

**UNIVERSITE D'ANTANANARIVO**  
-----  
**ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE**  
-----  
**DEPARTEMENT TELECOMMUNICATION**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

en vue de l'obtention  
du DIPLOME D'INGENIEUR

*Spécialité* : Télécommunications  
*Option* : Radiocommunications

*par* : ALSON Lionel

**INTERFACAGE DES SYSTEMES CELLULAIRES CDMA  
AVEC LA TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE**

Soutenu le 30 janvier 2007 devant la Commission d'Examen composée de :

Président :

Monsieur RAZAKARIVONY Jules

Examinateurs :

Monsieur RANDRIANTSIRESY Ernest

Monsieur RANDRIARIJAONA Lucien Elino

Monsieur RASAMOELINA Jacques Nirina

Directeur de mémoire :

Monsieur RATSIHOARANA Constant.

## **REMERCIEMENTS**

Cet ouvrage n'a pas pu être réalisé que grâce à Dieu tout puissant et à la contribution des personnes suivantes à qui je tiens mes vifs remerciements.

Monsieur RAMANATSIZEHENNA Pascal, Professeur titulaire et Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA).

Monsieur RANDRIAMITANTSOA Paul Auguste, Professeur et chef de département Télécommunication à l'ESPA.

Monsieur RAZAKARIVONY Jules, Enseignant chercheur au sein du Département Télécommunication à l'ESPA, qui nous fait l'honneur de présider le Jury de ce mémoire.

Monsieur RATSIHOARANA Constant, Enseignant chercheur au sein du département Télécommunication à l'école supérieure polytechnique d'Antananarivo et Directeur de ce mémoire, qui m'a prodigué ses conseils et suggestions tout au long de ce travail de mémoire. Je tiens à lui adresser toute ma gratitude.

Monsieur RANDRIANTSIRESY Ernest, Enseignant chercheur au sein du Département Télécommunication à l'ESPA, membre du Jury.

Monsieur RANDRIARIJAONA Lucien Elino, Enseignant chercheur au sein du Département Télécommunication à l'ESPA, membre du Jury.

Monsieur RASAMOELINA Jacques Nirina, Enseignant chercheur au sein du Département Télécommunication à l'ESPA, membre du Jury.

Mes vifs remerciements s'adressent également à tous les enseignants et personnel de l'école supérieure polytechnique d'Antananarivo en général et à ceux du Département Télécommunication plus particulièrement. Sans leurs efforts, notre formation n'aurait pas pu atteindre cette étape.

Je n'oublierai pas ma famille et mes amis pour leurs soutiens bienveillants et leurs encouragements pour ce mémoire.

Je vous en suis très reconnaissant et que la grâce de Dieu soit avec vous.

## AVANT - PROPOS

La téléphonie marque le développement économique dans un territoire. Elle permet de faciliter la communication entre les êtres humains ainsi que dans la vie des entreprises. Au fil du temps, les utilisateurs des services téléphoniques ont besoin de plus en plus performant système tant en bande passante qu'en capacité avec l'apparition des nouveaux services à part de la téléphonie.

Ce mémoire a pour but de donner une solution afin de satisfaire les besoins des utilisateurs en interfacant deux systèmes performants pour en donner un nouveau plus performant : le système cellulaire CDMA et la transmission par fibre optique.

Avant de lire cet ouvrage, le lecteur doit avoir une connaissance de base sur la télécommunication, sur la théorie de l'information ainsi qu'une capacité de compréhension accrue. Et à la fin de la lecture, le lecteur aura une idée sur les techniques des téléphonies, des transmissions ainsi que sur le fonctionnement de l'interface entre les systèmes cellulaires CDMA et la transmission par fibre optique.

Nous n'avons pas de prétention à l'exhaustivité ou à la perfection, mais vos remarques et suggestions nous seront les bienvenues.



## TABLES DES MATIERES

<b>TABLES DES MATIERES.....</b>	<b>i</b>
<b>NOTATIONS.....</b>	<b>iv</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>

### CHAPITRE I : Généralités sur les transmissions numériques

<i>1. Introduction.....</i>	<i>4</i>
<i>2. Chaîne de transmission.....</i>	<i>4</i>
<i>2.1. Source.....</i>	<i>5</i>
<i>2.2. Codage et Décodage source.....</i>	<i>5</i>
<i>2.3. Codage et Décodage canal.....</i>	<i>5</i>
<i>2.4 Modulateur et démodulateur.....</i>	<i>6</i>
<i>2.5. Canal de transmission.....</i>	<i>7</i>
<i>3. Techniques d'accès.....</i>	<i>8</i>
<i>4. Conclusion.....</i>	<i>10</i>

### CHAPITRE II : Les systèmes CDMA

<i>1. Introduction.....</i>	<i>10</i>
<i>2. Le concept cellulaire.....</i>	<i>10</i>
<i>2.1. Idée générale.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2. Architecture cellulaire.....</i>	<i>10</i>
<i>2.3. Mobilité des abonnés.....</i>	<i>11</i>
<i>3. Concept CDMA.....</i>	<i>12</i>
<i>3.1. Etalement de spectre.....</i>	<i>12</i>
<i>3.1.1 Etalement de spectre par séquence direct.....</i>	<i>12</i>
<i>3.1.2 Etalement de spectre par saut de fréquence.....</i>	<i>13</i>
<i>3.2. Propriétés des codes dans les systèmes DS-CDMA.....</i>	<i>14</i>
<i>3.2.1 Séquence de Walsh.....</i>	<i>14</i>
<i>3.2.2 Séquence Pseudo-Aléatoire PN.....</i>	<i>15</i>
<i>3.2.3 m-séquence.....</i>	<i>17</i>
<i>3.2.4 Séquence de Gold.....</i>	<i>17</i>
<i>3.4. Performances des systèmes DS-CDMA.....</i>	<i>19</i>
<i>4. Conclusion.....</i>	<i>20</i>

### CHAPITRE III : La voie optique

<i>1. Introduction.....</i>	<i>21</i>
<i>2. La fibre optique.....</i>	<i>21</i>
<i>2.1. Les différents types et caractéristiques des fibres optiques.....</i>	<i>21</i>

2.1.1	<i>Les fibres multimodes</i> .....	21
2.1.2	<i>Les fibres monomodes</i> .....	24
2.2.	<b>Les composants optoélectroniques</b> .....	24
3.	<b>Technique d'accès</b> .....	26
3.1.	<b>Accès à répartition de temps</b> .....	26
3.2.	<b>Accès à répartition de code</b> .....	26
3.3.	<b>Accès à répartition de longueur d'onde</b> .....	26
4.	<b>La transmission par Fibre optique</b> .....	27
4.1.	<b>Hiérarchie</b> .....	27
4.2.	<b>Réseau haut débit SDH</b> .....	28
5.	<i>les performances des transmissions par fibre optique</i> .....	30
6.	<i>Conclusion</i> .....	30

## CHAPITRE IV : Interfaçage CDMA/Fibre optique

1.	<i>Introduction</i> .....	33
2.	<i>Interfaçage CDMA-Fibre optique</i> .....	33
2.1	<b>Architecture du système</b> .....	33
2.1.1	<i>Les stations mobiles</i> .....	34
2.1.2	<i>Les station de base BTS</i> .....	34
2.1.3	<i>Les contrôleur de station de base BSC</i> .....	35
2.1.4	<i>Le commutateur</i> .....	35
2.1.5	<i>L'enregistreur de localisation nominale HLR</i> .....	35
2.1.6	<i>Le centre d'exploitation et de maintenance OMC</i> .....	36
2.1.7	<i>L'enregistrement de localisation de visiteur VLR</i> .....	36
2.2	<b>Les canaux d'accès</b> .....	36
2.2.1	<i>Canaux de trafic</i> .....	37
2.2.2	<i>Canaux de contrôle</i> .....	37
2.3	<b>Acheminement d'appel</b> .....	38
3.	<i>Fonctionnement de l'interface Optique\Electrique</i> .....	38
3.1	<b>Synoptique de la liaison</b> .....	38
3.2	<b>CDMA vers Fibre optique</b> .....	39
3.2.1	<i>Réception</i> .....	40
3.2.2	<i>Desétalement</i> .....	40
3.2.3	<i>Multiplexage des canaux</i> .....	41
3.2.4	<i>Insertion dans le système de transmission</i> .....	41
3.2.5	<i>Jonction optique</i> .....	44
3.3	<b>Fibre optique vers CDMA</b> .....	44
3.3.1	<i>Jonction électrique</i> .....	44
3.3.2	<i>Extraction des trafics</i> .....	44
3.3.3	<i>Envoie des informations aux utilisateurs</i> .....	45

<b>3.4 Fonctionnements des équipements.....</b>	<b>45</b>
3.4.1 <i>Multiplexeur d'accès.....</i>	45
3.4.2 <i>Brasseur.....</i>	45
3.4.3 <i>Multiplexeur d'insertion/extraction.....</i>	46
3.4.4 <i>Régénérateur.....</i>	46
<b>4. Applications.....</b>	<b>47</b>
4.1. Services multimédias.....	47
4.2. Services de masse.....	47
<b>5. Conclusion.....</b>	<b>48</b>

## CHAPITRE V : Simulation d'une liaison CDMA/Fibre optique

<b>1. Introduction.....</b>	<b>49</b>
<b>2. Description de la simulation.....</b>	<b>49</b>
2.1 Choix des outils de développement.....	49
2.2 Fonctionnement du logiciel.....	50
2.3 Calculs des limites théoriques du système.....	52
2.3.1 <i>Calcul des performances du système CDMA.....</i>	52
2.3.2 <i>Calcul des performances des fibres optiques.....</i>	53
3. Présentation du logiciel.....	54
3.1 Interface d'accueil.....	54
3.2 Changements des paramètres.....	55
3.3 Lecture des résultats obtenus.....	57
<b>4. Conclusion.....</b>	<b>59</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>60</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>67</b>

## NOTATIONS

$f_0$  : Fréquence centrale

$n_1$  : Indice de réfraction d'une fibre optique

$n_2$  : Indice de réfraction de la gaine d'une fibre optique

A : Amplitude

D : Débit binaire

G : Facteur d'étalement

R : Rapidité de modulation

$T_b$  : Durée de deux éléments binaires consécutifs

W : Bande passante du signal large bande

$\varphi$  : Phase

$\Delta t$  : Retard entre la première et la dernière impulsion dans une fibre optique

$\Delta B$  : Débit maximal dans une fibre optique

3G : Troisième génération

ADM : Add Drop Multiplexer

AMPS : Advanced Mobile Phone System

ASK : Amplitude Shift Keying

AU : Administrative Unit

AUG : Administrative Unit General

BSC : Base Station Controller

BTS : Base Transceiver System

CCITT : Consultative Committee for International Telegraph and Telephone

CDMA : Code Division Multiple Access

DEL : Diode Electro-Luminéscente

DL : Diode Laser

DS-CDMA : Direct Sequence CDMA

DSL : Diode Super Luminescente

DSSS : Direct Sequence Spreading Spectrum

DWDM : Dense Wavelength Division Multiple

EDFA : Erbium Doped Fiber Amplifier

FDMA : Frequency Division Multiple Access

FHSS : Frequency Hopping Spreading Spectrum  
FSK : Frequency Shift Keying  
GSM : Global System for Mobile communication  
HLR : Home Location Register  
HO-VC : High Order Virtual Container  
IT: Intervalle de Temps ou Information Type  
LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation  
LO-VC : Low Order Virtual Container  
MAN : Metropolitan Area Network  
MAQ : Modulation d'Amplitude en Quadrature  
MDA : Modulation D'Amplitude  
MDF : Modulation De Fréquence  
MDP : Modulation De Phase  
MIC : Multiplexage d'Impulsion et Codage  
MIE : Multiplexeur à Insertion Extraction  
MSOH : Multiplexeur Section OverHead  
NSS : Network Sub System  
OC : Optical Carrier  
OMC : Operation and Maintenance Center  
ON : Ouverture Numérique  
PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy  
PN : Pseudo Noise  
POH : Path OverHead  
PSK : Phase Shift Keying  
QAM : Quadrature Amplitude Modulation  
RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Service  
RSOH : Regenerator Section OverHead  
RTCP : Réseau Téléphonique Commuté Public  
SDH : Synchronous Digital Hierarchy  
SOH : Section OverHead  
SONET : Synchronous Optical NETwork  
STM : Synchronous Transfert Module

STS : Synchronous Transfert Signal

TDMA : Time Division Multiple Access

TU : Tributary Unit

TUG : Tributary Unit General

UIT-T : Union Internationale des Télécommunications – section télécommunication

UMTS : Universal Mobile Telecommunication System

VC : Virtual Container

VLR : Visitor Location Register

WDM : Wavelength Division Multiplexing

## INTRODUCTION

L'un des principaux services de télécommunications était la téléphonie, c'est à dire, l'échange de parole à distance. Durant des années, on a rencontré des différentes générations de téléphonie commençant par la norme analogique; limitée par un petit nombre d'abonnés et une mauvaise qualité de service comme des coupures de la communication lors de certains déplacements, alors une nouvelle génération a vu le jour. Cette dernière a pu augmenter le nombre d'abonnés et a résolu le problème de qualité de service mais elle n'a pas pu répondre aux besoins des utilisateurs quelques années plus tard, une extension de celle-ci est apparue vers la fin du 20<sup>ème</sup> siècle permettant la commutation de paquet pour augmenter le débit mais ceci ne résolvait pas totalement le problème. Une troisième génération promettait un débit plus ou moins suffisant pour satisfaire les principaux besoins des abonnés. Cette génération utilise le multiplexage CDMA pour que les utilisateurs puissent profiter de la totalité de la bande passante afin d'obtenir le débit utile pour certains services et afin de permettre une grande disponibilité du système, c'est à dire, afin de permettre l'accès d'un grand nombre d'abonnés simultanément.

Etant donné l'importance du débit fourni avec un grand nombre d'utilisateurs pouvant y accéder, le problème se pose alors sur le système de transmission qui utilise aujourd'hui des paires torsadées ou le faisceau hertzien provoquant la saturation du réseau. En effet, tous les signaux hauts débit de tous les utilisateurs dits nombreux transitent sur un même support de transmission, celui-ci devra alors supporter un important volume d'information.

Vu l'évolution technologique qui concerne les fibres optiques permettant de transmettre un grand nombre d'informations, et profitant de l'installation du backbone national en fibre optique actuellement, une idée est apparue pour résoudre le problème cité plus haut participant ainsi à l'amélioration du réseau de télécommunication ici à Madagascar. Depuis quelques années, une nouvelle infrastructure de télécommunication a été installée par le premier opérateur de téléphonie à Madagascar. En généralisant le problème, comment utiliser la fibre optique pour le réseau de transport des systèmes cellulaires CDMA ?

Ce travail a pour but de répondre à cette question, en essayant d'étudier une solution pour interfaçer ce nouveau système à cette nouvelle technologie. Ainsi s'intitule ce mémoire : « *Interfaçage des systèmes cellulaires CDMA avec la transmission par fibre optique* ».

Pour cela, le travail se divise en deux grandes parties : une partie dédiée à l'étude théorique et la seconde partie concerne l'interface proprement dite suivi de l'élaboration d'un logiciel pour simuler les performances du système obtenu.

Trois chapitres sont consacrés dans la première partie pour comprendre le fondement des technologies étudiées. Le premier chapitre généralise le système de communication numérique afin de comprendre les différents blocs de celui-ci. Le deuxième chapitre contient une étude spécialisée sur les systèmes de communication mobile cellulaire ainsi que le principe de base de la technique d'accès à répartition de code dit CDMA. Enfin, le troisième chapitre explique le fonctionnement du support de transmission « *fibre optique* » et la technique utilisée pour le transport des informations dans une boucle numérique SDH.

Le premier chapitre de la deuxième partie donne les principes généraux pour passer du monde électrique vers la transmission optique ainsi que les différents processus pour interfaçer les deux systèmes avec une explication sur les fonctionnements des différents équipements utilisés. Et le dernier chapitre concerne le fonctionnement et une démonstration du logiciel conçu pour simuler la performance du système ainsi obtenu.

## **PREMIERE PARTIE : Etudes théoriques**

# CHAPITRE I : Généralités sur les transmissions numériques

## 1. Introduction

Un système de transmission numérique véhicule l'information entre une source et un destinataire à travers un support physique dit canal de transmission comme un câble, une fibre optique ou encore, la propagation sur un canal radioélectrique. Les signaux transportés peuvent être soit directement d'origine numérique, comme dans les réseaux de données, soit d'origine analogique (parole, image, ...) mais convertis sous une forme numérique. La tâche du système de transmission est d'acheminer l'information de la source vers le destinataire avec le plus de fiabilité possible. Pour ce faire, on a recours à des sous-systèmes ayant des fonctions distinctes dont l'ensemble est appelé : « Chaîne de transmission ».

Dans ce chapitre, on va faire une étude généralisée des systèmes de transmission afin de dégager les principes ainsi que les terminologies utilisées.

## 2. Chaîne de transmission [1][2][6]

Le principe d'une chaîne de transmission numérique est représenté par la figure 1.01. On peut distinguer : la source de message, le milieu de transmission et le destinataire qui sont des données du problème. Le codage et le décodage de source, le codage et le décodage de canal, l'émetteur et le récepteur représentent les degrés de liberté du concepteur pour réaliser le système de transmission.

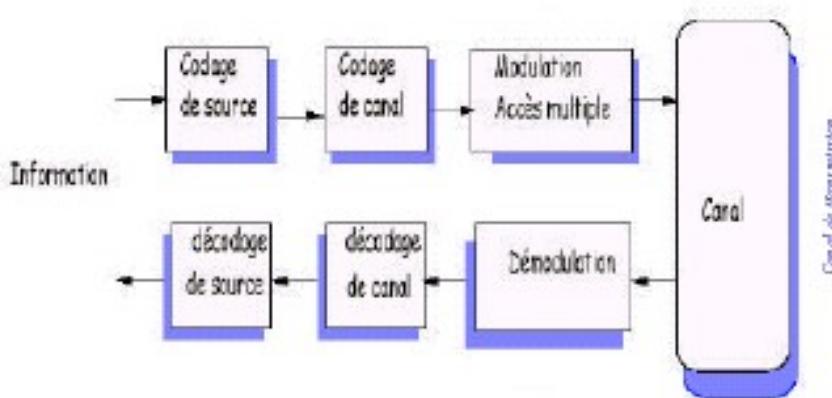


Figure 1.01. : Chaîne de transmission numérique.

Nous allons maintenant décrire de façon succincte les différents éléments qui constituent une chaîne de transmission, en partant de la source de message vers le destinataire.

## 2.1. *Source*

Pour réaliser une transmission numérique, le message à transmettre doit être sous forme numérique. Si la source délivre un message analogique tel que le signal de parole (sortie d'un microphone) ou le signal d'image (sortie d'une camera), il faut le numériser. Le message numérique ainsi obtenu est défini comme une suite d'éléments pouvant prendre une parmi Q valeurs possibles ; on appelle « alphabet » l'ensemble de ces valeurs.

A la réception, le message numérique venant de la source doit être reconstituée comme il était.

## 2.2. *Codage et décodage de source*

Le principe du codage de source consiste à éliminer au maximum la redondance de la source pour que celle-ci s'adapte à la vitesse de transmission permise par le système. Ainsi, après le codage source, certains éléments binaires peu significatifs du message ont été supprimés, on dit que le message est compressé. Le message est alors sous forme concise et constitué par une suite d'éléments binaires mutuellement indépendants prenant les valeurs 0 ou 1. Cette étape assure aussi la sécurité de l'information par des transformations du message sous une autre forme que l'on pourra décrypter à la réception. Après numérisation et codage, la source de message numérique est caractérisée par son débit binaire  $D$ , définie comme le nombre d'éléments binaires qu'elle émet par unité de temps. Si l'intervalle de temps séparant l'émission par la source de deux éléments binaires consécutifs est constant et égal à  $T_b$ , alors le débit binaire  $D$  est égal à :

$$D = \frac{1}{T_b} \text{ [bit/s]} \quad (1.01)$$

Le décodage, situé à la réception, permet de retrouver l'information originale émise par la source par les transformations inverses des processus réalisés durant la phase de codage source.

## 2.3. *Codage et décodage canal*

Le codage de canal, aussi appelé codage détecteur et/ou correcteur d'erreurs, est une fonction spécifique des transmissions numériques, qui n'a pas son équivalent en transmission analogique. Cette opération permet d'améliorer la qualité de la transmission. Le codage canal consiste à insérer dans le message des éléments binaires dits de redondance suivant une loi donnée. Cette opération conduit donc à une augmentation du débit binaire de la transmission.

Le décodeur de canal, qui connaît la loi de codage utilisée à l'émission, vient vérifier si cette loi est toujours respectée en réception. Si ce n'est pas le cas, il détecte la présence d'erreurs de transmission qu'il peut corriger sous certaines conditions.

#### 2.4 Modulateur et démodulateur

Le message numérique, en tant que suite d'éléments binaires, est une grandeur abstraite. Pour transmettre ce message, il est donc nécessaire de lui associer une représentation physique, sous forme d'un signal électrique : c'est l'opération de « *modulation* ». Cette dernière assure l'adaptation du spectre du signal au canal physique sur lequel il sera émis. Cette opération consiste à varier une ou plusieurs paramètres d'une onde porteuse  $S(t) = A \cos(\omega t + \phi)$  centrée sur la bande de fréquence du canal. Les paramètres modifiables sont :

- L'amplitude A ;
- La fréquence  $f_0$  ;
- La phase  $\phi$ .

Dans les procédés de modulation binaire, l'information est transmise à l'aide d'un paramètre qui ne prends que deux valeurs possibles, on définit alors la « Rapidité de modulation » R (exprimée en Bauds), comme le nombre de signaux émis par le modulateur par unité de temps :

$$R = \frac{1}{T} \text{ [Bauds]} \quad (1.02)$$

Dans le procédé de modulation M-aire, l'information est transmise à l'aide d'un paramètre qui prends M valeurs. Ceci permet d'associer à un état de modulation de n digits binaires. Le nombre d'états est donc  $M=2^n$ . Ces n digits proviennent du découpage en paquets de n digits du train binaire issu du codeur. La rapidité de modulation R peut s'exprimer en fonction du débit binaire D par la relation :

$$R = \frac{D}{\log_2 M} \text{ [Bauds]} \quad (1.03)$$

Les types de modulations les plus utilisés sont les suivants :

- Modulation par Déplacement d'Amplitude MDA (ou ASK pour Amplitude Shift Keying en littérature anglaise) ;
- Modulation par Déplacement de Phase MDP (ou PSK pour Phase Shift Keying en littérature anglaise) ;
- Modulation d'Amplitude de deux porteuses en quadrature MAQ (ou QAM pour Quadrature Shift Keying en littérature anglaise) ;

- Modulation par Déplacement de Fréquence MDF (ou FSK pour Frequency Shift Keying en littérature anglaise).

