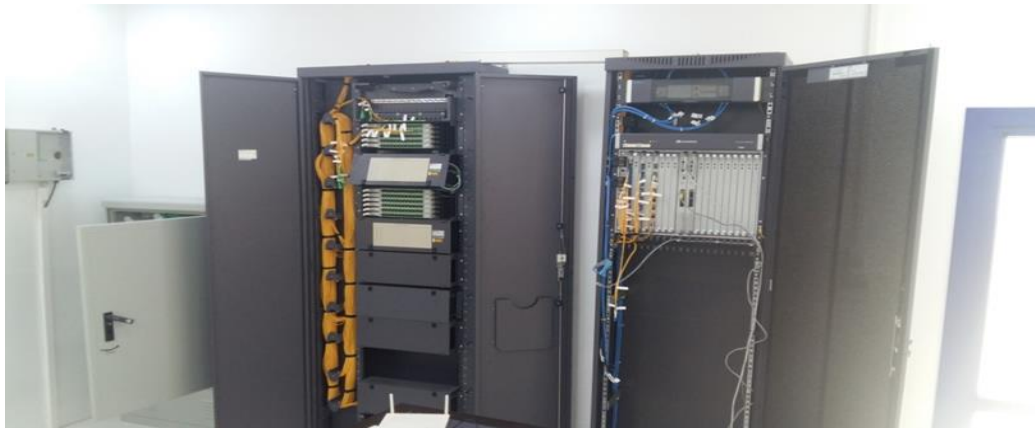
Situé généralement en pied d'immeuble, ce boîtier permet le raccordement des câbles venant de l'extérieur et ceux de la colonne montante où se trouvent les points de branchement qui desservent ensuite chaque logement.



**Figure IV.7: Boitier pied de l'immeuble BPI.**

#### **IV.4.5 Nœud raccordement optique (NRO)**

Le nœud de raccordement optique est le point de départ des liens optiques vers les utilisateurs. Ce nœud doit être dimensionné pour héberger les répartiteurs optiques. NRO peut avoir une capacité de distribution jusqu'à 50000 FO.



**Figure IV.8: Nœud raccordement optique NRO**

#### **IV.4.6 Les splitters**

Dans une architecture FTTH au niveau des SRO et BPI on utilise des splitters où il y a plusieurs modèles :



Figure IV.9 :Splitters.

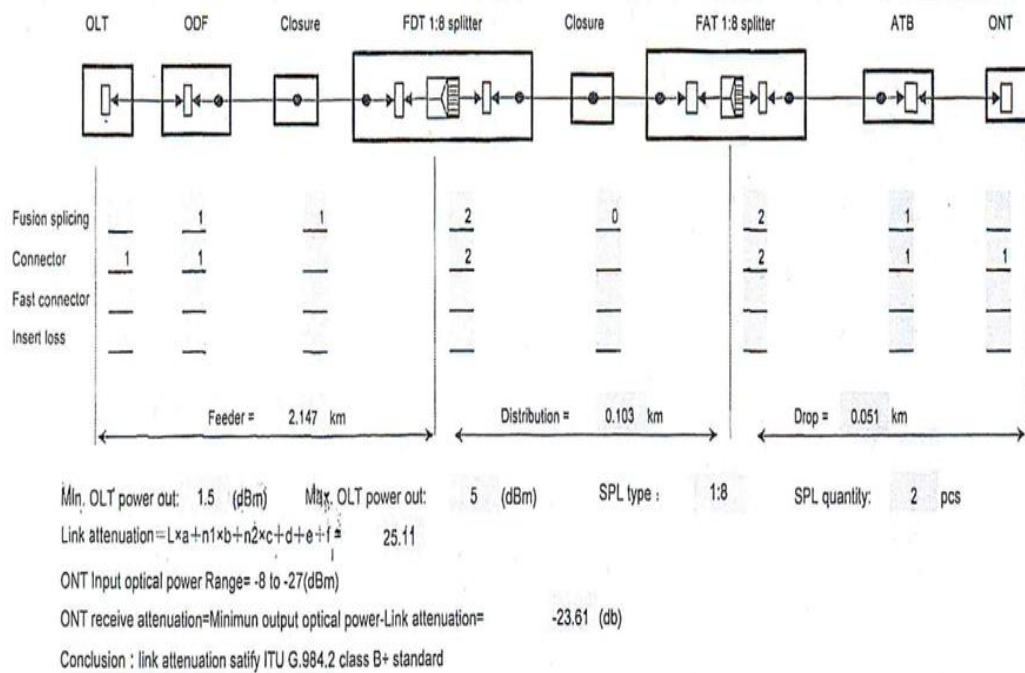
#### IV.5 Deploiement de la Solution FTTH [17]

