

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ DR MOULAY TAHAR – SAIDA  
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE  
DÉPARTEMENT DE L'INFORMATIQUE



Mémoire Présenté pour l'obtention du Diplôme De Master Académique

Option : Réseaux Informatique et Systèmes Répartis

---

# Le Data Mining pour l'étude des performances des systèmes multiporteuses à accès multiple

---

Présenté par :

TADJ EDDINE Mohamed Amine Yassine

BENZORGAT Mustapha Nour Eddine

Encadré par :

Dr. M. YAHLALI

Co – Encadreur :

Dr. A. BOUDIA

Promotion : Septembre 2020

---

# RÉSUMÉ

Les télécommunications sans fil sont la partie de l'industrie des télécommunications qui connaît la croissance la plus rapide. En tant que tels, les téléphones portables ont connu une croissance explosive au cours de la dernière décennie, et cette croissance se poursuit sans relâche dans le monde entier. Les téléphones portables sont devenus un outil commercial important et font partie de la vie quotidienne dans la plupart des pays développés, et ils remplacent rapidement les anciens systèmes de câblage dans de nombreux pays en développement. Les systèmes de communication modernes doivent suivre le rythme du formidable développement des téléphones portables.

L'objectif de cette thèse est d'évaluer les performances des systèmes multi-porteuses plus particulièrement nous nous intéressons aux systèmes basés sur la technique d'accès multiple MC-CDMA. Ce dernier associe OFDM et CDMA en profitant des avantages des deux systèmes, ce qui rend ce système très adapté aux exigences de la 4G.

Nous avons essayé d'utiliser une nouvelle méthode pour étudier et optimiser les performances du système MC-CDMA qui est l'exploration de données. Nous étudierons l'importance des paramètres à l'aide d'arbres de décision puis nous appliquerons des algorithmes génétiques (AGs) pour l'optimisation.

**Mot-clés :** Multi porteuse, MC-CDMA, BER, Data mining, Évaluation de performance, Algorithme Génétique.

---

# ABSTRACT

Wireless telecommunications are the fastest growing part of the telecommunications industry. As such, cellphones have experienced explosive growth over the past decade, and this growth continues unabated around the world. Cell phones have become an important business tool and part of everyday life in most developed countries, and they are rapidly replacing old cabling systems in many developing countries. Modern communication systems must keep pace with the tremendous development of cell phones.

The objective of this thesis is to evaluate the performance of multi-carrier systems more particularly we are interested in systems based on the MC-CDMA multiple access technique. The latter combines OFDM and CDMA taking advantage of the advantages of both systems, which makes this system very suitable for the requirements of 4G.

We tried to use a new method to study and optimize the performance of the MC-CDMA system, which is data mining. We will study the importance of parameters using decision trees then we will apply genetic algorithms (GAs) for the optimization.

**Keywords:** Multi carrier, MC-CDMA, BER, Data mining, Performance evaluation, Genetic Algorithm.

---

## ملخص

الاتصالات اللاسلكية هي الجزء الأسرع نمواً في صناعة الاتصالات. على هذا النحو، شهدت الهواتف المحمولة نمواً هائلاً خلال العقد الماضي، ويستمر هذا النمو بلا هوادة في جميع أنحاء العالم. أصبحت الهواتف المحمولة أداة عمل مهمة وجزءاً من الحياة اليومية في معظم البلدان المتقدمة، وهي تحل بسرعة محل أنظمة الكابلات القديمة في العديد من البلدان النامية. يجب أن تواكب أنظمة الاتصالات الحديثة التطور الهائل للهواتف المحمولة.

الهدف من هذه الرسالة هو تقييم أداء الأنظمة متعددة الموجات الحاملة بشكل خاص فنحن مهتمون بالأنظمة القائمة على تقنية الوصول المتعدد MC-CDMA. يجمع الأخير بين OFDM و CDMA مع الاستفادة من مزايا كلا النظامين، مما يجعل هذا النظام مناسباً جداً لمتطلبات 4G.

حاولنا استخدام طريقة جديدة لدراسة وتحسين أداء نظام MC-CDMA وهو التنقيب عن البيانات. سوف ندرس أهمية المعلمات باستخدام أشجار القرار ثم سنطبق الخوارزميات الجينية للتحسين.