La démodulation est la fonction inverse de la modulation qui se situe à la réception. En effet, le signal reçu est un signal modulé, et pour extraire l'information de la source, on élimine l'onde porteuse par différentes méthodes selon le type de modulation utilisée.

## 2.5. *Canal de transmission*

Le canal de transmission est un élément de la chaîne de communication toujours délicat à définir puisqu'il n'a pas la même signification selon que l'on se place du point de vue de la propagation, de la théorie de l'information ou de la théorie des communications.

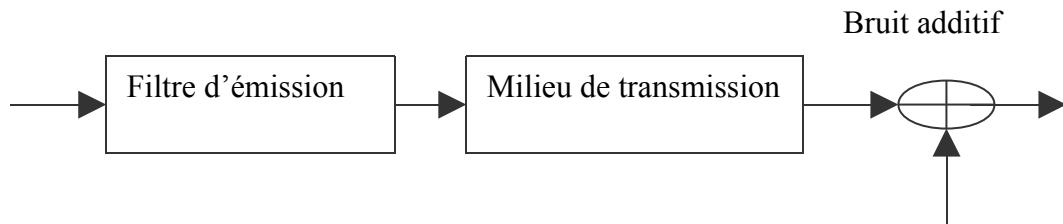


Figure 1.02. : Le canal de transmission.

Pour ce qui nous concerne, c'est à dire au sens de la théorie des communications, le canal de transmission peut inclure le milieu de transmission, le bruit, mais aussi, éventuellement, le filtre d'émission placé physiquement dans l'émetteur, ainsi que les antennes d'émission et de réception pour les transmissions en espace libre. Cette représentation du canal de transmission est illustrée sur la figure 1.02.

- Le milieu de transmission représente le lien physique entre l'émetteur et le récepteur ; il est pratiquement constitué par l'un des supports suivants :
  - Un câble bifilaire, dont la bande passante est faible et qui est en général réservé pour les transmissions à bas débit (inférieur à 2Mbps sur le réseau téléphonique).
  - Un câble coaxial, qui possède une bande passante plus importante que le câble bifilaire et qui permet de réaliser des transmissions avec un débit relativement élevé : plusieurs centaines de Mbps (jusqu'à 565Mbps sur le réseau téléphonique).
  - Une fibre optique, qui est l'objet de ce mémoire (Chapitre III), apparaît aujourd'hui, grâce à sa bande passante très élevée et son faible atténuation, comme un support très important. Les fibres optiques sont de plus en plus utilisées pour les réseaux terrestres à grande capacité (plusieurs Gbps, voire dans le futur, plusieurs

dizaines de ou centaines de Gbps), pour les câbles sous-marins ainsi que pour le réseau de distribution.

- L'espace libre, qui utilise la propagation d'une onde électromagnétique dans l'atmosphère. Ce milieu est généralement réservé aux transmissions par satellite ou par faisceaux hertziens ainsi qu'aux radiocommunications avec les mobiles.

La modélisation du milieu de transmission peut être très complexe. Le milieu peut se comporter comme un simple filtre linéaire, de réponse en fréquence  $C(f)$ , mais aussi être non stationnaire (la réponse  $C(f)$  est alors fonction du temps) ou présenter des non-linéarités ou encore un effet Doppler.

- Le bruit additif est une perturbation aléatoire dont les origines sont le milieu de transmission (bruit externe), ou les dispositifs électroniques utilisés dans le récepteur (bruit interne). Parmi les sources externes, on peut citer les rayonnements divers captés par l'antenne (cas des transmissions en espace libre), les interférences éventuelles entre les différents utilisateurs du milieu de transmission ou encore d'origine industrielle (moteurs, lignes à haute tension, ...).
- Le filtre d'émission représente l'adaptation spectrale du signal au canal de transmission pour qu'il n'y ait pas interférence entre les signaux des canaux voisins.

### 3. Techniques d'accès[1][3]

La bande de fréquence est une ressource rare qu'il faille utiliser à bon escient et partager entre tous les utilisateurs. Il est donc nécessaire de transmettre simultanément sur un même canal le plus grand nombre de messages possibles. On fait appel pour cela aux techniques de multiplexage ou techniques d'accès qui permet le partage d'un même canal pour plusieurs utilisateurs. On considère trois grandes techniques de multiplexage par découpage du spectre alloué ou plus précisément du plan temps-fréquence :

- Multiplexage en fréquence (FDMA, Frequency Division Multiple Access) : c'est la technique la plus ancienne qui était la seule lorsque le téléphone était purement analogique. A chaque interlocuteur est allouée une bande de fréquence. En pratique, le message est utilisé pour moduler une fréquence porteuse. Les différentes porteuses ainsi modulées sont juxtaposées et l'ensemble transmis sur le canal.
- Multiplexage Temporel (TDMA Time Division Multiple Access) : chaque message occupe la totalité de la bande mais pendant un temps très court. C'est la technique retenue

pour le système MIC. Les échantillons issus d'un message sont intercalés avec ceux des autres, un tri se fait à la réception.

- Techniques d'étalement de spectre (CDMA Code Division Multiple Access) : tous les utilisateurs ou messages ont accès simultanément à la totalité de la bande, ils sont distingués à la réception grâce à des codes distincts pour chacun d'entre eux. On trouvera dans le chapitre II les théories et les applications de cette technique.

#### 4. Conclusion

On a vu que les systèmes de transmission numérique comprennent des divers éléments plus ou moins complexes pour réaliser la liaison entre la source et le destinataire. Un intérêt majeur des transmissions numériques réside dans la possibilité de leur insertion harmonieuse dans les réseaux intégrés numériques qui se développent de jours en jour. Un autre avantage réside dans la possibilité de conserver l'intégrité de l'information à transmettre, ce qui est tout à fait impossible avec une transmission analogique. Les systèmes modernes de communication numérique sont complexes et requièrent des circuits des différents blocs de plus en plus sophistiqués. Il s'avère que le choix des techniques d'un système de transmission est toujours déterminé par les contraintes de l'application.

Dans le prochain chapitre, on va étudier en détail la technique de l'accès multiple par répartition de code (CDMA) ainsi que ses applications et mise en œuvre.

## CHAPITRE II : Les systèmes CDMA

### 1. Introduction

Dans les systèmes de transmission numérique, les performances sont fortement liées aux choix techniques qui permettent à des utilisateurs multiples d'accéder à un même canal de transmission. Plusieurs méthodes sont utilisées, l'accès multiple par codage est une des plus en vogue aujourd'hui à cause de ses performances et ses caractéristiques intéressantes dans les nouvelles générations des systèmes de radiocommunication avec les mobiles.

Dans le paragraphe suivant, on va voir le principe des différentes générations de téléphonies mobiles par le concept de cellule.

### 2. Le concept cellulaire[3][5][6][7][12][15][24]

Dans les systèmes de radiocommunication avec les mobiles, le but est de couvrir une grande partie voire la totalité d'un territoire avec une qualité de service minimale et pouvant supporter un grand nombre d'abonnés simultanément. L'architecture d'un réseau de la première génération (téléphonie analogique) s'inspire des systèmes de radiodiffusion c'est à dire d'un système de communication point – multipoint. Le réseau est constitué d'une puissante station de base, les ondes portent jusqu'à 50 km et un faisceau de ligne téléphonique relie la station de base avec un commutateur : le centre de communication de service mobile. Avec ce type de réseau, les terminaux mobiles doivent avoir une puissance importante, provoquant ainsi une taille et poids considérables, de même, l'attribution d'un canal radio est statique et le nombre d'abonné est limité par le nombre de canaux Radio. Pour accroître de façon significative le nombre d'abonné, le concept de réseau cellulaire fait son apparition.

#### 2.1. Idée générale

Le concept de base d'un réseau cellulaire est d'une part la division du territoire en ensemble d'espace appelé *cellule* et d'autre part le partage des ressources entre ces cellules. Dans chaque cellule du réseau, il y a une station de base qui est un émetteur récepteur. Ce dernier interconnecte le réseau mobile avec le réseau commuté filaire.

La taille d'une cellule varie en fonction d'un ensemble de contraintes, parmi lesquelles, on trouve le relief du territoire, la localisation (urbaine, rurale ou suburbaine), la densité des abonnés ainsi que la nature des constructions. La cellule est l'unité géométrique d'un réseau.

#### 2.2. Architecture cellulaire

L'architecture d'un réseau doit tenir compte de la contrainte qui est le nombre limité de canaux disponibles, il faut savoir quand il peut réutiliser les fréquences dans d'autres cellules. Dans

la figure ci-dessous, on voit bien la réutilisation des fréquences par les cellules ayant les mêmes noms ayant une distance plus ou moins grande pour qu'il n'y ait pas d'interférence entre les cellules:

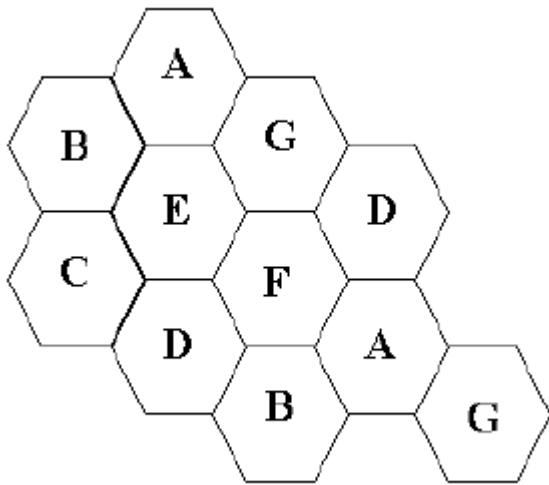


Figure 2.01 : Architecture Cellulaire

Un nouvel équipement est introduit pour synchroniser le fonctionnement d'un groupe de station de base, le contrôleur de station de base ou BSC (Base Station Controller). La division du réseau en cellule introduit une nouvelle contrainte : il faut désormais localiser un abonné pour entrer en communication avec cet abonné.

### 2.3. **Mobilité des abonnés**

Les abonnés se déplacent dans le réseau cellulaire, donc l'exploitant du réseau doit répondre au préalable suivant pour fournir la capacité de téléphonie à ses clients :

- Identifier chacun des abonnés
- Localiser chaque abonné
- Estimer la direction du déplacement de chacun des abonnés dans le réseau
- Maintenir les communications pendant un changement de cellule d'un abonné

Pour identifier un abonné, l'exploitant d'un réseau utilise un centre d'authentification qui authentifie chaque abonné. Cet équipement contrôle l'identité d'un abonné quand il met en service son terminal. Pour localiser un abonné dans le réseau, on recourt à une base de données : l'enregistreur de localisation nominal (ou HLR), cette base de données stocke dynamiquement les références et les coordonnées des abonnés du réseau.

Dans cette génération de téléphonie, on observe un accroissement du nombre d'abonnés satisfaisant ainsi la manque de canaux rencontrée dans la première génération de téléphonie. Mais au fil du temps, le nombre d'abonnés de cesse de s'augmenter ; on assiste ainsi une saturation du réseau.

En plus, des nouveaux services plus gourmands en bande passante apparaissent, la deuxième génération de téléphonie n'arrive pas à répondre à ces nouveaux besoins. Une solution a été proposée vers la fin du 20<sup>ème</sup> siècle pour palier à ce problème, et la technique d'accès par codage a été née.

Les paragraphes qui se suivent représentent les concepts de cette technique dans le but de comprendre le principe et de permettre l'amélioration d'un tel système pour répondre aux besoins des utilisateurs.

### **3. Concept CDMA [1][5][6][15][16][22]**

Le principal problème des systèmes de transmission de génération ancienne comme le GSM (Global System for Mobile communication) est la saturation du réseau lorsqu'on atteint un certain nombre d'abonnés utilisant le système en même temps. Le CDMA permet de résoudre ce problème en utilisant des codes pour distinguer les abonnés entre eux, ce qui rend la limite théorique du nombre d'abonnés à l'infini. Pour ce faire, on utilise la technique d'étalement de spectre.

#### ***3.1. Etalement de spectre***

On a vu que pour transmettre une information, il faut la convertir en signal électrique. Ce dernier possède ses propriétés spectrales qui sont les représentations de celui-ci en fonction de ses composantes en fréquence. A l'émission, ce signal est adapté au support physique où il est émis, il va donc occuper une bande de fréquence minimale pour assurer la liaison. Dans les systèmes CDMA, les données occupent une bande largement supérieure à cette bande minimale requise : on dit que le spectre est étalé.

Pour ce faire, deux principales méthodes dominent : l'étalement de spectre par séquence directe (ou DSSS pour Direct Sequence Spreading Spectrum en littérature anglaise) et l'étalement de spectre par saut de fréquence ( ou FHSS pour Frequency Hopping Spreading Spectrum en littérature anglaise).

##### **3.1.1. Etalement de spectre par séquence directe**

Dans cette méthode, les données à transmettre sont multipliées par une séquence d'étalement de rythme plus rapide : on étale ainsi le spectre d'émission. La multiplication dans le domaine temporel se traduit dans le domaine fréquentiel par un produit de convolution :

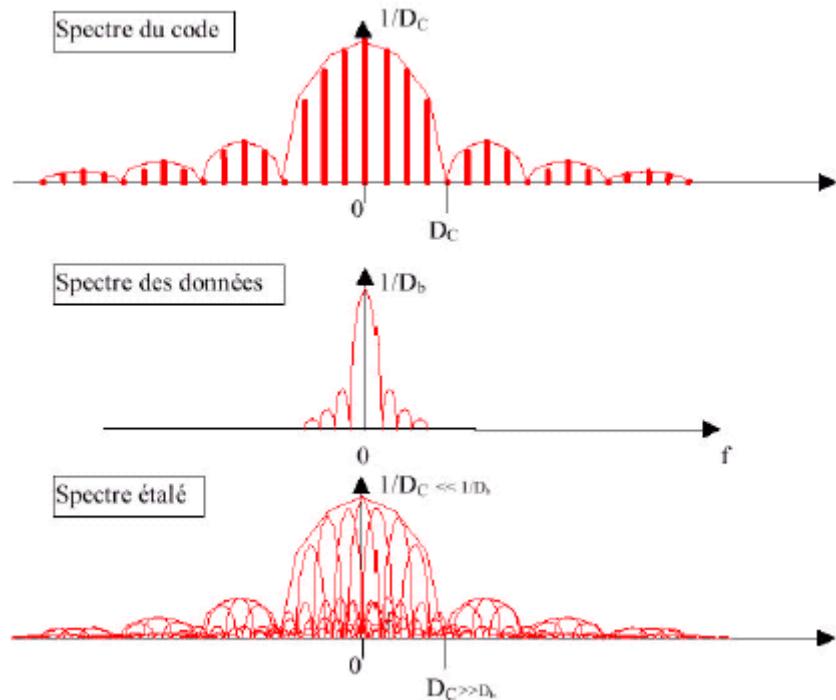


Figure 2.02. : Etalement de spectre par séquence directe.

Chaque utilisateur admet sa propre séquence d'étalement. Les données étalées transitent dans le canal de transmission dans une même bande de fréquence. A la réception, la distinction des utilisateurs est réalisée par corrélation avec chacune des séquences utilisées à l'émission. Ainsi, pour permettre la séparation à la réception, les codes des séquences utilisés doivent être orthogonaux.

Si les données ont une amplitude spectrale  $A$  suffisante pour sortir du bruit  $N$ , il en est en revanche différemment du spectre étalé. Il y a conservation de l'énergie contenue dans le spectre. Si donc la bande spectrale s'élargit, l'amplitude diminue en proportion. Le niveau du spectre étalé résultant peut donc être inférieur au niveau du bruit. Le signal noyé dans le bruit ne peut être récupéré qu'en connaissant le code.

### 3.1.2. Etalement par saut de fréquence

Le principe est beaucoup plus simple à comprendre. On réalise en générale une FSK dont la fréquence porteuse change selon une loi pseudo-aléatoire. Chaque bit est découpé dans le temps en  $L$  morceaux, chaque morceau est modulé à un instant différent et une fréquence différente. Cela ressemble à du FD-TDMA, mais au lieu de transmettre un paquet de données par IT, on ne transmet qu'une partie d'un seul bit.

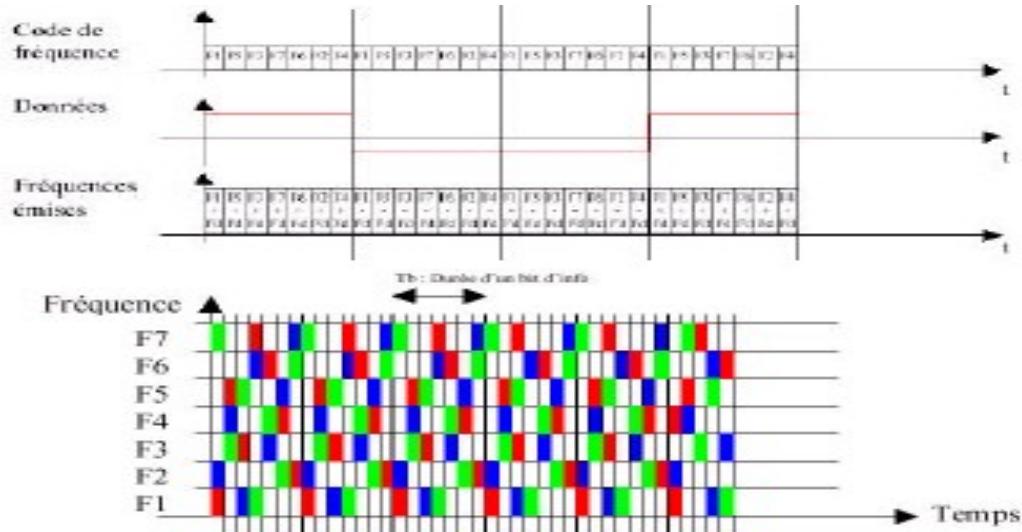


Figure 2.03 : Etalement de spectre par saut de fréquence

Dans la suite de ce travail, on s'intéresse plus particulièrement à la technique d'étalement de spectre par séquence directe DS-CDMA, puisque c'est la méthode utilisée dans les systèmes de radiocommunication de nos jours qui fait l'objet de ce mémoire.

### 3.2. Propriétés des codes dans les systèmes DS-CDMA

Dans les systèmes DS-CDMA, les codes utilisés pour la distinction des utilisateurs entre eux doivent avoir les propriétés d'orthogonalité afin de permettre le désétalement à la réception. Pour la réalisation de ces séquences orthogonales, plusieurs méthodes ont été mises en œuvre :

#### 3.2.1 Séquence de Walsh

Les fonctions binaires orthogonales de Walsh-Hadamard sont des fonctions réelles n'ayant que deux états +1 et -1, elles sont définies dans l'intervalle  $-1/2$  et  $+1/2$ .

Les fonctions de Walsh-Hadamard sont décrites par l'expression algébrique :

$$W(k, t) = \prod_{i=0}^{r-1} \text{Sign}[\cos^{ki} (2^i \pi) t] \quad (2.01)$$

avec  $r = \text{PartieRéelle}(\text{Log}_2(k) + 1)$

$k$  est l'indice de la fonction de Walsh,  $ki$  le  $i^{\text{ème}}$  bit du nombre  $k$  écrit en binaire.

Par exemple, pour  $k=6$ ,  $\text{Log}_2(6)=2,58$  donc  $r=3$ , d'autre part  $6=110$  en binaire donc,  $k0=0$ ,  $k1=1$ ,  $k2=1$

Soit  $W(6, t) = \text{Sign}[(\cos 1\pi t)^0] \text{Sign}[(\cos 2\pi t)^1] \text{Sign}[(\cos 4\pi t)^1]$

Les fonctions de Walsh peuvent également être créées à partir de certaines matrices de Hadamard. Ces matrices sont construites de la façon suivante :

$$H_1 = [1]$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

et d'une manière générale :

$$H_{2n} = \begin{bmatrix} H_n & H_n \\ H_n & -H_n \end{bmatrix}$$

Ainsi, par exemple pour  $n=4$ , on a :

$$H_8 = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 \end{bmatrix}$$

Chaque ligne de la matrice matérialise une fonction de Walsh. Son indice  $k$  est le nombre de fois que le tracé coupe l'axe des temps (ou le nombre de transitions  $\pm 1$ ). Il est facile de vérifier que deux fonctions d'indice différente sont orthogonales c'est à dire que leur produit scalaire :

$$\int_{-1/2}^{1/2} W(k, t) W(j, t) dt = \delta_{kj} \quad (2.02)$$

### 3.2.2 Séquence pseudo - aléatoire PN

Les séquences d'également pseudo aléatoires (pseudo random ou pseudo noise : PN) répondent aux propriétés de corrélation et d'orthogonalité que doivent valider les codes utilisables en CDMA. Parmi les séquences PN, les séquences à longueur maximale ( $m$  - séquences) satisfont aux mieux à l'ensemble de ces conditions. Une séquence PN est générée à partir d'un polynôme appelé « polynôme générateur » de degré  $n$  :

$$h(x) = h_0 x^n + h_1 x^{n-1} + h_2 x^{n-2} + \dots + h_n \quad (2.03)$$

avec  $h_i$  appartient à  $[0,1]$  et  $h_n = h_0 = 1$ .

$x^5 + x^2 + 1 = 0$  est un exemple de polynôme de degré  $n = 5$  de l'équation (2.03) et dont les coefficients  $h_i$  sont donnés par le vecteur binaire  $[100101]$ .

Une séquence binaire  $u$  est générée à partir du polynôme caractéristique  $h(x)$  si pour toutes les entrées  $j$  nous avons :

$$h_0 u_j \oplus h_1 u_{j-1} \oplus \dots \oplus h_n u_{j-n} = 0 \quad (2.04)$$

où  $\oplus$  étant l'addition modulo 2.