Dimensionner un réseau FTTH , c'est déterminer la capacité de l'équipement actif (OLT) ainsi que les distances des liaison optiques ainsi que les composants passifs du réseau (NRO, SRO, BPI..) en respectant le seuil d'atténuation.

##### IV.5.1 Le bilan optique

La fin d'installation de notre système FTTH,il faut vérifier les performances de la liaison optique jusqu'à la prise terminale optique en calculant l'atténuation générale de cette liaison en utilisant le Bilan optique (méthode utilisée par les technicien de Algérie télécom).Chaque composant a une atténuation qui sont cité dans la figure IV.10 .

Le but de ses calculs est d'assurer que le système respecte le seuil d'atténuation vers le client final qui ne dépasse pas -27db.



Optical power attenuation in ODN link

No.	Name	Type	Attenuation (dB)	Unit loss (dB)
1	Optical cable (G.652D)	1310 nm optical cable (db/km)	0.35	0.80535
		1490 nm optical cable (db/km)	0.22	0.50622
		1550 nm optical cable (db/km)	0.2	0.4602
		1625 nm optical cable (db/km)	0.24	0.55224
2	Connector type	Fusion splicing	0.1	0.7
		Connector	0.3	2.4
		Fast connector	0.5	0
		Insert loss	1	0
3	Splitter type	1:64	20.5	0
4		1:32	17	0
5		1:16	13.8	0
6		1:8	10.6	21.2
7		1:4	7.5	0
8		1:2	3.8	0

$L \times a$  : link attenuation ( a: optical cable loss/km, L: optical cable length )  
 $n1 \times b$  : total fusion splicing loss ( b : unit fusion splicing loss, n1 : adaptor quantity)  
 $n2 \times c$  : total faster loss ( c : unit faster loss, n2 : mechanical splicing quantity)  
d : total insert loss  
e : total splitter loss  
f : Spare link budget

Note: Please fill the relevant information on blue part table

Figure IV.10: Bilan Optique.

#### IV.6 Mise en service de la solution FTTH [17]

Cette partie de notre travail exposera la mise en service de la solution FTTH Huawei, à savoir la configuration au niveau de l'équipement OLT. Ceci me permettra de détailler les différentes étapes de la configuration des services offerts par le FTTH

##### Méthodes de configuration

Pour configurer l'OLT MA5800, on distingue 2 méthodes principales :

##### - Configuration via le port console

Cette configuration consiste à connecter un câble serial au port console de la carte MPL et à utiliser un outil d'accès (Putty,Hyperterminal,SecureCRT...)de Windows pour la configuration.

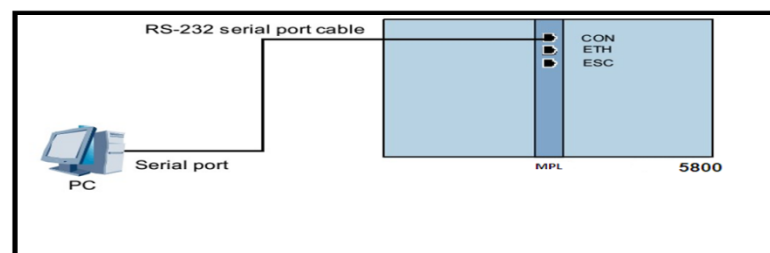


Figure IV.11: La configuration de l'OLT via le port serial local

##### - Configuration via le port ETH

Cette méthode consiste à relier le port ETH (Ethernet) et un ordinateur personnel par un câble réseau RJ45. Il faut s'assurer que l'adresse IP de l'interface METH du port ETH et l'adresse IP du PC sont situées dans le même sous-réseau.

L'adresse IP METH par défaut de l'OLT est : 10.11.104.2 et le masque 255.255.255.0

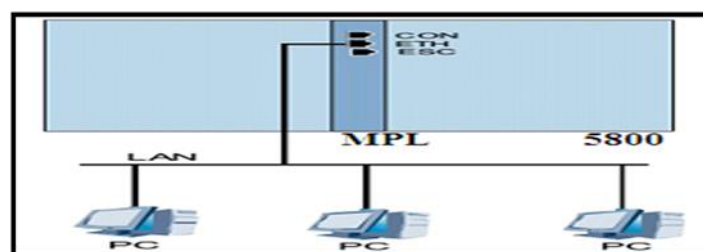


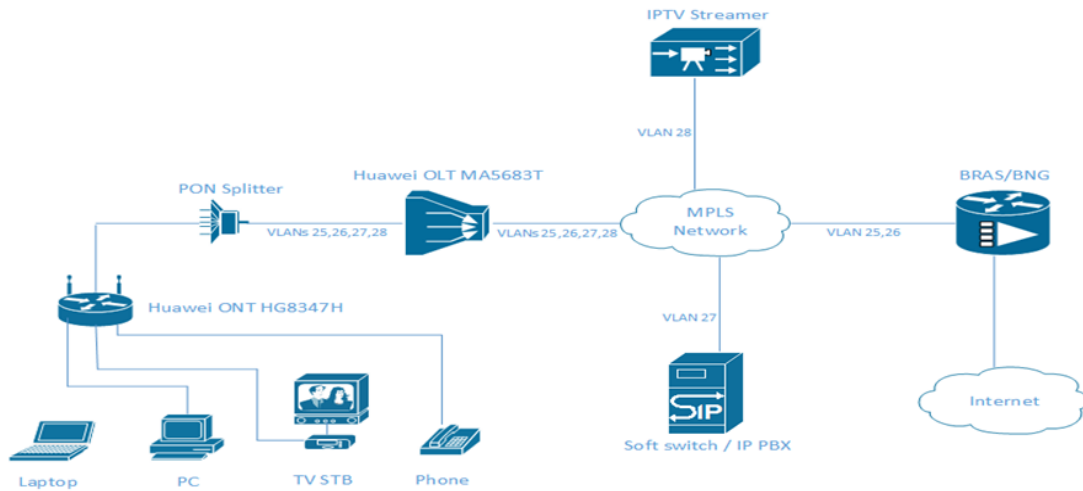
Figure IV.12: La configuration de l'OLT 5800 via le port ETH

#### IV.7 Préparation de l'environnement de configuration [17]

L'étape qui suit l'installation de l'OLT et l'ajout des différentes cartes est la configuration des services sur la carte de contrôle MPL.

Avant toute configuration il faut préparer le data-plan qui contient les différents VLANs et adresses IP qui seront utilisés par la suite, après il faut relier l’OLT au cœur du réseau (IP/MPLS) via des ports situés au niveau des cartes uplink/ downlink (slot 9 et slot 10).

**IV.7.1 Scénario d’une solution FTTH**



**Figure IV.13 : Scénario d’une solution FTTH**

**VLAN Plan**

Vlan 25 – Management

Vlan 26 – Internet service

Vlan 27 – VOIP service

Vlan 28 – IPTV service

Service type	802.1p Priority	GEM port	T-CONT	DBA type
Management	6	11	4	Type 3
VOIP	5	12	4	Type 3
IPTV	4	13	4	Type 3
Internet	0	14	4	Type 3

**Tableau IV 1: services offert chez l’abonné FTTH**

**IV.7.2 Les étapes de configuration côté OLT**

Dans cet exemple,nous avons configuré juste le management ainsi que les services Internet et voix

1. Ajout VLANs aux Uplink port
2. Ajout traffic tables for each service

3. Ajout DBA profile
4. Ajout ONT line profile
5. Ajout ONT service profile
6. Ajout ONT service ports pour chaque service (Internet/voix)