La séquence  $u$  représente un ensemble de « chips » composé de ‘0’ et de ‘1’. Afin qu'elle puisse servir de base pour le codage, on génère à partir de cette séquence une seconde signature bipolaire,  $x(u)$ , telle que :

$$x(u_i) = (-1)_i^n \quad (2.05)$$

Dans ces conditions les fonctions d'intercorrélation et d'autocorrélation des séquences PN sont décrites par les équations suivantes :

$$\begin{aligned} CC_{x(u),x(v)} &= \sum_{i=1}^{n-1} x(u_i \oplus v_{i+1}) \\ AC_{X(u)} &= \sum_{i=1}^{n-1} x(u_i \oplus u_{i+1}) \end{aligned} \quad (2.06)$$

Où  $u$  et  $v$  étant issus du même polynôme générateur  $h(x)$ .

Les séquences pseudo aléatoires constitués de +1, -1 (notés aussi 1, 0 selon l'approche) sont générées par matériel ou logiciel. Ces codes doivent respecter différentes propriétés:

- Equilibre (*balance*) des 0 (ou -1) selon la notation et 1
- La distribution des séquences (*run lengths*) de 1 consécutifs suit une loi géométrique : une moitié des séquences est de longueur 1, un quart est de longueur 2, 1/8 est de longueur 3 etc....
- Une fonction d'autocorrélation  $\sum p_n(t) * p_n(t+\tau)$  (= nbr d'accords – nbr de désaccords) est à valeurs faibles sauf pour un décalage de zéro ou la période (si la séquence est périodique).

Exemple :  $p_n(t) = +1 +1 +1 -1 +1 -1 -1$

$$p_n(t+0) = +1 +1 +1 -1 +1 -1 -1$$

produits :  $+1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 \Rightarrow \sum = \text{nombre de chips}=7$

Et :  $pn(t) = +1 +1 +1 -1 +1 -1 -1$

$pn(t+1) = -1 +1 +1 +1 -1 +1 -1 \Rightarrow$  on reboucle la nième position en 1ère position

produits :  $-1 +1 +1 -1 -1 -1 +1$

$\Rightarrow \sum = \text{nombres d'accords} - \text{nombres de désaccords} = -1$

Ceci (autocorrélation nulle) traduit que le code ne ‘ressemble’ ni à son futur, ni à son passé.

### 3.2.3 m - Séquence

Les m - séquences sont des séquences pseudo- aléatoires à longueur maximale ( $2^N - 1$  pour un nombre N de bascules). Ces séquences ont une fonction d'autocorrélation avec un maximum pour zéro à  $2^N - 1$ , et une valeur négligeable (-1) pour toute autre valeur du décalage.

Cette propriété permet de prendre comme ensemble de codes la même séquence avec les  $2^N - 1$  décalages possibles.

Il résulte alors de leur définition que les m- séquences présentent les propriétés suivantes :

- La période d'une m- séquence u est de  $N=2^n-1$
- Il existe N séquences non nulles générées par le polynôme générateur  $h(x)$ , ses séquences ont N phases différentes :  $u = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{N-1})$ ,  $Tu = (a_1, a_2, \dots, a_{N-1}, a_0)$ ,  $T^2u = (a_2, a_3, \dots, a_{N-1}, a_0, a_1)$  où  $T^i$  représente l'opérateur de décalage au  $i^{\text{ème}}$  chip.
- Soient i et j deux entiers distincts tel que  $0 \leq i, j \leq N-1$ , il existe alors un entier unique k différent de i et de j, avec  $0 \leq k \leq N$ , tel que  $T^i \oplus T^j = T^k$ . Il en résulte que l'addition de deux m-séquences est aussi une m-séquence.
- Le poids représentant le nombre de '1' est pour une m-séquence unipolaire u :  $\omega_u = (N+1)/2$
- La fonction d'autocorrélation est définie par :

$$AC_u(l) = \begin{cases} N, & \text{pour } l=0 \bmod N \\ -1, & \text{pour } l \neq 0 \bmod N \end{cases} \quad (2.07)$$

Ces codes quasi- orthogonaux sont dits linéaires et n'offrent pas une protection (cryptage) très élevée : on peut les déchiffrer à partir d'une connaissance partielle de la séquence.

### 3.2.4 Séquence de Gold

Les codes de Gold sont une catégorie importante de séquence générant un ensemble de codes ayant de bonnes propriétés d'intercorrélation.

Les séquences de Gold sont une famille de code qui découle des séquences PN. Elles sont particulièrement employées dans la structure CDMA dites « non- orthogonales » compte tenu de leurs propriétés de corrélation.

Soient  $u = \{u_i\}$  et  $v = \{v_i\}$  deux m- séquences de longueur  $N=2^n-1$ , dont les niveaux d'intercorrélation ne dépassent pas  $t(n)=1+2^{\lceil(n+2)/2\rceil}$  où  $[x]$  désigne la partie entière du réel  $x$ . L'ensemble de codes de Gold issues de ces deux séquences est alors :

$$G(u, v) = (u, v, u \oplus v, u \oplus T v, v \oplus T^2 v, \dots, u \oplus T^{N-1} v) \quad (2.07)$$

Où  $T$  est un opérateur de décalage tel que  $u=(a_0, a_1, a_2, \dots, a_{N-1})$ ,  $Tu=(a_1, a_2, \dots, a_{N-1}, a_0)$ ,  $T^2u=(a_2, a_3, \dots, a_{N-1}, a_0, a_1)$

$G(u, v)$  contient alors  $N+2=2^n+1$  séquences de période  $N$ .

- Générateur de Codes Gold et Kasami : les codes de Gold  $G(u, v)$  peuvent être aussi générés en additionnant modulo 2, terme à terme les sorties des registres à décalage correspondant à  $h(x)$  et  $h'(x)$ , autrement dit c'est la combinaison linéaire de plusieurs m-séquences.

Voici un tableau qui indique la particularité de chaque type de code :

Type de code	Nombre de code	Inter corrélation maximale
Gold (n impaire)	$2^n+1$	$2^{(n+1)/2}+1$
Gold (n paire)	$2^n+1$	$2^{(n+2)/2}+1$
Short Kasami	$2^{n/2}$	$2^{n/2}$
Long Kasami	$2^{n/2}(2^n+1)$	$2^{(n+2)/2}+1$
Very Long Kasami	$2^{n/2}(2^n+1)^2$	$2^{(n+4)/2}+1$

Tableau 2.01 : Particularité des codes

L'exemple qui suit montre comment une séquence de gold est générée : soient

- $h(x)=x^3+x+1$
- $h'(x)=x^3+x^2+1$

En supposant les états initiaux respectifs 100 et 111, les séquences  $h(x)$  et  $h'(x)$  génèrent respectivement les m-séquences :

- $u=0011101$
- $v=1110010$

En configurant le générateur de séquences, comme la montre la figure 4 :

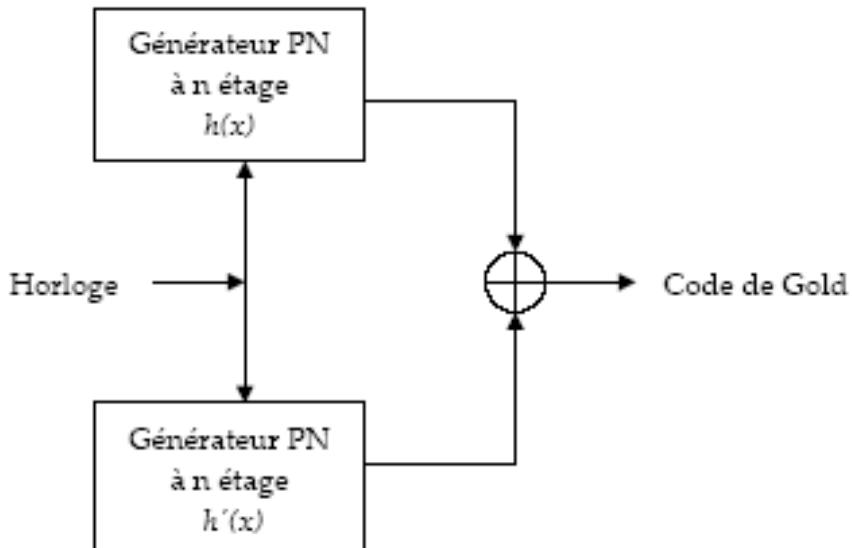


Figure 2.04 : Générateur de séquences de Gold

Il en résulte les 9 séquences suivantes :  $G_1=0011101$   $G_2=1110010$   $G_3=1101111$   $G_4=0100100$   $G_5=1000001$   $G_6=0110011$   $G_7=0001011$   $G_8=1010110$   $G_9=1111000$ .

### 3.3. Performances des systèmes DS-CDMA

Le fait d'appliquer le multiplexage par codage à séquence directe rend les systèmes DS-CDMA très puissant. La propriété d'orthogonalité des codes est une condition nécessaire pour obtenir les performances maximales de tel système. Alors, dans les systèmes CDMA :

- la propriété déjà décrite plus haut dit que le niveau de bruit peut dépasser celui du signal utile. A la réception, la connaissance du code de l'utilisateur permet de récupérer le signal utile. On a donc une meilleure protection contre les brouillages et les interférences.
- le fait d'utiliser la même bande passante pour tous les utilisateurs, on a meilleur rendement spectral, l'utilisation de la bande passante est optimale.
- On a une meilleure confidentialité des transmissions, c'est à dire les deux correspondants sont les seuls à connaître l'algorithme de codage donc il n'est pas possible d'intercepter les messages envoyés par d'autres utilisateurs.
- En utilisant des codes de longueur assez élevé, on arrive à éviter la saturation du réseau. On adonc une croissance du nombre d'utilisateurs pouvant communiquer à la fois.
- A la réception, on peut lutter contre les trajets multiples ainsi que les problèmes de la propagation Radio en utilisant des récepteurs RAKE (Voir Annexe).

La mise en œuvre de cette technique dans les systèmes de radiocommunication cellulaires sera présentée dans la deuxième partie de cet ouvrage, interfacés avec la transmission par la fibre optique.

#### **4. Conclusion**

Dans ce chapitre, on a vu le système de téléphonie ainsi que la nouvelle technique CDMA qui consiste à étaler le spectre d'un signal représentant l'information à transmettre afin de permettre le partage de la bande de fréquence à tous les utilisateurs et permettant ainsi d'augmenter le nombre d'utilisateurs communiquant simultanément. Le concept CDMA permet de résoudre le problème de saturation du réseau qui est le principal défaut des systèmes antérieurs. En plus, c'est un système qui permet d'atteindre un débit assez élevé pour satisfaire les besoins des utilisateurs en terme de bande passante.

Et pourtant, on assiste encore la saturation du réseau par la dégradation de la qualité de service à partir d'un certain nombre d'abonnés accédant en même temps dans le réseau. Et aussi, on assiste la diminution de débit dans les heures où le trafic augmente et même la non-disponibilité des services à ces moments.

La principale cause de cette dégradation réside dans le fait que le réseau de transmission liant l'accès multiple par codage dans la boucle d'accès présente une certaine limite qui se présente comme un goulot d'étranglement au niveau du système de transmission. Dans le chapitre suivant, on analysera un autre système de transport plus fiable et plus large en terme de bande passante en utilisant le transport par fibre optique.

## CHAPITRE III : La voie optique

### 1. Introduction

Les principes de guidage de la lumière sont connus depuis l'antiquité. Et depuis plusieurs années, les réseaux optiques ont été choisis pour réaliser les transmissions pour des liaisons longues distances mais aussi pour les réseaux MAN (Metropolitan Area Networks). En effet, la fibre optique est le meilleur support parmi toutes les solutions existantes pour réaliser des réseaux hauts débits et supporter les montées en capacités exigées par les clients de ces réseaux. Depuis l'invention du téléphone en 1876, l'essentiel des télécommunications longues distances se font par l'intermédiaire d'un support en cuivre. Mais cette première génération de médiums atteint depuis quelques années ses limites.

En effet, malgré des progrès énormes au niveau des protocoles, des compressions de données, du multiplexage et des codages, nous arrivons à la saturation. On arrive au mieux à 2 ou 3Gbps sur des câbles de 8 ou 12 paires. Aujourd'hui, les recherches s'orientent vers deux autres médiums : l'air et les fibres optiques. L'interfaçage de ces deux approches fait l'objet de ce mémoire. Dans ce chapitre, on verra les technologies des transmissions par fibres optiques en partant du fonctionnement de celle-ci pour arriver à la manière de l'exploiter afin de résoudre les problèmes des systèmes existant et de satisfaire les besoins des utilisateurs actuellement.

### 2. La fibre optique[1][5][8][12][20]

La fibre optique est obtenue à partir d'un tube et d'une barre de verre mintés concentriquement. L'ensemble est chauffé pour assurer l'homogénéité. Il suffit d'un barreau de verre d'un mètre de longueur et de 10 cm de diamètre pour obtenir une fibre monomode de 150 km de longueur.

Au final, le diamètre de la fibre est d'environ 10 $\mu$ m. Le verre est ensuite enrobé d'un revêtement de protection (230 $\mu$ m). Le câble final peut être composé d'un ou de plusieurs brins. Il existe trois types de fibre optique selon la technologie de fabrication et les différents modes de propagation des lumières dans le cœur.

#### 2.1. *Les différents types et caractéristiques des fibres optiques*

##### 2.1.1 Les fibres multimodes

Une fibre optique multimodes est une fibre en verre de section circulaire dont le cœur, c'est à dire la partie centrale où se propage la lumière a un diamètre grand devant la longueur d'onde. On peut donc les étudier de façon simplifiée mais correcte par l'optique géométrique.

### 2.1.1.1 Les fibres à saut d'indice

Le type le plus simple est la fibre optique à saut d'indice où le cœur (la partie centrale de la fibre) d'indice de réfraction  $n_1$  est entouré d'une gaine optique d'indice  $n_2$  légèrement inférieur (figure 3.01). Le diamètre du cœur est  $2a=100\mu\text{m}$ , pour un diamètre total (gaine) de  $2b=150\mu\text{m}$ . L'ensemble est entouré d'un revêtement de protection généralement en matière plastique.

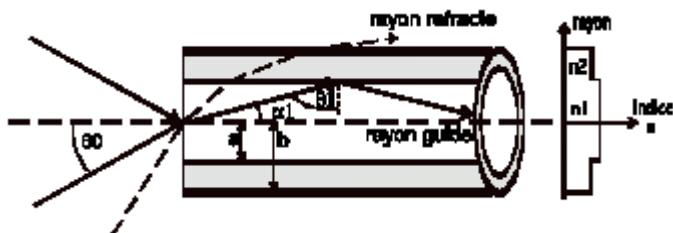


Figure 3.01 : Structure d'une fibre à saut d'indice.

*Ouverture numérique* : les indices optiques du cœur et de la gaine sont très voisins et de l'ordre de 1,45 pour les fibres en silice. La différence d'indice entre  $n_1$  et  $n_2$  est de l'ordre de 0,02 à 0,01.

$$ON = \sin \theta_0 = n_1 \cos \left( \arcsin \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \right) = n_1 \sqrt{1 - \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3.01)$$

L'ouverture numérique ON est un des paramètres les plus importants d'une fibre. Une forte ouverture numérique permet de coupler une grande quantité de lumière dans la fibre. Par contre, elle introduit également un étalement des impulsions transmises par effet de dispersion modale.

*Dispersion modale* : comparons deux impulsions présentes à l'extrémité d'une fibre de longueur  $L$ , et d'ouverture numérique ON. L'une des impulsions se propage suivant l'axe de symétrie de révolution de la fibre (angle nul), tandis que la deuxième arrive avec un angle égale à l'angle limite. Ces deux impulsions vont donc avoir des trajets différents. Celle qui se propage suivant l'axe aura le trajet le plus court (longueur  $L$ , vitesse  $c/n_1$ ). Le retard entre la première impulsion et la dernière est donné par :

$$\Delta t = \frac{L}{c} \left( \frac{n_1}{n_2} \right) (n_1 - n_2) \quad (3.02)$$

En réalité quand une impulsion est présente à l'entrée d'une fibre, tous les angles d'indices compris entre 0 et 90 existent. En sortie de fibre, chaque trajet lumineux caractérisé par un angle différent subit un retard différent compris entre 0 et  $\Delta t$ . L'impulsion de départ se trouve donc élargie de  $\Delta t$ , indépendamment de la largeur de son impulsion initiale.

C'est cet étalement de l'impulsion qui est désigné par dispersion modale. Chaque trajet différent étant un mode.

Les conséquences sont énormes en terme de bande passante. En effet, supposons que chaque impulsion corresponde à un bit d'un signal à transmettre. La durée entre deux bits doit être au supérieure ou égale à  $\Delta t$ , sinon chaque impulsion se voit de toute façon élargie de  $\Delta t$  au bout d'une longueur de fibre  $L$ . Le risque est alors que les bits successifs se chevauchent et créent des erreurs dans la transmission. Le débit de la ligne de transmission est donc limité à  $1/\Delta t$  bits par secondes.

Le débit maximum est donc :

$$\Delta B_{\text{dispersion modale}} = \frac{1}{\Delta t} = \frac{c}{L} \frac{n_2}{n_1} \frac{1}{(n_1 - n_2)} \quad (3.03)$$

Il est à noter que ce débit diminue lorsque la longueur de la fibre augmente. Ce qui signifie qu'il est difficile par ce procédé de transmettre des hauts débits sur des grandes distances.

#### 2.1.1.2 Les fibres à gradient d'indice

C'est la raison pour laquelle une seconde génération de fibre à vue le jour; Les fibres à gradients d'indice ont été spécialement conçues pour minimiser cet effet de dispersion modale. Dans ce type de fibre, l'indice optique du cœur diminue de l'axe jusqu'à la gaine, suivant une loi parabolique comme indiqué sur la figure suivante :

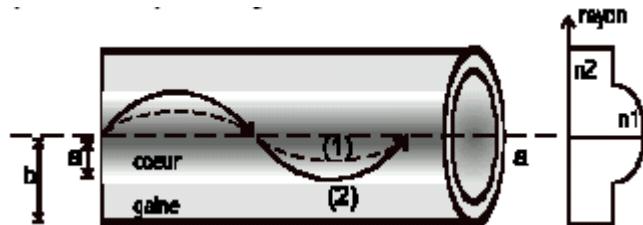


Figure 3.02 : Fibre optique à gradient d'indice.

L'indice du cœur à une distance  $r$  de l'axe suit la loi parabolique :

$$n(r) = n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \left( \frac{r}{a} \right)^2} \quad \text{avec } \Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3.04)$$

Les rayons lumineux suivent une trajectoire d'allure sinusoïdale, et ceux ayant le trajet géométrique le plus long (2) passent par des milieux d'indice plus faible, donc de vitesses supérieures. Par ce procédé on égalise les temps de propagation.

### 2.1.2 Les fibres monomodes

Ce sont des fibres dont la dimension du cœur est comprise entre 1 à 9  $\mu\text{m}$ . Elles sont conçues pour guider pratiquement sans perte la lumière à une longueur d'onde bien précise. Dans ce cas il n'y a plus de dispersion modale. Pour les autres longueurs d'ondes il est difficile d'injecter de la lumière et il n'y a presque pas de guidage. La dispersion chromatique est donc marquée.

Dans le cas de la fibre monomode, le petit diamètre du cœur nécessite une grande puissance et donc des diodes LASER qui sont relativement onéreuses.

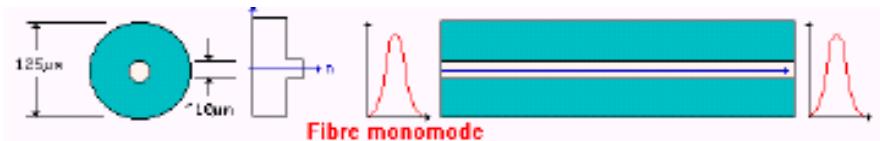


Figure 3.03 : fibre optique monomode.

## 2.2. Les composants optoélectroniques

Pour réaliser la transmission par fibre optique, on a besoin des dispositifs permettant d'injecter la lumière, qui porte les informations, dans la fibre pour propager jusqu'au destinataire. Et à la réception, d'autres dispositifs reçoivent les faisceau lumineux dans la fibre et les convertiront en signal électrique.

Pour cela, on a besoin des composantes optoélectroniques à savoir les DEL, DSL et les diodes LASER utilisés pour convertir les signaux électriques en lumière à l'émission ; et les photodiodes et les phototransistors utilisés à la réception pour détecter le message.

### 2.2.1 DEL

Les DEL ou Diodes Electro-Luminescentes sont des composants semi-conducteurs formés par une jonction np. Elles peuvent émettre des faisceaux lumineux lors du passage d'un courant électrique. En fait, le passage de courant direct dans une jonction, fait croître brusquement la concentration des porteurs près des frontières de la jonction PN. En diffusant vers les régions profondes du semi-conducteur les porteurs se recombinent en pénétrant en moyenne à une distance égale à la zone de charge d'espace de la jonction PN. Si une partie considérable des actes de recombinaison s'effectue avec une émission de lumière, des conditions se réalisent pour la sortie de la lumière vers l'extérieur et donc la diode à semi-conducteurs peut être utilisée comme source de rayonnement lumineux.

### 2.2.2 DSL

Ce sont des LED très performantes au point de vue de la puissance optique émise. En effet dans une LED optimisée, le nombre de photons peut augmenter au point qu'un début d'émission

stimulée soit rendue possible. La puissance d'émission du composant est alors plus importante que pour une LED classique. Il y a alors un début d'amplification optique. Le composant agit alors comme une LED à grande irradiance. Grâce à sa structure qui favorise l'émission directionnelle de lumière, il est possible d'injecter beaucoup plus de lumière dans une fibre que cela n'est possible avec une LED ordinaire. On dit que ce sont des Diodes Super Luminescentes ou DSL.

### 2.2.3 Diode LASER

Le mot LASER vient de l'acronyme anglais Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation. C'est un oscillateur cohérent (spectre très étroit) dont la fréquence est située dans la fréquence optique. Il émet donc de la lumière à très haute intensité. C'est pour cela qu'on l'utilise dans les communications optiques longues distances.