**1) Ajout des VLANs aux Uplink port**

Se connecter à l'OLT via la console ou telnet et faire la commande suivante : display board 0.

```

NGCOM-OLT#display board 0
-----
SlotID  BoardName  Status          SubType0 SubType1  Online/Offline
-----
0       H807GPBD   Normal
1
2
3
4
5
6       H802SCUN   Standby_normal
7       H802SCUN   Active_normal
8       H801GICF   Normal
9       H801GICF   Normal
10
11
12
-----
    
```

**Figure IV.14: Ajout des VLANs aux Uplink port**

Dans ce cas la carte du slot 9 est active, pour vérifier quel port uplink on fait display board 0/9

```

NGCOM-OLT#display board 0/9
-----
Board Name      : H801GICF
Board Status    : Normal
-----

Power Status    Power-off cause      Power-off Time
-----
POWER-ON       -                    -
-----

Port  Port Optic  Native  MDI   Speed  Duplex  Flow-  Active  Link
   Type Status  VLAN   (Mbps)
-----
0    GE  normal    1  auto  auto_100  auto_full  off  active  online
1    GE  absence   1  -     auto     auto      off  active  offline
-----

Port  Detecting Time(Min)  TX State  Auto-sensing
-----
0     -                  -         -
1     -                  -         -
-----
    
```

**Figure IV.15 : Vérification du port Uplink**

Le port GE 0 est up, on crée les VLANs

```
NGCOM-OLT(config)#vlan 25 to 27 smart
```

```
NGCOM-OLT(config)#vlan desc 25 description MANAGEMENT
```

```
NGCOM-OLT(config)#vlan desc 26 description INTERNET
```

```
NGCOM-OLT(config)#vlan desc 27 description VOIP
```

Ensuite on ajoute les VLANs au port 0

```
NGCOM-OLT(config)#port vlan 25 to 27 0/9 0
```

## 2) Ajout de trafic table pour chaque service

Création de trafic table pour le service Internet sous le nom Internet selon la priorité indiquée dans QoS plan :

```
NGCOM-OLT(config)#traffic table ipname INTERNET cir off priority 0 priority-policy local-Setting
```

Création de trafic table pour le service Voix sous le nom VOICE selon la priorité indiquée dans le QoS plan :

```
NGCOM-OLT(config)#traffic table ipname VOICE cir off priority 5 priority-policy local-Setting
```

## 3) Création de DBA profile

On crée une DBA profil pour les différent type de services, le Profile Name sera fth\_dba type 3 avec une bande passante assure de 8 mbps et un maximum de 100 mbps

```
NGCOM-OLT(config)#dba-profile add profile-namefth_dba type3 assure 8192 max 102400
```

## 4) Création de l' ONT line profile

```
NGCOM-OLT(config)#ont-lineprofilegpon profile-name fth
```

```
NGCOM-OLT(config-gpon-lineprofile-1)#tcont 4 dba-profile-name fth_dba
```

### Création des ports GEM pour les services selon le Data plan

```
NGCOM-OLT(config-gpon-lineprofile-1)#gem add 12 ethtcont 4
```

```
NGCOM-OLT(config-gpon-lineprofile-1)#gem add 14 ethtcont 4
```

### Mapper chaque GEM avec le Vlan approprié

```
NGCOM-OLT(config)#ont-lineprofilegpon profile-namefth
```

```
NGCOM-OLT(config-gpon-lineprofile-1)#gem mapping 12 1 vlan 27
```

```
NGCOM-OLT(config-gpon-lineprofile-1)#gem mapping 14 3 vlan 26
```

```
NGCOM-OLT(config-gpon-lineprofile-1)#commit
```

```
NGCOM-OLT(config-gpon-lineprofile-1)#quit
```



### 5) Création de l'ONT service profile

Création de l'ONT service profile sous le nom FTTH pour le modèle de l'ONT (dans notre cas c'est un modèle avec 4 Ethernet et 2 ports téléphones)

```
NGCOM-OLT(config)#ont-srvprofilegpon profile-nameftth
```

```
NGCOM-OLT(config-gpon-srvprofile-1)#ont-port eth adaptive pots adaptive
```

```
NGCOM-OLT(config-gpon-srvprofile-1)#commit
```

```
NGCOM-OLT(config-gpon-srvprofile-1)#quit
```