### 2.2.4 Photodiodes

Les photodiodes silicium sont des composants semi-conducteurs sensibles aux particules à hautes-énergies et aux photons. Les photodiodes absorbent des photons ou des particules chargées et génèrent dans un circuit externe, un flux de courant proportionnel à la puissance optique incidente. Les photodiodes peuvent être employées pour détecter la présence ou l'absence de quantités lumineuses très faibles et peuvent être calibrées pour des mesures extrêmement précises d'intensités en dessous du  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  mais aussi des intensités au-dessus  $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$ . Les photodiodes silicium sont utilisées pour recevoir les informations lumineuses propagées dans les fibres optiques dans les systèmes de transmission optiques.

### 2.2.5 Phototransistor

Les photodiodes présentent des défauts dans les systèmes de réception optique comme la faiblesse des gains ou le niveau de bruit important limitant ainsi la portée du système. Il existe d'autres composants semi-conducteurs permettant la détection des signaux lumineux ayant un gain plus performant et moins bruités: ce sont les phototransistors.

Dans un transistor bipolaire l'injection d'un faible courant de base  $i_b$ , provoque un petit changement de la tension de polarisation directe à travers la jonction émetteur-base, ce qui provoque alors une très grande injection de porteurs de charges dans la jonction polarisée en directe. Tout ce courant est principalement collecté au niveau du collecteur. Le gain en courant défini comme le rapport du courant de collecteur sur le courant de base est très grand (de l'ordre de 100 à 1000). Donc, ces phototransistors sont très utilisés dans les systèmes de communications par fibre optique longue distance.

### **3. Technique d'accès[1][12][17][20]**

La technique d'accès définitie la façon d'utiliser le support physique pour le trafic des utilisateurs. Par conséquent, elle caractérise une communication par le mode, le débit ainsi que les performances du système en terme de qualité de service ( saturation, disponibilité,...). Le transport par fibre optique définit des techniques d'accès un peu particulières à cause de la largeur de bande très grande.

#### ***3.1. Accès multiples à répartition de temps***

Dans cette technique, comme on l'a déjà étudié dans le chapitre I, on partage dans le temps l'utilisation de la voie haute vitesse en d'attribuant successivement aux différentes voies basses vitesse même s'il n'y a aucun signal à émettre. On affecte ainsi à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un court instant et à tour de rôle pour chaque utilisateur.

Cette technique d'accès est peu utilisée dans les systèmes de transmissions optiques puisque la fibre optique utilise déjà une bande de fréquence assez large pour supporter plusieurs utilisateurs simultanément.

#### ***3.2. Accès multiples à répartition de code***

La répartition par codage consiste à distinguer chaque utilisateur par un code propre à lui afin d'utiliser la totalité de la bande passante simultanément par plusieurs. Cette technique appelée également de spectre, que l'on a déjà étudié dans le chapitre précédent, est surtout utilisée dans les systèmes de communication par radio à cause de la manque de la bande passante.

Dans le système optique, on utilise fréquemment le multiplexage de longueur d'onde.

#### ***3.3. Accès multiples à répartition de longueur d'onde***

Le principe du multiplexage en longueur d'onde ou WDM (Wavelength Division Multiplexing) est donc d'injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes. La fibre optique se prête d'autant plus à cela que sa bande passante est très élevée. La norme ITU-T G692 définit la plage de longueurs d'ondes dans la fenêtre de transmission de 1530 à 1565 nm et un espacement normalisé entre deux longueurs d'ondes de 1,6 ou 0,8 nm. Le multiplexage de longueur d'onde se fait exclusivement sur fibre monomode.

Lorsque l'espacement utilisé entre deux longueurs d'ondes est égal ou inférieur à 0,8 nm ou lorsque plus de 16 canaux sont utilisés, on parle de DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

Aujourd'hui, il est possible d'atteindre des débits pouvant aller de 10 à 200Gbps. En effet, il existe des systèmes proposant de 4 à 80 canaux optiques à 2,5Gbps par canal. Un système à 16 canaux

optiques à 2,5Gbps (soit 40Gbps) permet l'acheminement de 500 000 voies téléphoniques simultanément sur une seule paire de fibre optique.

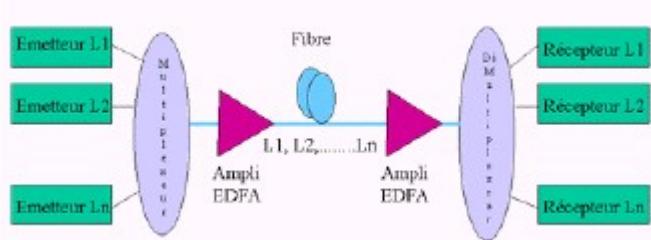


Figure 3.04 : Principe d'une liaison WDM/DWDM.

A chaque multiplexage ou démultiplexage de longueur d'onde, il y a des pertes appelées pertes d'insertion. Pour compenser ces pertes et également réduire le bruit, on utilise un amplificateur à fibre dopée erbium, EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier). Mais il y a d'autres perturbations qui déforment le signal. En effet, des phénomènes non linéaires se produisent lors de la propagation du signal dans la fibre. Il apparaît des risques de diaphonie et de mélange des canaux. C'est pourquoi la technologie WDM nécessite des amplificateurs tous les 50 à 100Km.

Chaque train de signaux numériques, après multiplexage, est véhiculé sur sa propre longueur d'onde comme sur une seule fibre. Ces trains peuvent donc être de débits et de formats différents.

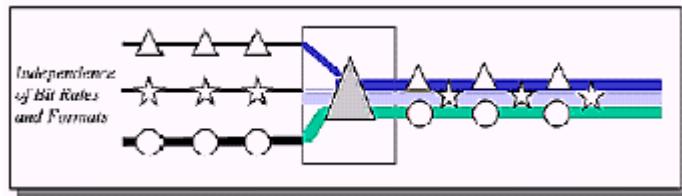


Figure 3.05 : Indépendance des débits et formats de chaque canal en WDM.

#### 4. Le réseau de transmission par fibre optique[4][5][8][9][11][12][17][20][21][23]

##### 4.1. Hiérarchie

Avec la numérisation de la voix, les infrastructures se sont banalisées. Pour des raisons d'optimisation de ces supports de transmissions, le CCITT (UIT-T) a normalisé les niveaux de multiplexage, cette hiérarchie appelée PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), les réseaux de transmissions étaient basés sur la PDH jusqu'aux années 90, constituant la base du réseau numérique depuis 1970. Afin de bien comprendre quel était le fonctionnement de ce dernier nous illustrerons cette technologie de multiplexage temporel qui consistait à cascader les Terminaux Numériques comme indiqué sur la figure ci-dessous. Pour plus d'information sur la constitution de la trame de base, consulter l'annexe concernant la numérisation de la voix téléphonique.

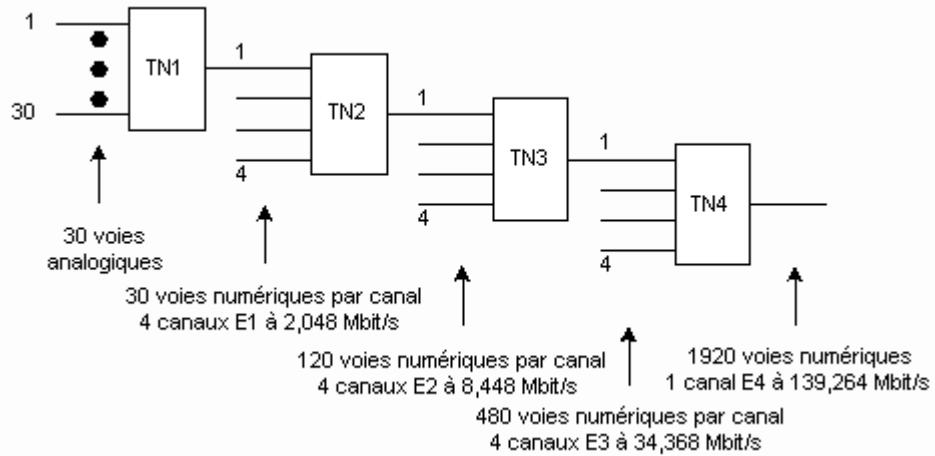


Figure 3.06: Les différents niveaux PDH en Européen.

Outre l'utilisation d'un sur-débit (justification et bourrage), cette hiérarchie est très consommatrice inutilement la bande passante. L'inconvénient majeur de la PDH réside dans l'obligation de démultiplexer complètement le train à haut débit pur reconstituer un lien à 2Mbps.

Très rapidement cette hiérarchie a été remplacée à partir de 1986 par une nouvelle technique de regroupement appelée SDH (Synchronous Digital Hierarchy) offrant plus de souplesse dans le multiplexage et qui autorise (garantie) des débits supérieurs et répond à un besoin de normalisation des interfaces optiques.

#### 4.2. Réseau haut débit SDH

Dans les systèmes PDH, le principe est la transparence, c'est à dire les interfaces et les multiplex normalisés à 8, 34 et 140 Mbps n'imposent pas de contraintes sur le contenu binaire. A cause de l'insertion des bits de justification et de l'entrelacement par bit, pour insérer ou extraire « add-drop » un système d'un ‘client’ à 2Mbps dans un multiplex 140 Mbps, il faut procéder à toutes les opérations de démultiplexage 140/30, 30/8,8/2 ce qui signifie chaque fois : retrouver l'horloge, la trame, les bits de justification. Si cette faible flexibilité est tolérable dans le réseau téléphonique, relativement stables en demande de E1 (MIC), elle ne l'est plus dans un environnement compétitif où il faut approvisionner des clients divers ( par exemple, circuits loués pour entreprises privées, autres opérateurs,...) avec des débits divers et de plus en plus élevés ( supérieur à 140 Mbps) ce qui demande une capacité de gestion plus performante.

Le Système de transmission SDH appartient dans la couche transport du modèle de référence de l'Open System Interconnection OSI (voir annexe).

La hiérarchie synchrone ou SDH se distingue essentiellement de la hiérarchie plésiochrone ou PDH par la distribution d'horloge à tous les niveaux du réseau réduisant les écarts d'horloge. Les signaux sont encapsulés dans un container.

A chaque container est associé un surdébit destiné à l'exploitation de celui-ci. Le container et le sur-débit constituent un container virtuel (ou VC pour Virtual Container en anglais). Un pointeur (sur-débit) pointe sur la charge utile de la trame. Lorsque l'horloge source n'est pas en phase avec l'horloge locale, la valeur du pointeur est incrémentée ou décrémentée. L'utilisation de ces pointeurs permet d'insérer ou d'extraire un train numérique de différents débits sans être contraint de reconstituer toute la hiérarchie de multiplexeurs. Ce dernier point constitue l'un des principaux avantages de la hiérarchie SDH par rapport à la PDH.

Comme il est juste question d'en parler synchrone : SDH en Europe et SONET (*Synchronous Optical NETwork*) aux Etats-Unis. La hiérarchie SDH fixe un premier niveau (trame de base) à 155,52Mbps (STM-1, *Synchronous Transport Module – level 1*) et SONET pour STS-1 (*Synchronous Transport Signal – level 1*) ou OC1 (*Optical Carrier 1*). Le tableau suivant donne la correspondance entre les deux hiérarchies.

SONET	SDH	Débit Mbit/s	Accès ATM
OC1		51,84	
OC3	STM-1	155,52	OUI
OC9		466,56	
OC12	STM-4	622,08	OUI
OC18		933,12	
OC24		1244,16	
OC36		1866,24	
OC48	STM16	2488,32	OUI

Tableau 4.01 : tableau des débits SONET/SDH

- La trame de base STM-1 est structurée en octets et possède les caractéristiques suivantes :
  - Taille : 2430 octets organisés dans 9 rangées et 270 colonnes
  - Durée : 125µs, c'est à dire synchronisé sur le 8kHz et donc un débit de 155Mbps
- Il y a trois zones dévolues aux informations suivantes :
  - La capacité utile (ou payload) qui est l'information utile, c'est à dire celle de l'utilisateur (comme un E1 d'un faisceau entre 2 commutateurs),
  - Les pointeurs
  - Le sur-débit de section (ou SOH pour Section OverHead en anglais) qui est réservé à l'exploitation.

Le SOH et les pointeurs occupent les 9 premières colonnes de chaque trame, soit 81 octets, il reste donc 150,34 Mbps pour la partie utile. A partir du STM-1, on peut construire des multiplex supérieurs STM-n par entrelacement d'octets. Les STM-n suivants sont actuellement normalisés :

STM-n	Débits	Supports
STM-1	155 Mbps	FO; Radio; coax
STM-4	622 Mbps	FO
STM-16	2,5 Gbps	FO
STM-64	10 Gbps	FO
STM-256	40 Gps	FO

*Tableau 4.02 : Multiplex supérieurs STM-n.*

## 5. Performances des transmissions par fibre optique[4][11][17][20]

Les avantages de l'optique sont nombreux, notamment parce que les signaux sont mieux préservés, puisqu'ils ne sont pas perturbés par les bruits électromagnétiques, parmi d'autres nombreux avantages apportés par la fibre optique, citons :

- ❖ Une très large bande passante de l'ordre de 1 GHz jusqu'à 1km
- ❖ Un faible encombrement
- ❖ Une grande légèreté
- ❖ Une très faible atténuation
- ❖ Une très bonne qualité de transmission
- ❖ Une bonne résistance à la chaleur et au froid

La fibre optique présente toutefois quelques difficultés d'emploi :

- ❖ Difficultés de raccordement aussi bien entre deux fibres qu'entre une fibre et le module d'émission ou de réception
- ❖ Les dérivation sont difficiles à réaliser, l'affaiblissement qui en découle dépassant souvent 10 dB.

La fibre optique est particulièrement adaptée aux liaisons point à point numériques.

## 6. Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu le principe de la fibre optique et sa mise en œuvre pour son utilisation dans les systèmes de communication, plus précisément, dans le réseau de transmission. La technologie des fibres optiques est aujourd'hui très développée et les industriels font des recherches de plus en plus foncées permettant d'avoir des débits de plus en plus élevés, ainsi, l'utilisation des fibres optiques devient indispensable, de nos jours, dans le système de transmission longue distance surtout

et même dans le réseau métropolitain pour assurer le transport d'une importante information contenant des différents services hauts débits comme le multimédia.

Chez nous, à Madagascar, l'installation de la fibre optique sera achevée bientôt et sera opérationnelle d'ici peu. Pour cela, on a besoin d'un système permettant d'interconnecter les réseaux déjà existant avec ce nouveau système de transmission.

Dans la deuxième partie de ce travail, on va voir le principe de l'interfaçage des systèmes cellulaires CDMA avec la transmission par fibre optique qui est le principal but de ce travail.

## **DEUXIEME PARTIE : Cas pratique**

## CHAPITRE IV : Interfaçage CDMA/Fibre optique

### 1. Introduction

Dans le chapitre II, on a vu les différentes générations de téléphonie commençant par la première génération qui limite le nombre d'abonné au nombre de canaux radio seulement ; la deuxième génération utilise le concept cellulaire pour palier à cette limite et utilise la technique de multiplexage temporel pour accroître le nombre d'abonnés, mais en terme de débit, cette génération ne permet pas de répondre aux besoins des utilisateurs actuels, d'où le choix du système cellulaire CDMA qui permet d'assurer un débit suffisant pour assurer des services multimédias et une grande disponibilité du système comme réseau d'accès. Et pour la transmission, on a besoin d'un système permettant un débit assez élevé pour supporter ces informations.

Vu l'évolution technologique actuelle sur la transmission par fibre optique et les performances de celle-ci comme dites dans le chapitre III, ainsi que l'installation du backbone en fibre optique à Madagascar, on choisit ce support comme système de transmission pour l'acheminement des services des utilisateurs.

Dans la suite de ce travail, on va voir comment se fait l'interface entre ces deux systèmes.

### 2. Interfaçage CDMA-Fibre optique[5][10][12][13][15][18][21][22][24]

Actuellement, avec la forte croissance du nombre d'utilisateurs, ainsi que la largeur des bandes requises pour des divers services, les systèmes de générations antérieures n'arrivent plus à satisfaire les besoins des usagers à cause de leur saturation et leur bande trop étroite pour des services comme la visiophonie, les télédiffusions même la transmission des données des entreprises. La nouvelle génération de radiocommunication avec les mobiles essaye de donner des moyens pour contourner ces contraintes avec les systèmes cellulaires CDMA.

Dans ce paragraphe, l'architecture de l'interfaçage entre le système cellulaire CDMA avec la transmission par fibre optique sera détaillée en analysant le fonctionnement des diverses entités internes qui constituent le système.

#### 2.1. Architecture du système

Les systèmes de radiocommunication cellulaires ne sont que des simples réseaux de téléphonie cellulaire mais aussi bien une boucle d'accès pour accéder à des systèmes de transmission de données et surtout, utilisé actuellement pour la connexion à Internet à domicile.

Avec la transmission par fibre optique, on obtient une architecture fonctionnelle comme indiquée par la figure suivante :

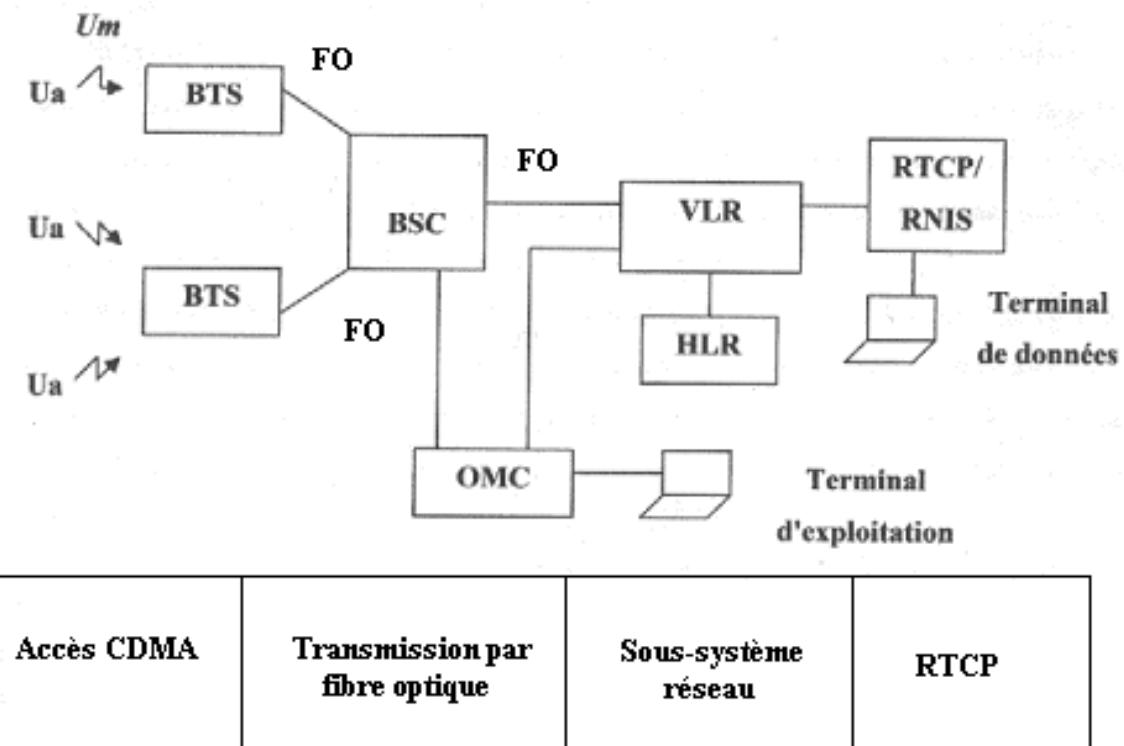


Figure 4.01. :Architecture système cellulaire CDMA

### 2.1.1. La station mobile

Dans la partie accès CDMA se trouve la station mobile qui est l'équipement utilisé par les abonnés. Cet équipement est composé d'un émetteur – récepteur permettant la communication des utilisateurs entre eux par l'intermédiaire d'une BTS à travers le réseau.

### 2.1.2. Les stations de base BTS

La cellule est l'unité de base pour la couverture radio d'un territoire. Une station de base ou BTS assure la couverture électrique d'une cellule du réseau. Elle fournit un point d'entrée dans le réseau aux abonnés présents dans sa cellule pour recevoir ou transmettre des appels. La superficie d'une cellule varie grandement entre les espaces urbains et les espaces ruraux selon la densité du trafic écoulé ; dans les espaces urbains où la taille de cellule est réduite pour augmenter la capacité de communication par unité de surface. Le rayon d'une cellule peut atteindre les limites inférieures imposées par les coûts d'infrastructure et les conditions de propagation des ondes radios (environ 200m). En revanche, dans les espaces ruraux, la densité de trafic est beaucoup plus faible, les dimensions des cellules sont donc beaucoup plus grandes, la puissance des émetteurs fixant les limites.

Dans le réseau CDMA, les stations de base sont des armoires contenant les émetteurs récepteurs radio, ainsi que les équipements d'interface avec les BSC. Chaque station de base est en

effet relié à un BSC donné par une liaison optique pour supporter la forte densité d'information dans les BTS que permet la technique à étalement de spectre, des trames MIC, au standard européen (EI) ou nord-américain (T1)représentent les trafics d'abonnés. Le MIC E1 est un multiplexage de 30 canaux à 64kbps formant une trame à 2Mbps tandis que le standard T1 forme une trame à 1,55Mbps (voir annexe).

#### 2.1.3. Les contrôleurs de station de base BSC

Un contrôleur de station de base contrôle une ou plusieurs stations. Il remplit différentes missions de communication et d'exploitation. Pour les trafics d'abonné venant des BTS, c'est un concentrateur, et pour les trafics issus du commutateur, c'est un aiguilleur vers les stations de base destinataire. Pour l'exploitant, le contrôleur gère les ressources de sa zone constituée par l'ensemble des cellules qui lui sont rattachées.

Les systèmes cellulaires CDMA prévoient un BSC composé de deux éléments principaux, le transcodeur et le gestionnaire de mobilité. Par la fonction transcodeur, il réalise le transport des signaux depuis et vers les stations de base sous forme codée. Il améliore nettement l'efficacité de traitement des fonctions de mobilité comme le transfert intercellulaire, en déchargeant le commutateur d'un certain nombre de calculs ainsi que les stations de base par la combinaison des fonctions de contrôle d'appel et le codage de la parole dans une entité centralisée. Il sera relié au centre de commutation par une boucle SDH qui procure à l'opérateur de réseau la possibilité de choisir des commutateurs et des BSC de constructeurs différents.

La fibre optique est surtout utilisée dans cette partie puisque c'est cette partie qui supporte le maximum d'information. En effet, le BSC rassemble tous les trafics des BTS qu'il contrôle, donc on a besoin d'un système de transmission très performant. D'où la justification de l'interfaçage.

#### 2.1.4. Le commutateur

Le commutateur assure l'interconnexion du réseau de radiotéléphonie avec le réseau téléphonique public. Le commutateur est un nœud très important, il donne un accès vers les bases de données du réseau et vers le centre d'authentification qui vérifie les droits des abonnés et donc à leur localisation dans le réseau, mais aussi à la fourniture de tous les télé services offerts par le réseau.

#### 2.1.5. L'enregistreur de localisation nominal HLR

L'enregistreur de localisation nominale est une base de données contenant les informations relatives aux abonnés du réseau. Un réseau peut posséder plusieurs de ces bases selon les critères de capacité des machines d'exploitation choisie par l'exploitant. Dans cette base de données, un enregistreur décrit chacun des abonnements avec le détail des options souscrites et des services

supplémentaires accessibles à l'abonné. A ces informations statiques sont associées d'autres informations dynamiques comme la dernière localisation connue de l'abonné ainsi que l'état de son terminal (en service, en communication ou hors service).

#### 2.1.6 Le centre d'exploitation et de maintenance OMC

Le centre d'exploitation et de maintenance est l'entité de gestion et d'exploitation du réseau. L'entité regroupe la gestion administrative des abonnés et la gestion technique des équipements. La gestion administrative et commerciale du réseau d'intéresse aux utilisateurs en terme de création, modification, suppression et facturation. Une bonne partie de cette gestion administrative interagit avec la base de données HLR.

La gestion commerciale demande au commutateur du réseau des statistiques pour connaître les habitudes et les attentes des utilisateurs et suivant les indications recueillies, la direction commerciale module la tarification pour étaler le trafic dans la journée ou développe les services les plus demandés pour le bien de l'exploitant.

La gestion technique veille à garantir la disponibilité et la bonne configuration matérielle des équipements, la suppression des dysfonctionnements, des versions logicielles, des performances et de la sécurité. La plupart des tâches de gestion sont réalisées à distance par des équipements du réseau par télé-exploitation à travers le même support de transmission qui est la fibre optique.

#### 2.1.7 L'enregistrement de localisation de visiteur VLR

Le VLR est une base de données associée à un commutateur MSC. Sa mission est d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau. Cette gestion est importante à chaque instant, le réseau doit connaître la localisation de tous les abonnés, c'est à dire savoir dans quelle cellule se trouve chacun d'eux. Dans le VLR, un abonné est décrit par un identifiant et une localisation. Le réseau doit connaître les informations qui sont fondamentales pour être en mesure d'acheminer un appel vers un abonné. A chaque changement de cellule d'un abonné, le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visité et le HLR de l'abonné.

Un sous système réseau appelé NSS (Network Sub System) se compose des équipements suivants : HLR, AUC, MSC, VLR. Ses missions sont la gestion des appels, la gestion de la mobilité, la gestion des services supplémentaires.

### 2.2. *Les canaux d'accès*

Dans un système CDMA Nord-américain, la voix et les données sont transmises dans un canal de 1.23 MHz de largeur. Cette largeur de bande résulte du débit choisi pour la séquence pseudo aléatoire d'élargissement de spectre.

Si le système CDMA est adjacent à un autre système de radiocommunication, il est nécessaire de prévoir une bande de garde entre le système CDMA et l'autre système. Cette bande de garde est définie comme la bande de fréquence minimale requise afin que le niveau d'interférence créé par un usager du système voisin soit inférieur au bruit thermique de chaque récepteur CDMA. La bande de garde dépend du type de système voisin, par exemple, la proximité d'un système analogique AMPS nécessite une bande de garde de 0,54 MHz (soit 0,27MHz à chaque extrémité du canal CDMA). Au sein d'un système CDMA à plusieurs canaux, l'espacement minimal entre les fréquences centrales de deux consécutifs est égal à 1,24MHz.

Les canaux logiques CDMA sont les unités physiques nécessaires pour transmettre une conversation ou administrer le système. Le nombre de canaux logiques sur un site donné dépend de nombreux facteurs comme le trafic à écouler, l'importance des données ainsi que le nombre de transferts intercellulaires à gérer.

On distingue deux catégories de canaux logiques :

#### 2.2.1 Canaux de trafic

Ces canaux transportent les signaux des appels téléphoniques, c'est à dire la voix et les informations de contrôle associées à une communication donnée entre le mobile de l'abonné et la station de base.

#### 2.2.2 Canaux de contrôle

Ces canaux sont composés de plusieurs canaux pour le contrôle du déroulement d'une communication :

- Canal pilote : utilisé par le mobile pour se synchroniser sur le réseau et identifier les cellules qu'il reçoit. Il y a un canal pilote par cellule.
- Canal de synchronisation : il transmet au mobile les informations relatives à l'identification de la cellule, au contrôle de puissance et au codage pseudo aléatoire.
- Canal de messagerie : il établit la communication à partir de la station de base vers le mobile. C'est sur ce canal que la station de base appelle le mobile lui transmet les informations nécessaires à l'établissement de l'appel et à l'allocation d'un canal de trafic.
- Canal d'accès : il établit la communication du mobile vers la station de base quand le mobile n'utilise pas un canal de trafic. Le canal d'accès est utilisé pour émettre un appel et répondre à un message de la station de base. Le canal d'accès est apparié avec un canal de messagerie.

## 2.2. Acheminement d'appel

Pour établir un appel, un utilisateur du réseau compose le numéro du destinataire. Cette demande arrive au BTS de sa cellule, puis traverse le BSC pour aboutir au commutateur. Si son droit d'usage est vérifié lors du passage dans la base de données HLR, le BSC réserve un canal pour établir la communication. Aussi, la procédure de communication est effectuée et que l'OMC prend en compte la communication si le destinataire correspondant a accepté d'établir la communication.

Le déroulement d'une telle liaison se fait comme suit :

- Chaque station de base émet une fréquence pilote différente. Le mobile cherche la fréquence pilote la plus forte.
- Le mobile obtient la synchronisation et les informations système de synchronisation.
- Le mobile échange les informations d'établissement d'appel sur les canaux sur les canaux de messagerie et d'accès.
- Le mobile émet le numéro appelé sur le canal d'accès, la station affecte un canal de trafic au mobile par l'intermédiaire du canal de messagerie.
- La communication peut commencer

Le paragraphe qui suit concerne l'interface entre la partie électrique (CDMA) et la partie optique (Fibre optique).

## 3. Fonctionnement de l'interface Optique\Electrique[1][4][5][6][5][9][11][12][13][18][20][21]

### 3.1 Synoptique de la liaison

Une connexion optique nécessite un émetteur et un récepteur. Différents types de composants sont envisageables, les informations numériques sont modulées par un émetteur de lumière qui peut être une Diode ElectroLuminiscente (DEL) ou une Diode Laser (DL).

Voici la structure d'une liaison par fibre optique :

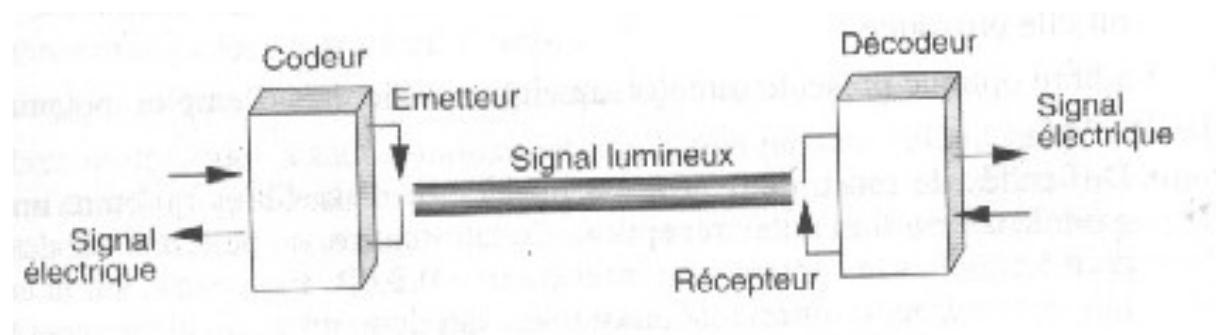


Figure 4.02 : Synoptique d'une liaison optique.

Le phénomène de dispersion est moins important si l'on utilise un laser, lequel offre une puissance optique supérieure aux DEL mais à un coût plus important. De plus, la durée de vie d'un laser est inférieure à celle d'une diode électroluminescente. Le faisceau lumineux est véhiculé à l'intérieur d'une fibre optique et au récepteur, on utilise photodiodes et les phototransistors.

Les composants extrémisés, émetteurs et récepteurs, limitent actuellement les vitesses que l'on peut atteindre sur les fibres optiques.

Dans notre cas, c'est à dire « Interfaçage des systèmes cellulaires CDMA avec la transmission par fibre optique », on utilise la fibre optique dans le système de transmission. Pour cela, comme on l'a déjà vu dans les chapitres précédents, un système cellulaire est composé d'un certain nombre de cellules contenant chacune d'une station de base (BTS) qui utilise le multiplexage par codage pour identifier ses abonnés. Une BTS utilise la liaison Radio pour communiquer avec les terminaux mobiles des abonnés, donc celui-ci fonctionne en mode électrique. Par contre, pour la transmission, c'est à dire, la liaison entre la BTS et son contrôleur pour aller jusqu'au commutateur, on utilise la fibre optique qui fonctionne utilisant la lumière pour transmettre l'information. Le passage entre le BTS et la fibre optique se fait alors par une *interface Electrique/Optique/Electrique*.

Dans les étapes suivantes, on va expliquer en détail les protocoles utilisés pour la liaison entre ces deux systèmes Electrique et optique.

### 3.2 **CDMA vers Fibre optique**

Dans un système CDMA, tous les trafics des abonnés sont confondus dans un seul signal, signal étalé ayant une largeur de bande plus large. Dans un BTS, chaque section reçoit les signaux venant des terminaux mobiles des abonnés, donc un seul signal large bande contient toutes les informations des abonnés ayant communiqué dans un instant donné. Pour distinguer chaque abonné, on lui attribut un code secret et unique, seul le BTS et le terminal connaissent ce code, et après le processus de désétalement, on obtient l'information correspondant à chaque abonné.

Le schéma suivant donne les étapes suivis pour transmettre les informations d'un BTS jusqu'au support de transmission qui est la fibre optique :

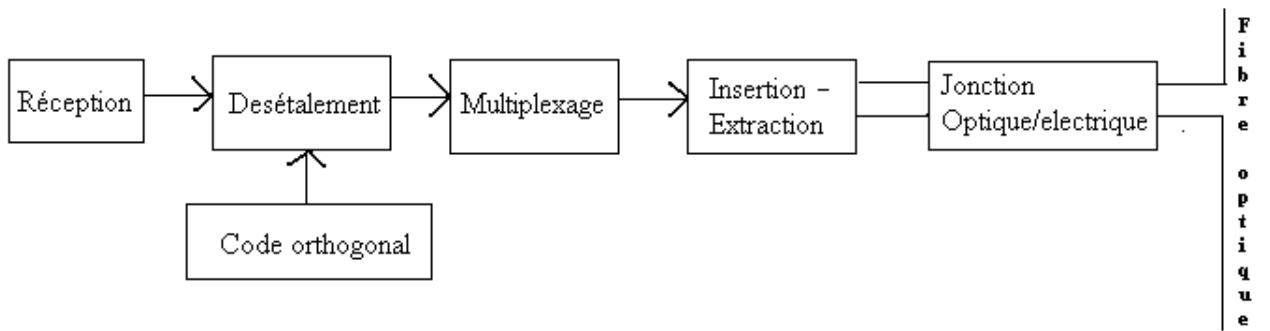


Figure 4.03 : Liaison BTS-Fibre optique.

### 3.2.1 Réception

La BTS qui est un système d'Emetteur/Récepteur, reçoit les ondes Radiofréquences émises par les terminaux des abonnées par l'intermédiaire de son antenne sectorielle. Un contrôle de puissance comprend le contrôle en boucle ouverte et le contrôle en boucle fermé. Le contrôle en boucle ouverte s'exécute lorsque la station mobile détermine le niveau du signal pour accéder à la station de base en accord avec l'intensité du signal pilote reçu. La contrôle en boucle fermée s'exécute quand la BTS commande la puissance d'émission de la station mobile en boucle.

Un Handoff assure le maintien de la qualité et la non coupure de la transmission en cas de mobilité de l'utilisateur qui s'effectue au niveau d'une cellule à une autre ou au niveau d'un secteur à un autre. Respectivement, le transfert est appelé Soft handoff et Softer handoff.

Chaque abonné émet un signal étalé dans la même fréquence, on dit que chaque utilisateur est considéré comme une source d'interférence au niveau des autres utilisateurs. Pour contrôler ces utilisateurs multiples, on utilise des récepteurs dits « *Récepteurs RAKE* » (voir annexe). Les signaux de chaque utilisateur s'additionnent dans le récepteur et celui-ci soustrait les interférences venant d'autres utilisateurs pour avoir le signal utile. Un système de codage orthogonal permet de distinguer chaque canal correspondant à chaque abonné, la détection Multi-Utilisateurs fournit un moyen pour réduire les effets de l'interférence due à l'accès multiple, augmentant la capacité du système. Ce récepteur permet de combattre les effets proche-lointain inhérents à tout système CDMA.

### 3.2.2 Désétalement

Comme on a déjà vu dans le chapitre II, le désétalement est un processus pour enlever le signal utile dans le signal étalé. Comme son nom l'indique, l'accès multiple à répartition de code ou CDMA utilise un système de codage orthogonal pour identifier les informations des utilisateurs noyées dans le bruit. Pour cela, l'opération de désétalement consiste à multiplier le signal étalé par le code de l'utilisateur en question, et comme les codes sont orthogonaux, le produit scalaire entre deux

codes différents est nul tandis que le produit par lui-même donne le carré de son module, donc après avoir fait la multiplication entre le code et le signal étalé, toutes les autres informations des autres utilisateurs considérées comme des interférences sont nulles, seule l'information correspondant au code unique, donc correspondant à un utilisateur donné reste.

Pour chaque utilisateur, on fait le même processus avec leur propre code, ainsi on obtient des trains binaires traduisant les opérations faites par les utilisateurs que l'on va transmettre au commutateur pour les traiter.

### 3.2.3 Multiplexage des canaux

Après la désétalement, on obtient des canaux ayant un débit constant selon le service demandé. Pour la parole par exemple (téléphonie), la normalisation limite le débit à 9600 bps pour transmettre la voie téléphonique.

Pour pouvoir transmettre ces canaux au central, on a besoin de les transiter dans un même support ayant un débit plus élevé : c'est le multiplexage. Ce dernier consiste à partager un support physique pour transmettre plusieurs canaux vers une même destination. Le multiplexage le plus utilisé dans le système de téléphonie est le Multiplexage par Impulsion Codée ou MIC. Le MIC consiste à transiter 30 voies téléphoniques avec une voie de synchronisation ainsi qu'une voie de signalisation à 8kbps, donc un MIC permet un débit de 2Mbps (voir annexe).

Donc selon le trafic et le débit utile à un service donné, on peut attribuer autant de MIC à une station de base pour que celle ci puisse gérer autant d'utilisateurs.

### 3.2.4 Insertion dans le système de transmission

La transmission se fait dans une fibre optique à travers une boucle SDH que l'on a déjà vu le principe dans le chapitre II. L'insertion s'effectue en deux étapes : multiplexage des LO-VC (Low Order Virtual Container) dans les HO-VC (high Order Virtual Container) et multiplexage des HO-VC dans les STM qui sont les trames de base dans la fibre optique. On passe ainsi des conduits LO aux conduits HO, puis des conduits HO à la section. Pour multiplexer et mettre en place les VC, on fait chaque fois usage des pointeurs pour rattraper le déphasage et assurer la synchronisation comme mentionnée.

Les signaux affluents, clients de la SDH, associés aux LO-VC, sont les affluents de base 1,5Mbps pour la norme américaine, 2Mbps pour la norme européenne qui correspondent aux VC-11 et VC-12 et les affluents PDH : 6Mbps, 34Mbps et 45Mbps qui correspondent aux VC-2 et VC-3. les signaux affluents, clients de la SDH, associés aux HO-VC sont le VC-3 et le VC-4 pour 45Mbps PDH et 140Mbps PDH. Le HO-VC a la même structure que le LO-VC et est donc constitué par

l'association d'un conteneur et d'un (HO-) POH. Le VC et le pointeur associé constituent le TU (Tributary-Unit) pour les LO-VC. L'assemblage de plusieurs TU constitue un TUG (Tributary Unit Group). Un concept identique existe pour les HO-VC : AU (Administrative Unit) et AUG (AU Group). L'assemblage des TUG dans un TUG d'ordre supérieur ne doit pas être homogène ce qui est une importante avec le PDH : par exemple, un TUG-3 peut être formé à partir de 7 TUG-2 différents, 4 TUG-2 transportant chacun 3 VC-12 et 3TUG-2 transportant chacun 4 VC-11.

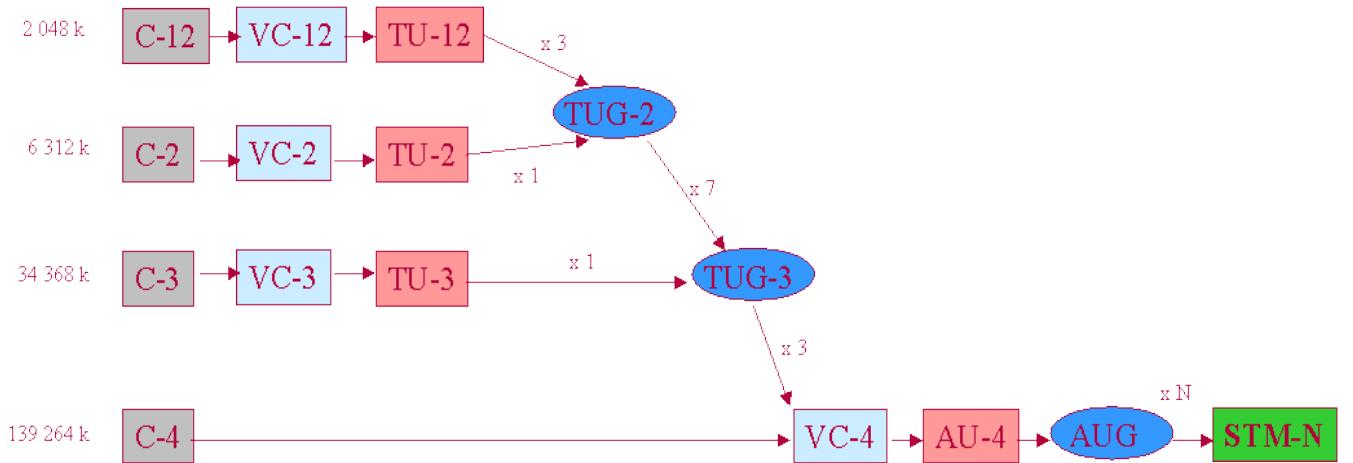


Figure 4.04 : Structure d'un multiplexage STM

Dans notre cas, le client est un MIC à 2Mbps donc celui de la norme européenne E1. Le transport des affluents 2Mbps dans le TU12 se fait comme suit :

❖ Principe du TU12

Le TU12 est similaire à une mini-trame STM1 et on y retrouve les 3 zones dont Pointeur, POH (Path OverHead) pour le VC12 et la charge utile.

En réalité, la trame de TU12 est organisée en une multi-trame de 4 trames distribuées sur 4 trames de VC4 consécutives ; le début de multi-trames est indiqué dans le SOH du VC4. il y a donc 4 VC12 qui sont mappés de synchronisme dans la projection (« mapping ») peut être corrigé au moyen d'un octet de justification, positive ou négative selon le cas.

❖ Projection du VC 12 dans le TU 12

Il y a 2 modes de projection et donc d'exploitation du VC12 :

- Le mode **flottant** (floating)
- Le mode **verrouillé** (locked)

Le mode flottant fait usage du pointeur dans son principe : le VC peut donc flotter à l'intérieur des trames : c'est le mode qui minimise le délai de projection et donc le délai de transport à travers le réseau (à chaque noeud il suffit de réajuster les pointeurs sans avoir besoin de tampons).

Le mode verrouillé, à l'inverse, a été défini pour simplifier le traitement des pointeurs (et donc avoir des équipements moins sophistiqués) et convient pour des applications point à point comme le transport des faisceaux de E1 entre deux commutateurs. Les trames de E1 sont synchronisées sur la trame de TU et projetées à des emplacements fixes dans le TU ; les pointeurs sont donc inutilisés et il n'y a plus non plus de multi-trame.

❖ Projection de l'affluent 2 Mbps dans le VC12

Pour la projection de l'affluent 2Mbps dans un container, 3 possibilités sont offertes :

- (1) La projection *asynchrone*, qui permet le transport transparent du 2Mbps mais sans possibilité d'observation de bits spécifiques.
- (2) La projection *bit synchrone*, qui permet l'observation de bits spécifiques mais sans possibilité de détecter la trame et donc les TS.

Ces deux modes utilisent tous les deux des bits de justification pour rattraper les décalages d'horloge entre l'affluent et l'horloge du noeud SDH d'assemblage.

- (3) La projection *byte synchrone*, qui permet d'accéder à tous les bits et à tous les TS à 64 kbps sans devoir passer par un calcul de pointeurs : AU+TU

Dans les deux premiers cas, il y a donc un traitement de justification ; dans le troisième cas, il y a un traitement de synchronisation préalable. Pour que les mécanismes de projection soit compatibles, le mode verrouillé n'est possible qu'avec la projection *byte synchrone*.

Ainsi, les informations des utilisateurs sont incluses dans le TU 12 puis dans le TUG pour arriver dans la trame STM et distinguées les une des autres par leur IT dans le MIC et par son pointeur dans la trame STM. La structure d'une trame ainsi obtenue est donnée par la figure suivante :

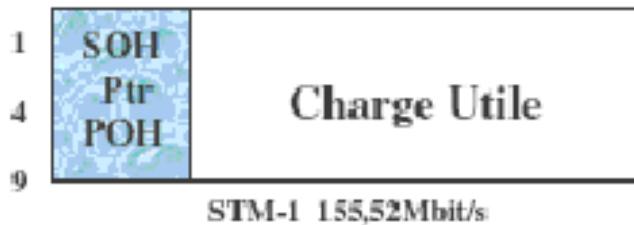


Figure 4.05 : Structure d'une trame STM-1

2430 octets par une trame de 125µs.