### 6) Ajout de l'ONT à l'OLT

Supposons que le numero de serie de l'ONT du client est 4857544326A5EB34, raccordé au port GPON concerné 0/0/0 ( port 0 de la carte GPON 0)

en utilisant line profile ftth et le service profile ftth (en assignant ID 7 pour cet ONT)

```
NGCOM-OLT(config)#interface gpon 0/0
```

```
NGCOM-OLT(config-if-gpon-0/0)#ont add 0 7 sn-auth 4857544326A5EB34 omci ont-lineprofile-nameftth ont-srvprofile-nameftthdesc NGCOM_ONT
```

### 7) Configuration de ONT service ports pour chaque port

#### Pour le service Internet

```
NGCOM-OLT(config)#service-port 1000 vlan 26 gpon 0/0/0 ont 7 gempport 14 multi-service user-vlan 26 inboundtraffic-table name HSI outboundtraffic-table name INTERNET
```

#### Pour le service Voix

```
NGCOM-OLT(config)#service-port 2000 vlan 27 gpon 0/0/0 ont 7 gempport 12 multi-service user-vlan 27 inboundtraffic-table name VOICE outboundtraffic-table name VOICE
```

## IV.7.3 Les étapes de Configuration côté client ONT

### 1. Configuration du service Internet

Connecter le PC à l'ONT du client vers l'adresse 192.168.100.1 (l'adresse de la carte réseau doit être de la plage 192.168.100.X/24).

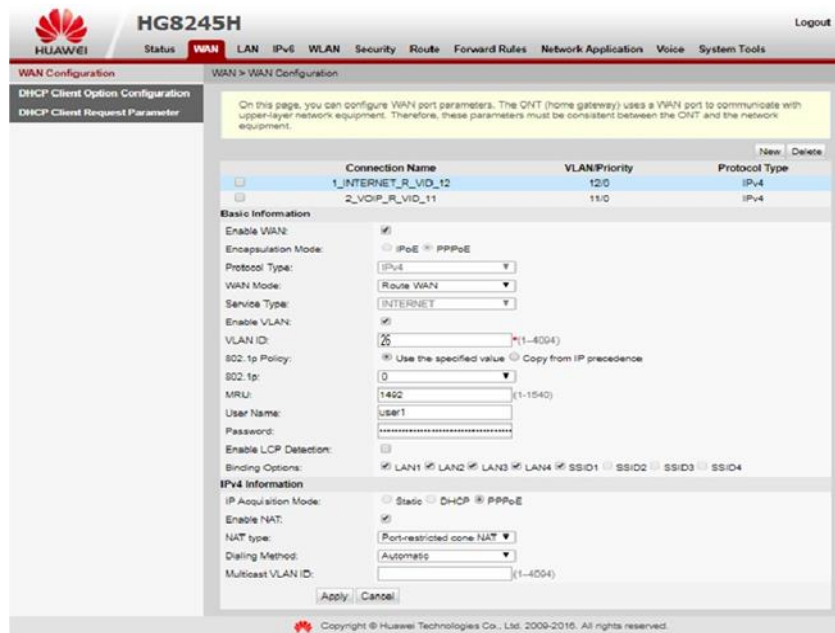


Figure IV.16: Configuration du service Internet.