Débit : 155,520 Mbps

Charge utile : 150,336 Mbps.

RSOH : Regenerator Section OverHead : utilisé pour dialoguer avec/entre les régénérateurs.

MSOH : Multiplexer Section OverHead : utilisé pour dialoguer avec/entre les multiplexeurs

SOH=RSOH+MSOH : Section OverHead

POH : Path OverHead : utilisé pour caractériser le service transporté.

### 3.2.4 Jonction optique

Comme la trame STM est déjà un train binaire, on peut facilement la transiter dans la fibre optique par l'intermédiaire d'un émetteur optique comme le Laser ou la diode super Luminescente DSL. Ce composant transforme le train binaire STM électrique en un faisceau de lumière ayant une longueur d'onde bien définie.

### 3.3 Fibre optique vers CDMA

Dans une fibre optique, on a beaucoup d'autres informations qui transitent avec celles utiles pour les services d'un système cellulaire. Ces informations sont contenues dans les trames STM sous forme de faisceau lumineux.

Le processus de récupération des trafics utilisés par les stations de base dans la trame STM optique est complètement l'inverse de ce qu'on a vu dans le paragraphe précédent.

#### 3.3.1 Jonction électrique

Une jonction électrique sert à transformer le faisceau de lumière recueilli dans la fibre en signal électrique par l'intermédiaire des composantes optoélectroniques comme les phototransistors ou les photodiodes. Le signal électrique ainsi obtenu peut être manipulé par des composants électroniques et des circuits intégrés pour extraire les trafics des utilisateurs.

#### 3.3.2 Extraction des trafics

Le dépouillement de la trame STM permet d'avoir des VC, adressés par les pointeurs par rapport au début de la trame, qui sont composés d'un conteneur et d'un POH, le conteneur contient la

charge utile tandis que le POH est un sur-débit de conduit qui donne le chemin ; le POH permet donc de déterminer à quelle destination passe la charge utile.

Dans les conteneurs se trouvent les trafics multiplexés temporellement pour donner des MIC. Ces derniers passent dans la station de base qui va ensuite demultiplexer pour récupérer les informations des utilisateurs.

### 3.3.3 Envoi des informations aux utilisateurs

Après avoir demultiplexé les 30 voies d'un MIC récupéré dans la trame SDH de la fibre optique, la station de base attribut les codes des utilisateurs qui ont demandé le service, multiplie les codes avec les informations pour avoir le signal étalé puis transmet celui-ci par l'intermédiaire des antennes sectorielles.

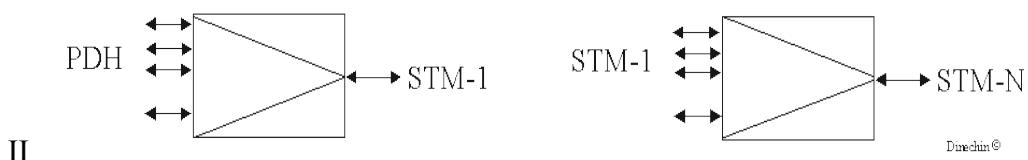
Les terminaux des utilisateurs connaissent leurs propres codes, reçoit le signal, élimine les interférences des autres utilisateurs. Ces récepteurs comprennent des « doigts », éléments récepteurs individuels indépendants comprenant chacun le générateur de séquence de code et le corrélateur permettant de réaliser l'opération de désétalement sur le train binaire. Il y a un doigt par train de signal et les signaux désétalés sont ensuite traités dans un sommateur après avoir traversé des lignes à retard permettant de les remettre en phase. Sur l'entrée, un filtre adapté prélève une information sur les profils de retard pour régler les délais de déclenchement de la détection des éléments de signal entrant par les différents doigts.

## 3.4 Fonctionnement des équipements

Pour assurer l'interface entre les systèmes CDMA et la fibre optiques, différents équipements sont mis en œuvre :

### 3.4.1 Les multiplexeurs d'accès

Ils multiplexent N signaux PDH pour former une trame STM-1 ou N signaux SDH pour former une trame STM-N



III Figure 4.06 : Multiplexeur d'accès.

### 3.4.2 Brasseurs (DXC)

Ce sont les équipements les plus complexes et les plus flexibles. Par rapport aux ADM, il existe N entrées – sorties de niveaux PDH ou SDH. Ils jouent le rôle de nœud de triage.

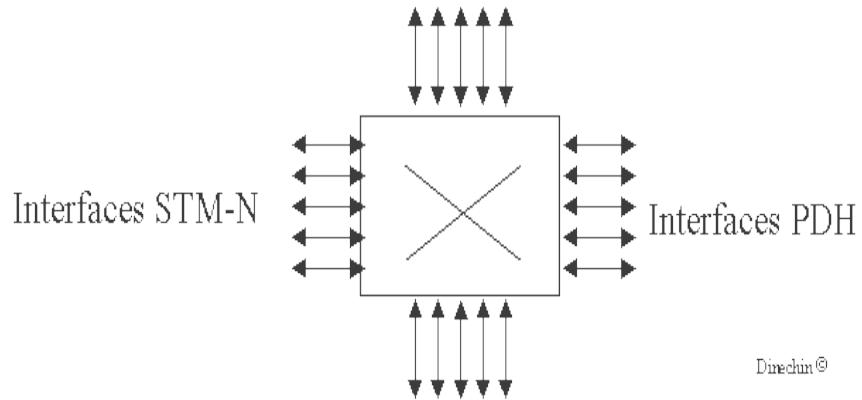


Figure 4.07 : Brasseur

Les brasseurs permettent l'optimisation de l'utilisation des ADM, des fibres optiques, des commutateurs par l'augmentation du remplissage des jarretières STM-1. Ils permettent aussi d'éviter de nombreuse opération de câblage puisqu'une fois que deux sous réseau sont reliés par un brasseur, il est possible d'aiguiller de l'un à l'autre des liaisons sans opérations manuelles, mais seulement avec des commandes depuis les gestionnaires de réseau.

### 3.4.3 Multiplexeurs à insertion/extraction

Ces équipements appelés ADM (Add Drop Multiplexer) ou MIE (Multiplexeur à Insertion/Extraction) permettent d'insérer et d'extraire le long d'un circuit haut débit STM-N des signaux de niveaux bas débit (2 à 155Mbps)

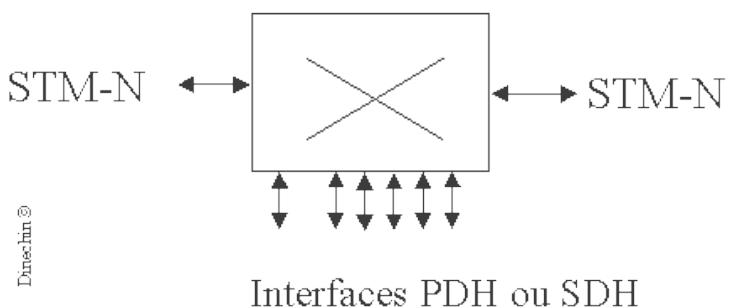


Figure 4.08 : ADM : ADD Drop Multiplexeur

La matrice permet de réaliser des connexions sur les conduits. Ces équipements se trouvent dans des architectures en ligne ou en anneaux.

### 3.4.4 Les régénérateurs

Ils régénèrent le signal optique, cet équipement permet d'augmenter la distance entre deux sites d'extraction. Ce n'est pas une régénération analogique : le RSOH est extrait, analysé puis un nouveau RSOH est inséré. Le reste de la trame n'est pas modifié. Les bits sont remis en forme, re-amplifiés et re-synchronisés. Les seuls changements sont le taux d'erreur, les données de l'exploitant

et le transport de la gestion. Il est donc possible d'envoyer des commandes au régénérateurs, de récupérer ses alarmes (d'environnement ou bien sur le trafic).

#### **4. Applications[5][17][21]**

L'accès multiple à répartition de code est une technologie très récente, elle permet de multiplexer les signaux des différents utilisateurs dans une même bande passante plus large. La transmission par fibre optique est actuellement le système le plus performant en terme de bande passante puisqu'il permet de transmettre jusqu'à plusieurs Gbps.

Ainsi, l'interfaçage entre ces technologies permet donc d'avoir un système très performant qui permet de gérer les services déjà existant comme la téléphonie, la messagerie mais aussi d'autres applications plus gourmandes en terme de débit.

##### **4.1. Services multimédias**

Actuellement, le service de téléphonie ne permet plus de satisfaire les besoins des utilisateurs, ils ont besoin de nouveaux services dit services multimédias. Les services multimédias permettent de transmettre en même temps la parole ainsi que des images fixes ou mobiles, des animations ou des données informatiques comme des textes, simulations, musiques qui ont tous besoin de bande passante énorme.

On peut citer :

- ❖ la visiocommunication qui permet de transmettre en même temps la parole et l'image de son ou ses correspondants,
- ❖ la vidéocommunication qui permet de transmettre des émissions télévisées,
- ❖ les jeux en lignes qui sont des applications informatiques distribuées permettant de jouer avec un adversaire situé à un endroit quelconque,
- ❖ le télé-enseignement qui est aussi une application informatique permettant d'avoir des cours, des explications, des images, des animations ou des simulations venant des professeurs distants
- ❖ la télé-médecine qui est une application permettant de transiter les données physiologiques des malades et de donner et suivre des traitements à distances.
- ❖ La transmission de données pour les entreprises.

##### **4.2. Services de masse**

La deuxième génération de téléphonie mobile s'est limitée sur la saturation du réseau lorsque le nombre d'utilisateurs dépasse le nombre de canaux prévus. Par contre, le système cellulaire CDMA interfacé avec la transmission par fibre optique utilise le multiplexage par codage

pour le réseau d'accès, donc le nombre d'abonnés pouvant se connecter en même temps n'est plus limité au nombre de canal, le système CDMA peut attribuer autant de code pour les utilisateurs désirant demander des services aussi gourmands en débit. En plus la transmission vers les commutateurs ne présente aucun problème puisque le débit de la fibre optique est quasiment infini par rapport aux besoins des utilisateurs actuels.

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu le principe de l'interface entre le système cellulaire CDMA avec la transmission par fibre optique. Le système CDMA est un système pouvant gérer un grand nombre d'utilisateurs, donc on a besoin d'un système très performant pour transporter les informations des utilisateurs dans les stations de base vers les commutateurs pour les demandes de services ainsi que le service proprement dit. Ainsi, la fibre optique est utilisée pour ce transport à cause de sa capacité très performante en terme de débit.

Pour cela, la hiérarchie numérique SDH est la solution adéquate puisqu'elle permet transporter d'insérer et d'extraire facilement les affluents venant des stations de base en utilisant des équipements spécialisés appelés ADM. En plus, ce système de transmission est plus rapide et utilise moins d'équipements donc plus facile à mettre en œuvre.

## CHAPITRE V : Simulation d'une liaison CDMA-Fibre optique

### 1. Introduction

Dans les chapitres précédents, des études théoriques permettent de comprendre le fonctionnement des systèmes pour arriver à la définition d'une interface permettant d'utiliser les systèmes cellulaires CDMA avec la transmission par fibre optique. Une fois définie, on doit tester la performance d'un tel système. Différentes méthodes sont possibles pour cela, la réalisation en laboratoire en est la meilleure. Mais comme nous n'avons pas le moyen pour le faire, on procède à une deuxième méthode : la simulation.

Ce chapitre a pour but de décrire les objectifs de la simulation, son fonctionnement et les résultats attendus, après avoir justifier le choix du langage ainsi que l'environnement de développement. Une démonstration sera prévue vers la fin du chapitre, on y trouvera les différentes manipulations ainsi que la lecture des résultats.

### 2. Description de la simulation[19]

Il s'agit d'un logiciel développé sous JAVA pour simuler le comportement d'un système cellulaire CDMA utilisant la transmission par fibre optique.

#### 2.1 *Choix des outils de développement*

Comme dit précédemment, c'est un logiciel développé avec le langage JAVA. On a choisi le langage JAVA de Sun Microsystem à cause de sa performance dans le développement d'application graphique. De plus, dans le logiciel, on fait varier différents paramètres pour simuler le comportement du système lors des évènements qui se produisent fréquemment, ainsi, le logiciel utilise des bases de données pour stocker les paramètres de ces variables et pour enregistrer les résultats obtenus ; le langage JAVA permet facilement les accès dans les systèmes de gestions de bases de données (SGBD) les plus reconnus. La portabilité de ce langage lui permet d'exécuter la simulation sur n'importe quelle plate-forme logiciel ou matériel.

Pour le développement proprement dit, on a besoin d'un environnement pour le codage, la compilation ainsi que pour les tests modulaires et la mise en œuvre à la fin. Pour cela, nous avons choisi Jbuilder de Borland avec sa version 9. C'est un environnement de développement intégré (EDI) permettant de concevoir facilement des interfaces homme-machine (IHM) avec des simples mouvements de souri pour donner des codes en JAVA. Ce EDI admet aussi des modules de programme prêt à utiliser qui permettent de réduire le nombre de ligne de programme surtout pour le développement d'application accédant à des bases de données relationnelles, comme dans ce logiciel,

avec l'outil *DataExpress*. Et finalement la version 9 de Jbuilder permet compiler le programme facilement et d'obtenir un programme exécutable natif JAVA.

Pour la gestion de la base de données, le logiciel Access de Microsoft office. C'est un système de base de données relationnelles fiables pour des petites applications qui ne requièrent pas beaucoup de sécurité. Donc Access convient bien à cette simulation puisque celle -ci n'utilise que quelques tables non confidentielles, donc on n'a pas besoin de système de sécurité ni de système de cryptographie.

## 2.2 Description du logiciel

Le logiciel de simulation est conçu pour mesurer les performances du système. Pour cela, on fait varier les paramètres qui influent sur le comportement du système notamment ceux de la fibre optique, du système CDMA ainsi que les besoins en débits des utilisateurs pour les services demandés.

Ces paramètres sont stockés dans une base de données Access dans le but de sauvegarder les paramètres des différents systèmes existant. Cette base de données est résumée dans le modèle logique suivant :

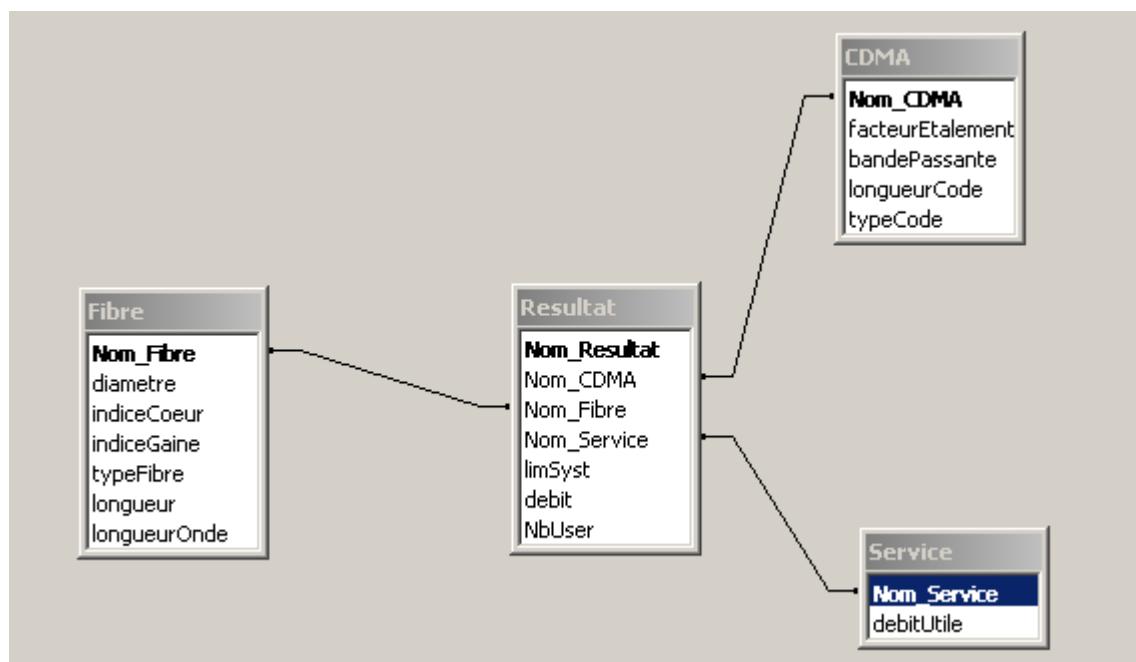


Figure 5.01 : MLD des paramètres techniques du système.

A l'exécution, le logiciel donne les comportements du système, c'est à dire, le débit offert, la disponibilité, ainsi que le nombre d'utilisateurs pouvant se connecter simultanément. Ces résultats sont sauvegardés dans une base de données dans le but d'avoir une idée sur les paramètres adéquats

lors de la conception d'un tel système. Le calcul se fait à partir des paramètres actifs du système et en fonction des connexions des utilisateurs avec ses services demandés selon l'algorithme suivant :

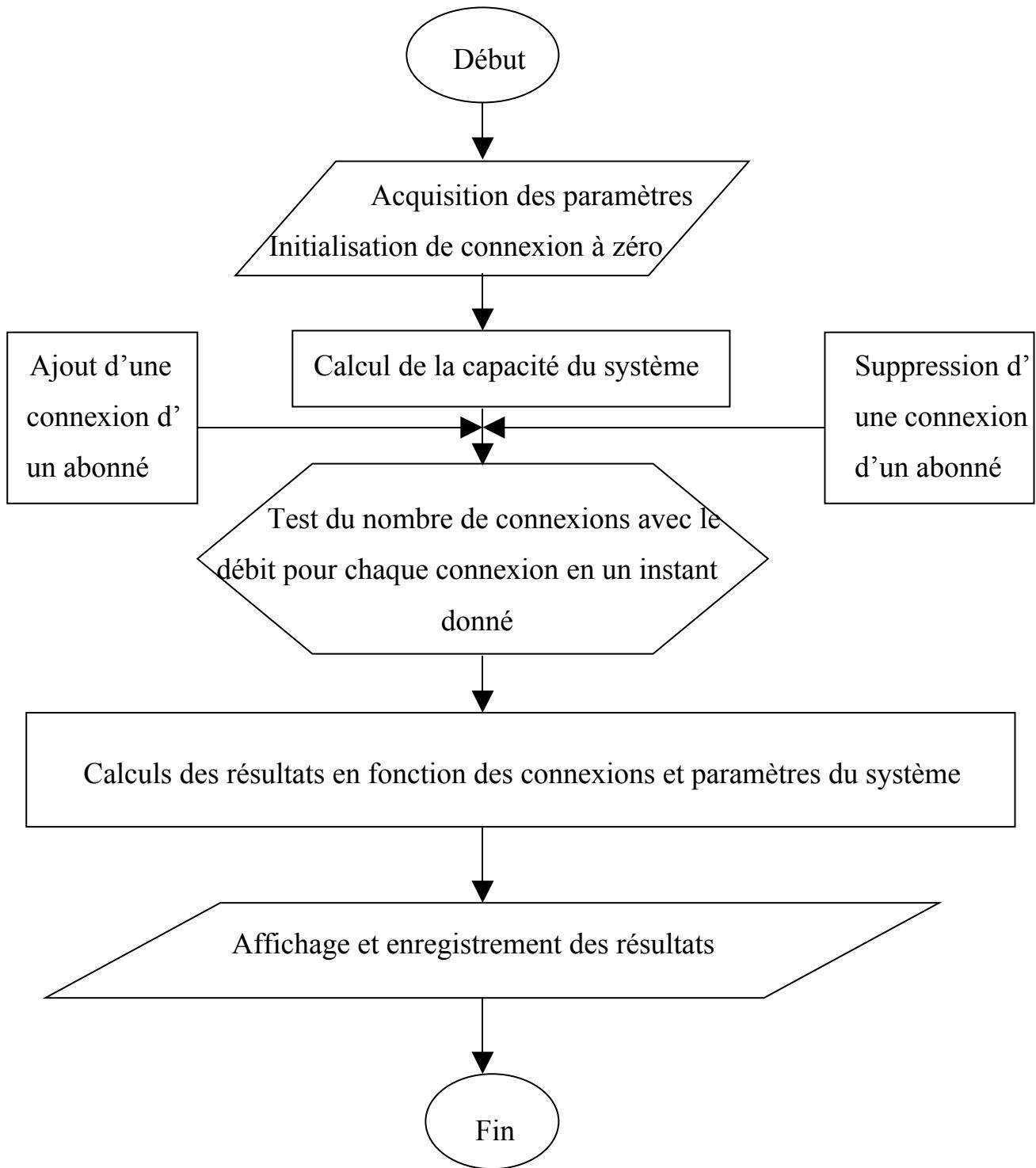


Figure 5.02 : Algorithme de la simulation.

## 2.3 Calculs des limites théoriques du système

Pour avoir les meilleures performances du système d'interfaçage, les calculs des limites théoriques supposent les conditions les plus favorables dans l'environnement d'exécution tant pour la fibre optique que pour le système CDMA. Pour le système CDMA, on suppose la condition normale de propagation Radio, le contrôle de puissance optimal ainsi que le caractère orthogonal des codes utilisés et pour la fibre optique, on néglige les pertes et les imperfections lors de l'installation du système. En plus, le système est considéré comme symétrique, c'est à dire, le débit dans le sens montant est le même que dans le sens descendant.

### 2.3.1 Calcul des performances du système CDMA

#### 2.3.1.1 *Les avantages inhérents à un système DS-CDMA*

- *Prise en compte de l'activité vocale* : l'activité de la voix humaine est de l'ordre de 35%. Quand les utilisateurs au sein d'une cellule ne parlent pas, la prise en compte de l'activité vocale permet de réduire l'interférence mutuelle. Ainsi l'interférence est réduite dans un facteur de 65%. On peut montrer que la capacité d'un système CDMA est multiplié par 3 environ à cause de la prise en compte de l'activité vocale.
- *Limite floue de la capacité* : la capacité des systèmes DS-CDMA est limitée par les interférences, tandis que l'AMRT et AMRF sont limitées par la bande passante disponible. Ainsi, la limite est floue car l'addition d'un utilisateur résulte en une légère dégradation des performances.
- *Effet de sectorisation* : dans les autres types d'accès, la sectorisation est effectuée pour atténuer l'interférence co-canal. Cependant, l'efficacité globale de ces systèmes décroît (car on ne peut pas utiliser les mêmes fréquences pour les secteurs d'une même cellule). D'un autre côté, la sectorisation augmente la capacité des systèmes DS-CDMA. Cette sectorisation peut être faite tout simplement par l'introduction de 3 équipements radio similaires dans les 3 secteurs. La réduction de l'interférence mutuelle ainsi effectuée se traduit par une augmentation de la capacité (dans un facteur de 3 environ).
- *La réutilisation des fréquences* : le plus grand avantage du DS-CDMA par rapport aux systèmes conventionnels est que celui ci peut réutiliser le spectre tout entier à travers toutes les cellules étant donné qu'il n'y a pas de concept d'allocation de fréquence dans ce système. Ceci augmente la capacité du système dans une large proposition à cause de la réduction du facteur de réutilisation des fréquences.