## 2- Configuration du service Voix

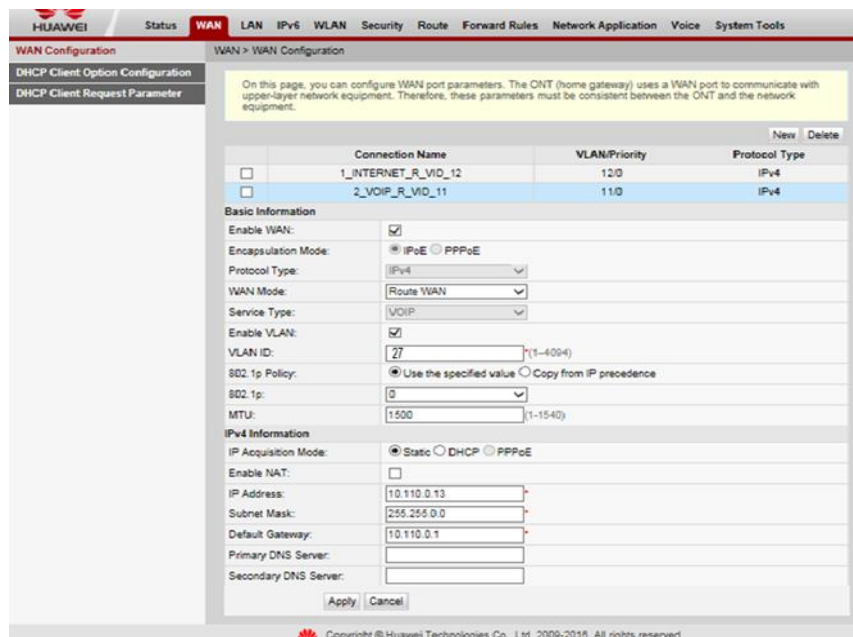


Figure IV.17: Configuration du service voix.

**IV.8 Conclusion**

Dans ce travail, nous avons fait une description détaillée de la topologie du réseau FTTH et à quel point une étude préalable était nécessaire à la réalisation d'un projet d'installation FTTH. Ensuite, nous avons déroulé l'architecture et les différentes étapes de réalisation d'un réseau en précisant combien il est important de respecter les consignes pour réussir une bonne installation.

A la fin, nous avons mis en service la solution FTTH et la configuration aux niveaux de L'OLT et L'ONT.

# *Conclusion Générale*

## Conclusion Général

---

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressé à la technique d'accès multiple par répartition de code CDMA, Le support essentiel de transmission considéré étant la fibre optique, nous parlons alors de la technique OCDMA qui représente une des solutions possible pour le partage des ressources dans les réseaux optiques. Pour ces besoins de transmission optique, il est également nécessaire de s'intéresser aux différentes techniques d'accès multiples exploitées dans les domaines radiofréquence et optique.

Notre étude se focalise sur l'évaluation des performances d'une liaison CDMA optique incohérent à séquence directe (DS-OCDMA) dont les données à transmettre sont étalées en temps. Les séquences de codes utilisés dans ce cas sont des codes unipolaires quasi-orthogonaux, ce qui permet d'avoir des produits d'inter-corrélation non nuls. L'interférence d'accès multiple (IAM) représente une des principales limitations de la CDMA optique. Nous avons ensuite effectué une analyse théorique d'une liaison CDMA optique incohérente à séquence directe. Pour un système optique incohérent, les deux familles de codes optiques unipolaires orthogonales les plus utilisés OOC (Optical Orthogonal Code) et PC (Prime Code) sont détaillés. Différents types de récepteurs ont été étudiés dans le but de traiter de l'IAM dans la partie réception: le récepteur conventionnel (RC), le récepteur conventionnel avec limiteur (HL-RC). Nous avons tout d'abord développé l'expression théorique approchée de la probabilité d'erreur de ces récepteurs pour les codes unipolaires dont l'inter-corrélation est égale à 1, et nous avons fait une simulation qui nous a permis de valider et de comparer les résultats sur le taux d'erreur TEB, sachant que la chaîne de transmission DS-OCDMA ne possède que des composants idéaux. Cette étude a permis de vérifier que, la structure de réception HL-RC est nettement plus avantageuse que le RC. En effet, de nombreux paramètres tels que : le nombre d'utilisateurs par service, les performances, les débits ainsi que le nombre de services pouvant être transmis simultanément sont augmentés lorsqu'un HL-RC est utilisé. L'objectif principal étant de définir une liaison de référence DS-OCDMA permettant de fixer le débit maximal et vérifiant les contraintes du système.

Finalement, une étude détaillée sur la solution FTTH où nous allons aborder tous les points clés de cette nouvelle technologie qui est déployée par l'opérateur de télécommunication ALGERIE TELECOM

Actuellement les travaux s'orientent essentiellement vers des Recherches de codes (1D ,2D voir 3D) présentant un compromis en termes de taille de capacité de multiplexage et critère de corrélation, et de récepteurs simples, performants et adaptés aux codes construits.