### 2.3.1.2 Capacité d'un système DS-CDMA

Les données sont étalées en bande de base et le signal résultant sert à moduler une porteuse dans un second étage. Dans cette technique, une séquence d'étalement est utilisée conjointement avec un modulateur PSK M-aire (modulateur PSK à M états, où  $M=2^n$  et  $n$  est le nombre de bits correspondant à chaque symbole représentant les données) pour déplacer la phase du signal PSK suivant un rythme  $R_c$  dit « débit de chip » ( $R_c=1/T_c$  où  $T_c$  est la durée d'un symbole élémentaire d'étalement). Ce débit de chip est choisi comme multiple entier du « débit de symbole » d'informations et avec  $R_s=1/T_s$ , on étale alors un signal en bande étroite  $R$  [bps] sur toute la largeur du spectre par multiplication avec un signal à large bande  $W$ . On obtient ainsi ce qu'on appelle « **facteur d'étalement** » ou « **gain d'étalement** » qui est défini par la formule suivante :

$$G = \frac{W}{R} \text{ [chip par seconde]} \quad (5.01)$$

Plus  $G$  est grand, plus le système est performant car l'interférence diminue.

On suppose qu'un contrôle de puissance approprié est utilisé de telle façon que les signaux sur la liaison montante sont reçus avec la même puissance. Chaque station de base traite le signal utile avec une puissance  $S$  et  $N-1$  signaux interférents, chacun d'eux ayant une puissance  $S$ . Le rapport Energie par bit / Densité du bruit (interférence+bruit) peut être écrite comme suit :

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S / R}{(N - 1)S / W} = \frac{W / R}{N - 1} \quad (5.02)$$

où  $R$  est le débit binaire et  $W$  est la bande passante totale occupée par le signal étalé et le terme  $W/R$  est le facteur d'étalement. D'où la capacité en terme de nombre d'usagers est donné par :

$$N = 1 + \frac{W / R}{E_b / N_0} \quad (5.03)$$

où  $E_b / N_0$  est la valeur requise pour un fonctionnement correct du démodulateur. Pour une transmission numérique de la parole, ceci requiert un taux d'erreur binaire (TEB) supérieur ou égal à  $10^{-3}$ .

### 2.3.2 Calcul des performances des fibres optiques

Les principales limites physiques des systèmes de transmission sur fibre optique à haut débit et à longue distance sont liées aux caractéristiques principales suivantes :

- *Affaiblissement* : la lumière, qui se propage dans une fibre optique, subit un affaiblissement (atténuation). C'est à dire qu'il y a perte d'énergie. Il est causé principalement par les phénomènes physiques d'absorption et de diffusion.

- *Dispersion modale* : comme on a déjà vu dans le Chapitre III, la dispersion modale est surtout rencontrée dans les fibres multimodes se traduisant par le retard de propagation des différentes impulsions (modes) défini par la formule (3.02). Ainsi, le débit maximal atteint par les fibres multimodes est donné par la formule (3.04).
- *Dispersion chromatique* : l'affaiblissement d'impulsion dans la fibre monomode n'est pas nul, car il subsiste une dispersion chromatique, qui crée un élargissement  $\Delta T_c$  au bout d'une longueur  $L$  de la fibre.

$$\Delta T_c = D_c L \Delta \lambda \quad (5.04)$$

$\Delta \lambda$  : largeur spectrale

$D_c$  : coefficient de dispersion chromatique, qui dépend des paramètres de la fibre et de la longueur d'onde.

Ainsi, la bande passante  $B$  d'une fibre monomode est donnée par :

$$B = \frac{\sqrt{\ln 4}}{\pi \Delta T_c} \quad (5.05)$$

- *Dispersion de polarisation* : elle affecte statiquement quelques câbles optiques déjà installés. Il peut cependant arriver que la dispersion de polarisation empêche d'atteindre le débit de 10Gbps et, ainsi ne permet pas d'exploiter l'énorme bande passante.

### 3. Présentation du logiciel

La simulation du système admet une interface utilisateur conviviale pour faciliter les manipulations et la lecture des résultats obtenus. Dans le menu « Aide », la commande « A propos de » ouvre une fenêtre indiquant une description du logiciel.



Figure 5.03 : A propos du logiciel

#### 3.1 Interface d'accueil

Lors du lancement du programme, une interface graphique permet de visualiser les paramètres techniques des systèmes utilisés. Des boutons permettent de modifier, exécuter ou

d'annuler les paramètres initiaux des systèmes, un autre lance la simulation pour afficher les résultats obtenus. Les boutons « Ajouter » et « supprimer » sont faites pour établir ou rompre une communication avec les types de services voulus.

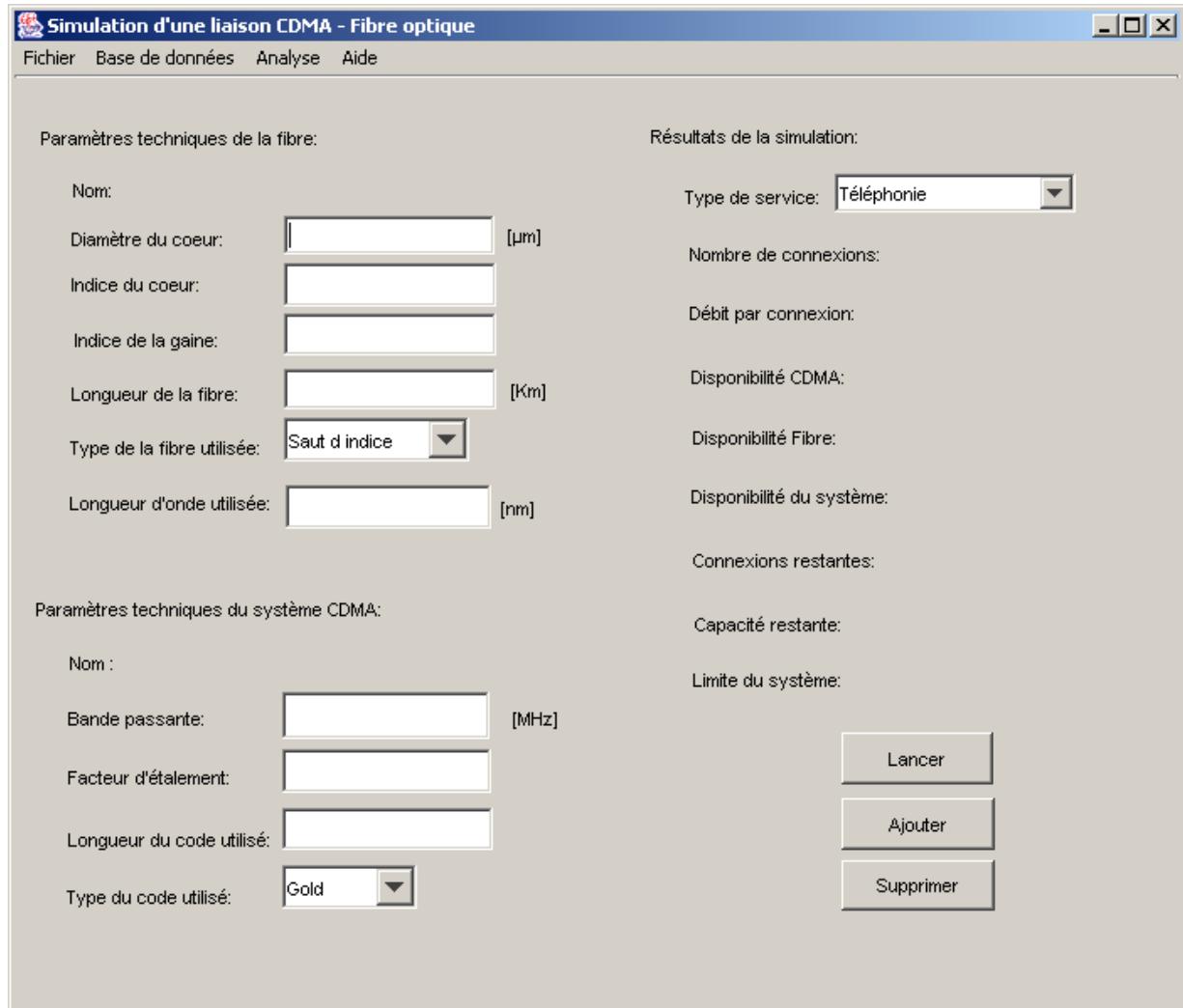


Figure 5.04 : Interface d'accueil de la simulation

### 3.2 *Changements des paramètres*

Pour changer les paramètres d'un système, entrer les directement dans les champs de texte, ou entrer dans le menu « **Base de données** » puis cliquer sur « **Changement des paramètres** » pour ouvrir une fenêtre permettant de choisir des paramètres dans la base de données.

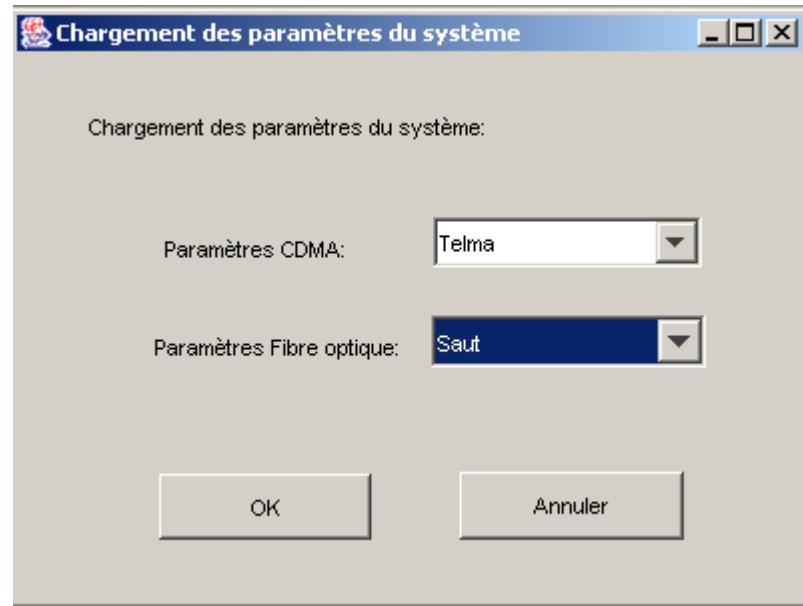


Figure 5.05 : Chargement des paramètres

Pour entrer des nouveaux paramètres dans la base de données, entrer dans le menu «**Base de données** » puis « **Sauvegarde des paramètres** » et cliquer sur le système à sauvegarder.

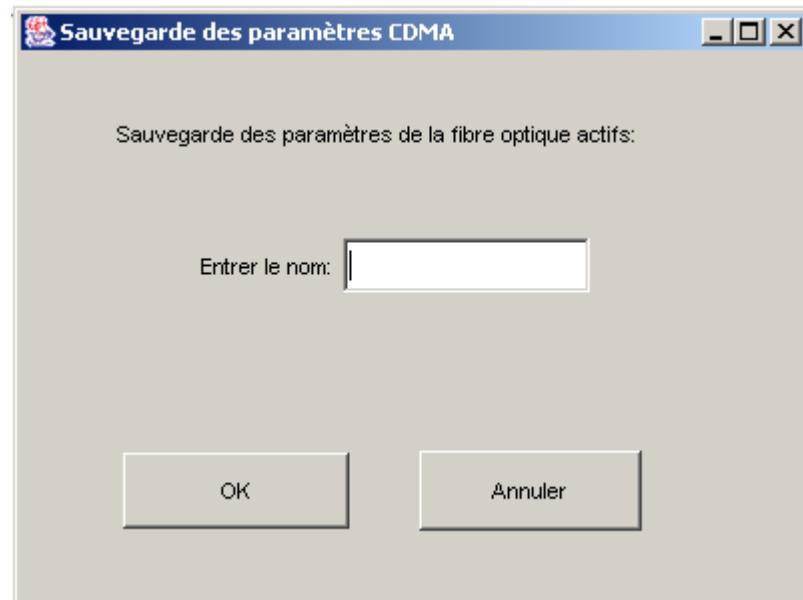


Figure 5.06 : Entrée des paramètres CDMA dans la base de données

Entrer le nom de l'ensemble des paramètres puis cliquer sur « **OK** » pour confirmer ou sur « **Annuler** » pour annuler.

De même pour la fibre optique, l'interface de sauvegarde est comme suit :

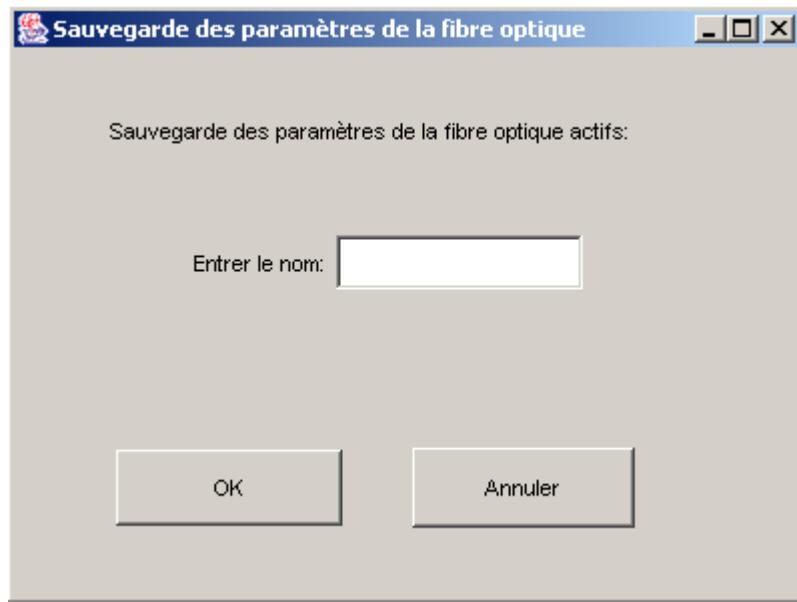


Figure 5.07 : Entrée des paramètres de la fibre dans la base de données

### 3.3 Lecture des résultats obtenus

Par exemple pour une fibre optique multimode à saut d'indice dont l'indice de la gaine est 1,46 et celle du cœur 1,48 fonctionnant sur une longueur de 20 Km et pour une bande passante de 1,25MHz, un facteur d'étalement 64 avec une longueur de code de Gold 42, les performances du système sont obtenues dans le menu « *Analyse* » et « *Performances du système* » :

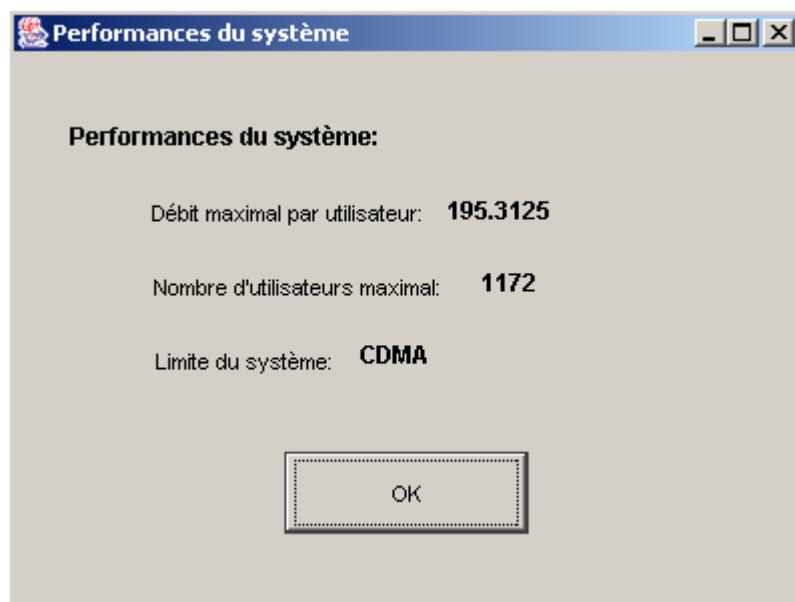


Figure 5.08 : Performances du système.

Le résultat de la simulation est obtenu dans la partie droite de l'interface d'accueil après avoir cliqué sur le bouton « *Lancer* » :

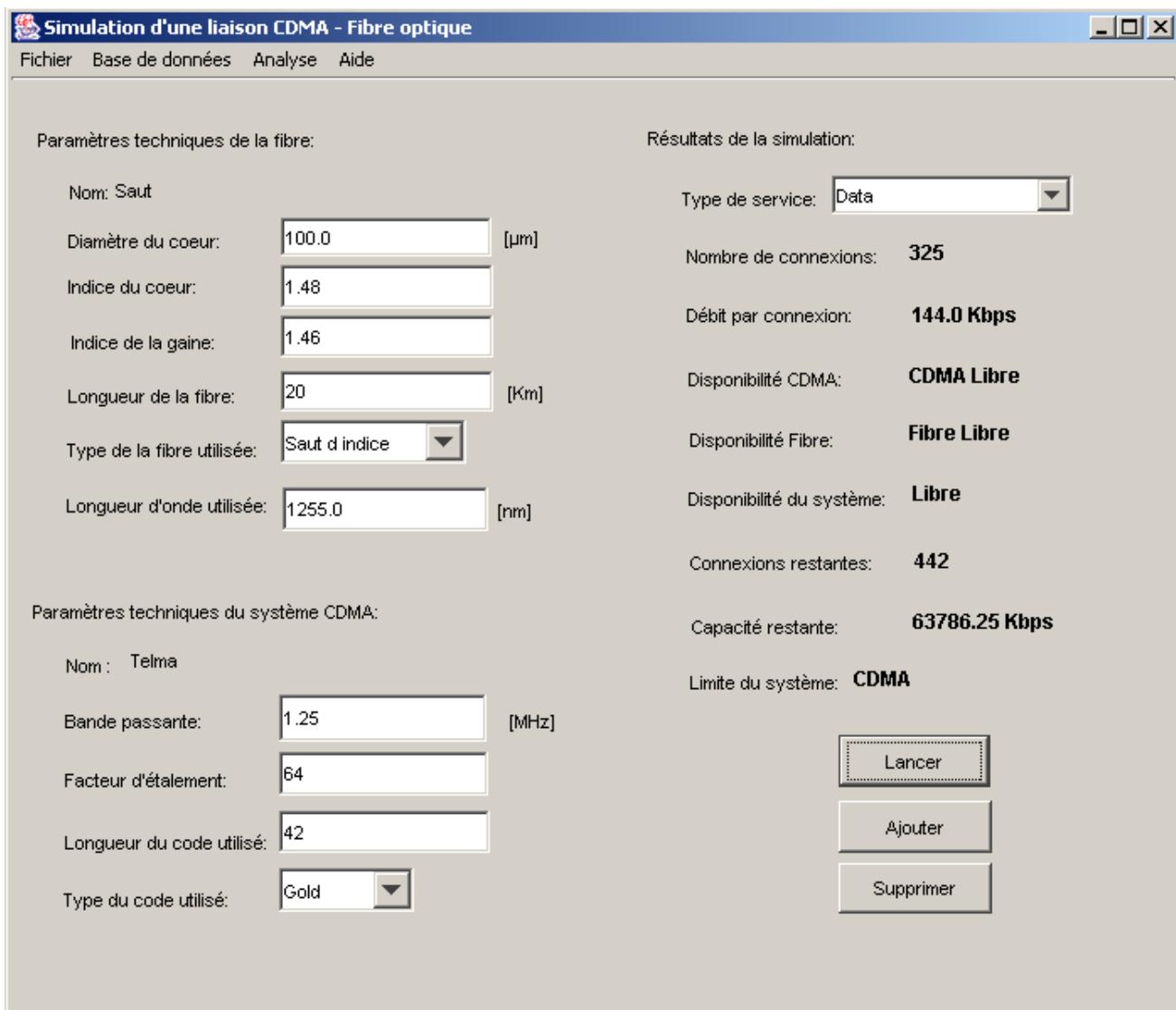


Figure 5.08 : Lecture des résultats obtenus

Après avoir ajouté quelques connexions, on lit sur la partie droite de l'affichage que le nombre d'utilisateurs ayant accédés au service « **Data** » compte 325 à ce moment où le débit est à 144Kbps. Le système est encore libre, c'est à dire, des autres (ici 442) abonnés peuvent encore se connecter et que la capacité du système est encore supérieure au trafic déjà écoulé. On voit de même que, avec ces paramètres actifs, le système est limité par le système CDMA.

#### **4. Conclusion**

On a vu ici donc l'importance de la simulation. Au lieu de faire un grand investissement dans les laboratoires pour des matériels réels, faire le montage et mesurer les performances, un petit logiciel développé avec un langage adéquat permet d'avoir des idées sur la performance d'un système donné. Dans cette simulation, on peut observer le comportement d'un système de communication composé d'un accès CDMA et d'une transmission par fibre optique en entrant tout simplement ses paramètres techniques. Les résultats obtenus sont maintenus dans une base de données, ce qui permet de choisir les paramètres adéquats pour une performance donnée lorsqu'il est temps de concevoir un tel système.

Ce logiciel de simulation est donc très important pour la conception d'un système incluant une interface entre un système cellulaire CDMA et un système de transmission par fibre optique.

## CONCLUSION

Dans cet ouvrage, on a essayé de résoudre le problème posé par l'insuffisance de débit, que l'on a rencontré dans le système de transmission, provoquant la limite du système par des saturations lors des demandes accrues de services par les utilisateurs. L'interfaçage des systèmes cellulaires CDMA avec la transmission par fibre optique, qui fait l'objet de ce mémoire, est une solution pour améliorer le système CDMA afin de profiter la puissance de la technique de l'étalement de spectre en attribuant la totalité de la bande passante à tous les utilisateurs accédant au système en un instant donné. La fibre optique étant une nouvelle technologie permettant de transmettre un grand nombre d'informations, on a profité de sa performance pour transporter les signaux issus des stations de base du système cellulaire vers le commutateur central.

Des études théoriques ont été faites concernant le système de transmission numérique pour généraliser la chose, des études sur l'étalement de spectre permettent de comprendre les techniques des systèmes cellulaires CDMA et l'étude de la fibre optique avec la technique de transmission numérique SDH a pu conduire aux techniques utilisées pour l'interfaçage des deux systèmes. Le logiciel conçu pour la simulation a permis de mesurer la performance du système ainsi obtenu.

Enfin, on a résolu le problème posé par la saturation du système de transmission, et les abonnés peuvent profiter la performance du système jusqu'à l'apparition des nouveaux services encore plus gourmands en bande passante.

## ANNEXE I : Récepteur RAKE [6][15][22][24]

Pour améliorer les performances en réception, la solution est basée sur la mise en œuvre d'un *rake receiver* combinant les signaux issus des différents trajets.

Le signal issu de l'antenne est converti en bande de base puis échantillonné et numérisé à une fréquence  $F_e$  multiple de la fréquence  $F_c$  du code. Le signal numérique complexe est tout d'abord traité par le filtre de réception dont l'objectif est d'annuler l'interférence entre les symboles et de minimiser la puissance du bruit. Ce filtre de réception est composé de deux filtres réels traitant les parties réelles et imaginaires du signal issu du convertisseur analogique/numérique. Les différentes simulations réalisées ont montré qu'un facteur de sur-échantillonnage ( $F_e / F_c$ ) de 4 et un filtre réel composé de 64 cellules garantissent des performances correctes en termes de taux d'erreur binaire.

Le synoptique de ce récepteur est donnée par la figure suivante :

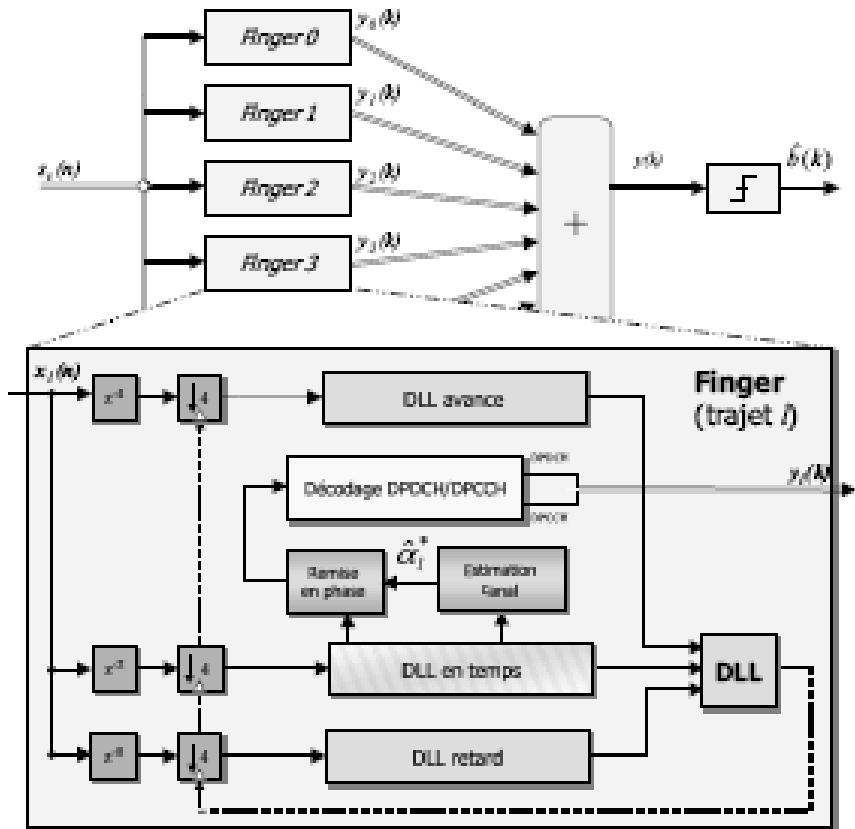


Figure A1.01 : Synoptique d'un récepteur RAKE.

L'étage suivant, correspondant au *rake receiver* présenté à la figure 1, est composé de différents *fingers* traitant chacun un trajet particulier. L'objectif de chaque *finger* est d'estimer le symbole associé au trajet traité. Pour cela, le signal d'entrée du *rake receiver* est multiplié par le code généré. Le synoptique des traitements réalisés pour décoder les symboles transmis est présenté à

la figure 2. La synchronisation entre le signal reçu et le code généré en interne est réalisé pour décoder les symboles transmis est présenté à la figure 2. La synchronisation entre le signal reçu et le code généré en interne est réalisée à l'aide d'une boucle d'asservissement (DLL : *delay-locked loop*). Pour combiner de manière optimale les résultats des différents *fingers* en vue d'estimer le symbole transmis, il est nécessaire d'éliminer la phase associée à chaque trajet. Cette phase est déterminée à l'aide des symboles de référence transmis et connus au niveau du récepteur.

La figure 2 représente la partie décodage du récepteur :

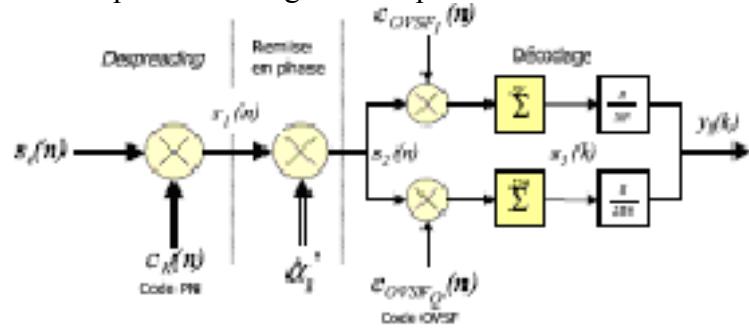


Figure A1.02 : Synoptique de la partie décodage.

## ANNEXE II : Numérisation de la voix téléphonique.[1][14][18]

La numérisation de la voix humaine représente un cas particulier très important. La méthode la plus classique de numérisation est appelée MIC ou Modulation par Impulsion et Codage en Europe et PCM ou Pulse Code Modulation en Amérique du nord.

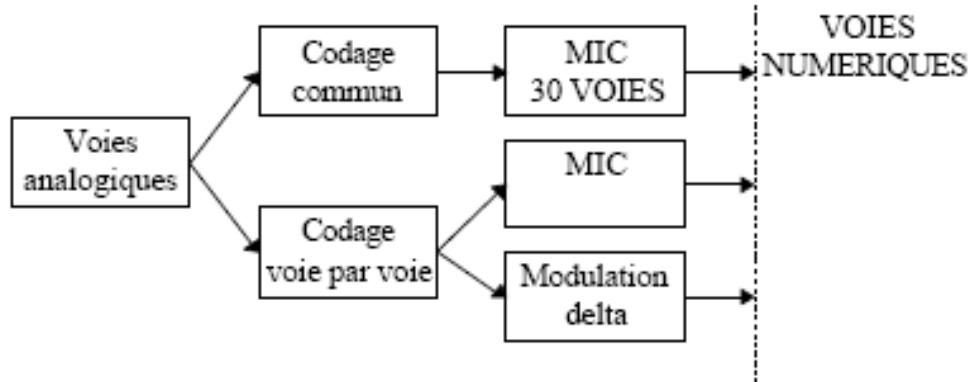


Figure A2.01 : Numérisation de la voix téléphonique.

La largeur de bande de la voix téléphonique analogique est de 3200Hz. Pour numériser ce signal correctement sans perte de qualité, déjà relativement basse, il faut *échantillonner* au moins 6400 fois par seconde. Dans la normalisation, on a adopté la valeur de 8000 fois par seconde. La *quantification* s'effectue par des lois semi-logarithmiques, et l'amplitude maximale permise se trouve divisée en 128 échelons positifs pour la version PCM, auxquels il faut ajouter 128 échelons négatifs dans la version européenne MIC. Le *codage* d'effectue donc soit sur 128 valeurs, soit sur 256 valeurs, ce qui demande, en binaire, 7 ou 8bits de codage.

La figure ci-dessous montre les différentes phases pour la numérisation de la voix téléphonique commençant par l'échantillonnage, la quantification et le codage :

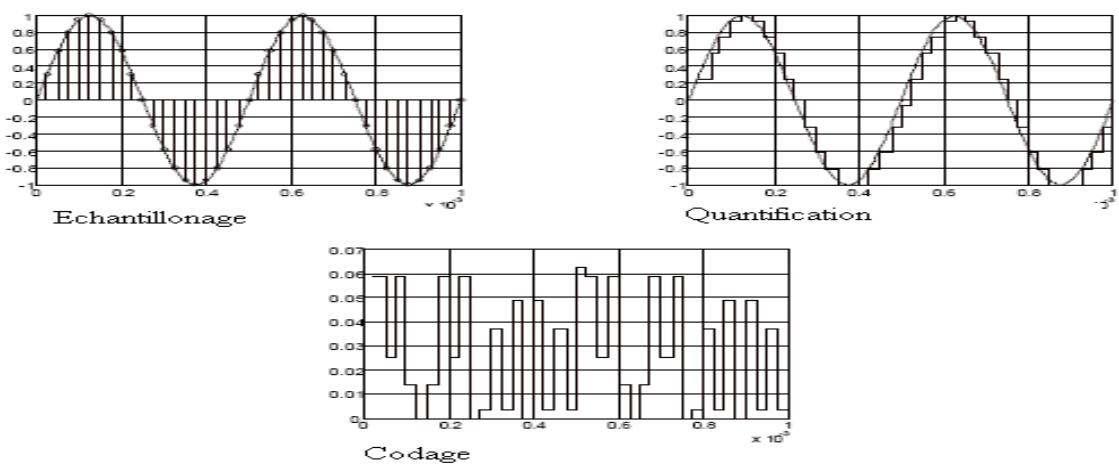


Figure A2.02 : Processus de numérisation

La valeur totale du débit de la numérisation de la parole téléphonique est obtenue en multipliant le nombre d'échantillon par le nombre d'échelon. Cela donne :

- ❖  $8\ 000 \times 7 \text{ bps} = 56 \text{ Kbps}$  en Amérique du Nord et au Japon ;
- ❖  $8\ 000 \times 8 \text{ bps} = 64 \text{ Kbps}$  en Europe.

L'échantillonnage a lieu toutes les  $125 \mu\text{s}$ , et la trame obtenue est montrée sur la figure suivante :

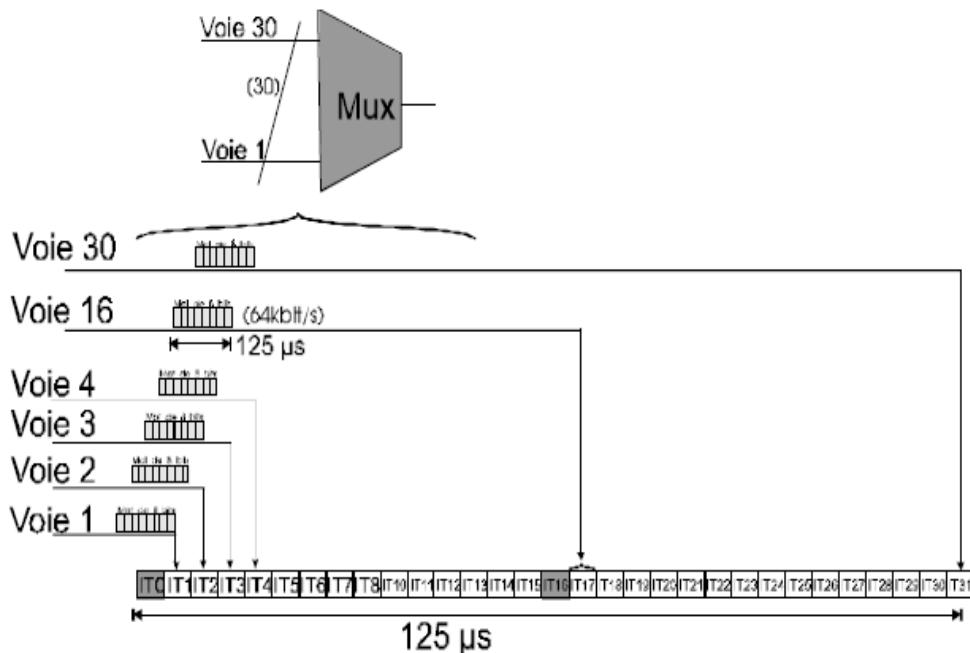


Figure A2.03 : Structure d'une trame MIC

### ANNEXE III : Modèle de référence de l'OSI [5][23]

Le modèle de référence OSI (Open System Interconnection) définit sept niveaux de protocoles auxquels sont rattachées des fonctions particulières. Ces niveaux sont hiérarchisés, en ce sens que chaque niveau est construit sur le précédent. Ainsi, un niveau offre certains services à un niveau supérieur, sans que ce dernier ait à connaître les détails de l'implémentation de ces services. L'avantage d'une telle hiérarchie est que les niveaux sont standardisés et que des équipements provenant de différents manufacturiers et pouvant être appliqués à un ou plusieurs niveaux fonctionner ensemble.

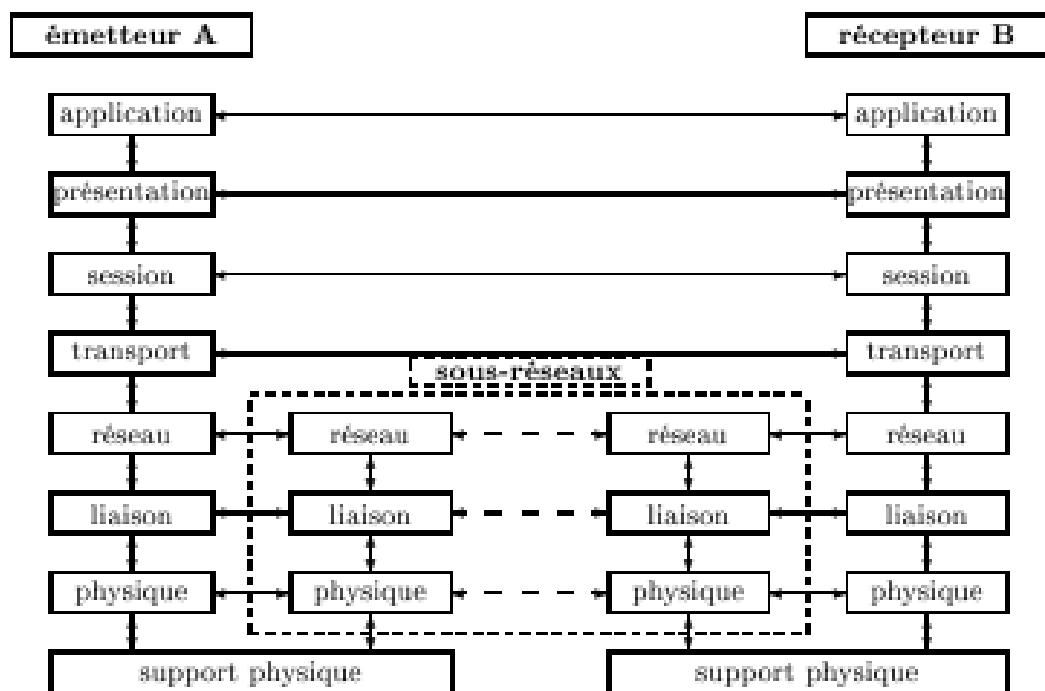


Figure A3.01 : Communication entre les 7 couches

A.III.1 La *couche physique* transpose les bits de chaque paquet de données sur le support physique (et l'inverse). Elle transmet également le signal représentant les trains de bits sur un support physique.

A.III.2 La *couche liaison* adresse les paquets et les insère dans une trame (et l'inverse); elle assure également le transfert des trains binaires sans erreurs, ni duplication, ni perte pour la couche réseau.

A.III.3 La *couche réseau* divise les segments en paquets (et l'inverse) et réalise la commutation et la détermination des routes pour les paquets.

A.III.4 La *couche transport* divise les messages en segments (et l'inverse). Elle fournit aussi tous les moyens pour gérer les options (incluant le choix du mode de communication).

A.III.5 La *couche session* marque les limites des messages (et l'inverse). Elle fournit aussi tous les moyens pour gérer les options (incluant le choix du mode de communication).

A.III.6 La *couche présentation* assure le formatage et, dans certains cas, le compactage et la cryptographie des données (et l'inverse).

A.III.7 La *couche application* codifie les informations (et l'inverse). Elle fournit le service qui convient à l'application envisagée et permet l'identification des ordinateurs et des terminaux communicants.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. Dupret, A. Fischer, *Cours de Télécommunication*, IUT DE VILLETANEUSE, Département Génie Télécoms et Réseaux.
- [2] P. Kadionik, *Bases de transmissions numériques : modulations numériques*, ENSEIRB, <http://www.enseirb.fr/~kadionik>.
- [3] M. A. Rakotomalala, *Radiocommunication mobile*, cours 4<sup>ème</sup> année, Dép. Tél, E.S.P.A., A.U. :2004/2005.
- [4] Olivier G., Serge K., *Réseaux haut débit: ATM fonctionnement*, DESS TNI Administration et sécurité des réseaux, Université Montpellier II Année 2004 - 2005
- [5] G. Pujolle, *Les réseaux*, Edition 2003, EYROLLES.
- [6] D. Ménard, J. A. Ruiz, E. Gaudry, D. Chillet, O. Sentieys, *Systèmes de Radiocommunication 3<sup>ème</sup> génération : WCDMA*, Groupe Signal/Architecture LASTI, Université de Rennes.
- [7] Aernouts L. Systèmes et réseaux informatiques, *Le réseau GSM*, Cnam de Lille 1999
- [8] C. Ratsihorana, *Optoélectronique et Fibre optique*, cours 5<sup>ème</sup> année, Dép. Tél., E.S.P.A., A.U. :2005/2006.
- [9] Elec 321 Public network, *SDH*, Ed 2.0
- [10] B. Ruchet, *Réalisation expérimentale d'une détection cohérente pour un système optique CDMA/FDMA*, Département de génie électrique et Génie informatique, Université Laval, Mai 1998.
- [11] R. Bailly, X. Maitre, *La hiérarchie numérique synchrone*.
- [12] Web ProForum Tutorials, *Cellular Communication*, <http://www.iec.org>.

[13] C. Bungarzeau et P. -G Fontoliet, *Communications optiques*, Edition 2001

[14] Z. Andriamasy, *Commutation électronique*, Cours 5<sup>ème</sup> année, Dép. Tél, E.S.P.A., A.U. : 2005/2006.

[15] d.r. Cooper, R.W. Nettleton, *Aspread spectrum technique for high capacity mobile communications*, IEEE Trans. Veh. Tech., Vol. VT.

[16] m. Terré, *Radiocommunication CDMA*, Conservation Nationale des Arts et Métiers, 2003

[17] O. Adamus, J. Copin, E. Panetta, *Nouvelles technologies réseaux : SONET/WDM*, IR-3, 2003.

[18] *Telecommunications Systems Bulletin*, TSB-84A, Licensed PCS to PCS Interference, July 1999.

[19] L. E. Randriarijaona, *Programmation avancée*, cours 5<sup>ème</sup> année, Dép. Tél. E.S.P.A., A.U. :2005/2006.

[20] I. Joindot et M.Joindot, *Les télécommunications par fibres optiques*, DUNOD, 1996.

[21] *Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)*, *Synchronous Digital Hierarchy(SDH)*, Documents Camusat.

[22] T. Guess, *Combined CDMA Signal Design an PowerControl for Decision-FeedBackREceivers Subject to a Quality of Service Constrain*, Departement of Electrical Engineering, Univ. of Virginia, VA 22904-4743.

[23] P. Nicolas, *Cours de réseaux*, Maîtrise d'informatique, Université d'Angers, <http://www.info.univ-angers.fr/pub/pn>.

[24] D.Ménard, M. Guitton, R. David, S. Pillement, O. Sentieys, *Evaluation comparative de plate-formes reconfigurables et programmables pour les télécommunications de 3<sup>ème</sup> génération*, LASTI Université de Rennes I

## **Renseignements personnels**

Nom : ALSON

Prénom : Lionel

Adresse de l'auteur : VB IV 014 Tongarivo Tanjombato Tana (102)

Téléphone : 0330262821

Titre du mémoire :

**« INTERFACAGE DES SYSTEMES CELLULAIRES CDMA AVEC LA  
TRANSMISSION PAR FIBRE OPTIQUE »**

Nombre de pages : 79

Nombre de tableaux : 3

Mots clés : Etalement de spectre, système cellulaire, transmission, fibre optique, interfaçage

Directeur de mémoire : Mr RATSIHOARANA Constant.



## **Abstract**

The cellular radiocommunication systems evolution results from the increasing needs in bandwidth and subscription density. Thus, a system permitting the transportation of great quantity of informations is required in the transmission. In the present work is presented a solution permitting the use of the optical fiber as a system of transmission. For that, some theoretical studies have been achieved concerning the concept of spreading spectrum technique as well as its use for the cellular radiocommunication systems and the Synchronous Digital Hierarchy SDH permitting the transmission by means of the optical fiber. A chapter is devoted to interface these two systems as well as the working systems of the different equipments used. A simulation permits to observe the behaviour of the system and to measure its performance by varying a certain number of technique parameters.

## **Résumé**

L'évolution des systèmes de radiocommunication cellulaires résulte des besoins croissants en bande passante et en densité d'abonnés. Ce qui demande, dans la transmission, un système permettant le transport d'une grande quantité d'informations. Dans cet ouvrage, une solution permettant l'utilisation de la fibre optique comme système de transmission est présentée. Pour cela, des études théoriques ont été faites, concernant le concept de la technique d'étalement de spectres ainsi que sa mise en œuvre pour les systèmes de radiocommunication cellulaires et la hiérarchie numérique synchrone SDH permettant la transmission avec la fibre optique. Un chapitre est consacré à l'interfaçage de ces deux systèmes ainsi qu'aux fonctionnements des différents équipements utilisés. Une simulation permet d'observer le comportement du système en variant certains paramètres techniques et de mesurer sa performance.