## **BIBLIOGRAPHIE**

1. BOUDAOU RADHWANE, «CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PERFORMANCES ET LIMITATIONS D'UNE LIAISON CDMA OPTIQUE HAUT DEBIT», DIPLOME DE MAGISTER EN TELECOMMUNICATIONS FACULTE DE TECHNOLOGIE,2010.
2. YOUNES ZOUINE, «CONTRIBUTION PAR LA SIMULATION SYSTEME A L'ETUDE DES CONTRAINTES DES COMPOSANTS OPTOELECTRONIQUES SUR LA TRANSMISSION OPTIQUE UTILISANT LA TECHNIQUE CDMA» THESE,L'UNIVERSITE DE LIMOGES, 2005.
3. NAUFAL M. SAAD «CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'APPLICATION DE LA TECHNIQUE CDMA AUX SYSTEMES DE TRANSMISSION OPTIQUE», THESE, L'UNIVERSITE DE LIMOGES,2005.
4. IHSAN FSAIFES, « ENCODAGE ET DECODAGE TEMPORELS "TOUT-OPTIQUE" A RESEAUX DE BRAGG POUR L'ACCES MULTIPLE», THESE, TELECOM PARIS 2007.
5. MIKAËL MORELLE,« CODAGE EN 2 DIMENSIONS POUR LES SYSTEMES DE COMMUNICATIONS OPTIQUES CDMA(OCDMA)' APPLICATION AUX TRANSMISSIONS MULTIMEDIA'», THESE,L'UNIVERSITÉ DE LIMOGES,2008.
6. MOUNIA LOURDIANE, «CDMA A SEQUENCE DIRECTE APPLIQUE AUX COMMUNICATIONS OPTIQUES», THESE, TELECOM PARIS, 2005.
7. STEEVY CORDETTE, « CONTINUUM DE FREQUENCES OPTIQUES POUR APPLICATION OCDMA» THESE, TELECOM PARIS,2010.

## **BIBLIOGRAPHIE**

---

8. BOURAGAA MOUWEFEK RESEAU OOC OPTIQUE DIPLOME DE MAGISTER EN TELECOMMUNICATIONS FACULTE DE TECHNOLOGIE,2010.
9. ANDONOVIC, I.; TANCEVSKI, L; "INCOHERENT OPTICAL CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS SYSTEMS" IEEE 4TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VOLUME 1, 22-25 SEPT. 1996 PAGE(S):424 – 430.
10. JAWAD.A.SALEHI, "CODE DIVISION MULTIPLE-ACCESS TECHNIQUES IN OPTICAL FIBER NETWORKS - PART I:FUNDAMENTAL PRINCIPLES" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 37, PP. 824-833,OUT. 1989.
11. J.A. SALEHI AND C.A. BRACKETT." CODE DIVISION MULTIPLE-ACCESS TECHNIQUES IN OPTICAL FIBER NETWORKS-PART II ': SYSTEMS PERFORMANCE ANALYSIS. IEEE TRANS. ON COMM., 8(37):834–842, MARS 1989.
12. S.M. JOHNSON." A NEW UPPER BOUND FOR ERROR-CORRECTING CODES." IRE TRANS. ON INF.THEORY, 8(3):203–207, AVRIL 1962.
13. H. CHUNG AND P. KUMAR, " OPTICAL ORTHOGONAL CODES – NEW BOUNDS AND AN OPTIMAL CONSTRUCTION ", IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, VOL. 36, PP. 866-873, JUIL 1990.
14. S. ZAHEDI AND JAWAD.A.SALEHI, "ANALYTICAL COMPARISON OF VARIOUS FIBER-OPTIC CDMA RECEIVER STRUCTURES," IEEE JOURNAL OF LIGHT WAVE TECHNOLOGY, VOL. 18, PP. 1718-1727, DEC. 2000.
15. J-J. CHEN ET AL, "CDMA FIBER OPTIC SYSTEMS WITH OPTICAL HARD LIMITER", JOURN, OF LIGHT TECHNO, VOL 19, N°7, PP 950-958, JUIL 2001.
16. J.-J. CHEN AND G.-C. YANG, "CDMA FIBER-OPTIC SYSTEMS WITH OPTICAL HARD LIMITERS," IEEE JOURNAL OF LIGHT WAVE TECHNOLOGY, VOL. 19, PP. 950-958, JUIL 2001.

## **BIBLIOGRAPHIE**

---

17. AYAD HANANE DEPLOIEMENT DE LA SOLUTION FTTX MEMOIRE, DIPLOME DE TECHNICIEN SUPERIEURE EN TELECOMMUNICATION INSTITUT NATIONAL SPECIALISE DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE Tlemcen 2015/2018.
18. AT FTTX PROJECT QUALITY HANDBOOK FTTH AUTHOR
19. ALGERIA TELECOM FTTX PROJECT DESIGN STANDARD HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.
20. ALGERIA TELECOM FTTX PROJECT ODN PRODUCT.
21. ALGERIA TELECOM FTTX PROJECT SURVEY TRAINING.
22. AT FTTX PROJECT QUALITY HANDBOOK FTTB-COPPER INSTALLATION AUTHOR.



## Résumé

La technique de CDMA optique permet le partage des ressources et données dans les réseaux de télécommunications optiques de manière simultanée et asynchrone.

L'intérêt de la CDMA optique réside dans l'utilisation d'une large bande passante sur le support de transmission qui est la fibre optique.

La transmission des données dans une liaison de CDMA optique peut introduire plusieurs limitations, comme l'interférence d'accès multiple (IAM). Ce dernier est dû aux produits d'inter-corrélation non nuls des codes utilisés.

Notre travail a pour objectif l'évaluation des performances d'une liaison CDMA optique incohérent à séquence directe (DS-OCDMA) en utilisant des codes optiques orthogonaux (OOC), et en traitant l'effet de l'interférence d'accès multiple (IAM).

Une étude détaillée sur les réseaux de télécommunications optiques a été menée, avec une description de la DS-OCDMA.

La mise en œuvre d'une liaison CDMA optique a été réalisée à l'aide du logiciel de simulation MATLAB avec une évaluation de ses performances.

MOTS CLES : MATLAB – Réseaux optique - CDMA optique - codes optiques orthogonaux (OOC) - DS-OCDMA-Interférence d'accès multiple (IAM).

## Abstracts

The technique of optical CDMA allows the division of resources and data in the telecommunications networks optical, in a simultaneous and asynchronous way.

The interest of the optical CMDA is in the use of a broad band-width on the support of transmission which is the optical fiber.

The transmission of the data in an optical CDMA connection, can be introduce many limitations that the interference of multiple accesses (IAM), which is result by the products of inter correlation not nulls of the codes used.

In our work the objective is the evaluation of performance of an incoherent connection CDMA optical with direct sequence (DS-OCDMA) using the optical orthogonal codes (OOC), and treat the effect of the interference of multiple access (IAM).

A detailed study of the telecommunications networks optical was being done, with a description of DS-OCDMA.

The implementation of an optical connection CDMA was be realized by using the software of simulation MATLAB with an evaluation of its performances.

KEY WORD: MATLAB-Optical CDMA- Optical network-Optical Orthogonal Codes (OOC)- DS-OCDMA - interference of multiple access (IAM).

## ملخص

تقنية CDMA البصرية

تسمح بتقسيم الموارد و البيانات في شبكات الاتصالات البصرية في وقت واحد و بشكل متزامن

فائدة استعمال CDMA البصرية

تتمثل في استخدام عرض النطاق الترددي بشكل واسع على طول الناقل المستعمل الذي هو الالياف البصرية

العمل الذي قمنا يهدف الى تقييم اداء الرابطة DS-OCDMA بصري غير متجانس ذو تسلسل مباشر

يستعمل شفرات بصرية متعامدة (OOC)، مع ذلك قمنا بدراسة اثر التداخل

بالوصول المتعدد (IAM).

دراسة شاملة لشبكات الاتصالات البصرية تم القيام بها مع شرح مفصل لتقنية DS-OCDMA

وضع تطبيقي لرابطة DS-OCDMA بصري غير متجانس ذو تسلسل مباشر تم انجازه بمساعدة

برنامج المحاكاة MATLAB مع تقييم اداء لهذا الرابطة DS-OCDMA

مصطلحات: MATLAB\_ CDMA البصرية

شبكات الاتصال البصرية DS-OCDMA - شفرات بصرية متعامدة (OOC)

اثر التداخل بالوصول المتعدد (IAM)