الكلمات المفتاحية: ناقل متعدد، MC-CDMA، BER، تنقيب البيانات، تقييم الأداء، الخوارزمية الجينية.

---

# REMERCIEMENTS

*La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à Allah d'abord et au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toute nos gratitude.*

*Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre gratitude aux directeur de cette thèse, notre professeure **Dr et Mme. Mebarika YAHLALI**, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils qui ont contribué à notre réflexion. Nous remercions également notre Co-superviseur **Dr. A. BOUDIA** pour ce qu'il a contribué à ce travail.*

*Nous désirons aussi remercier les professeurs de l'université de Saïda, qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.*

*Nous remercions particulièrement les professeurs de télécommunications du département d'électronique, pour nous avoir fourni les informations nécessaires qui nous ont aidés à atteindre notre objectif dans ce travail.*

*Un grand merci aux jurys, nous ont fait honneur de leur présence, et nous les remercions d'avoir jugé ce travail ...*

*Nos sincères remerciements à toutes nos **Parents** et nos familles, Amis et à tous, de près ou de loin, pour leur soutien constant et leurs encouragements.*

*À tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements, nos respects et nos gratitude*

# Table des matières

<b>Résumé</b> .....	2
<b>Abstract</b> .....	3
<b>Listes Des Abréviations</b> .....	9
<b>Listes Des Tableaux</b> .....	11
<b>Tables Des Figures</b> .....	12
<b>Introduction Généralé</b> .....	14
<b>Chapitre 1 Généralité</b> .....	18
1. Introduction .....	18
2. Historique et évolution des systèmes télécommunication .....	19
3. Les concepts de base de la télécommunication .....	19
3.1. Information, Message et Signale .....	19
3.2. System de télécommunications .....	20
3.2.1. Définition.....	20
3.2.2. Les concepts de base de la system de la télécommunication.....	21
3.3. Multiplexage.....	23
4. Modulation .....	24
4.1. Définition.....	24
4.2. Signal modulant, signal porteur et signal modulé .....	24
4.3. Principe de Modulation .....	25
4.4. Importance de modulation.....	26
4.5. Modulation Mono-porteuse et modulation multi-porteuse .....	26
4.5.1. Systèmes de modulation mono-porteuse .....	27
4.5.2. Systèmes de modulation multi-porteuse .....	29
4.5.3. Mono-porteuse vs Multi-porteuse .....	30
5. Technique d'accès multiple .....	31
6. Conclusion .....	33

## Tables des Matières

---

<b>Chapitre 2 MC-CDMA</b> .....	35
1. Introduction.....	35
2. Principes d'étalement de spectre.....	36
3. System MC-CDMA.....	37
3.1. Principes de fonctionnement.....	37
3.2. Les codes.....	37
3.3. Modèle de système.....	38
3.4. Emetteur.....	38
3.5. Récepteur.....	39
4. Évaluation de la performance.....	39
4.1. Bit Error Rate (BER).....	40
4.2. Radio Signal to Noise Ratio (SNR).....	40
4.3. Liaison montante et liaison descendante.....	41
5. Les avantages du système MC-CDMA.....	44
6. Les inconvénients du système MC-CDMA.....	45
7. Applications de la MC-CDMA.....	45
8. Conclusion.....	45
<b>Chapitre 3 Algorithme Génétique</b> .....	47
1. Introduction.....	47
2. Principes et fonctionnalités.....	48
3. Caractéristiques des algorithmes génétiques.....	49
3.1. Représentation du génotype.....	50
3.2. La fonction d'évaluation.....	51
3.3. La sélection des parents.....	51
3.4. Le croisement.....	56
3.5. La mutation.....	58
3.6. Le remplacement des individus.....	59

## Tables des Matières

---

3.7. Le test d'arrêt de l'algorithme .....	59
4. Conclusion .....	59
<b>Chapitre 4 Implémentation et Expérimentation .....</b>	<b>61</b>
1. Introduction .....	61
2. Présentation des outils de développement .....	63
2.1. Langage C# : .....	63
2.2. .NET Framework: .....	64
2.3. Microsoft Visual Studio .....	64
2.4. Les outils ajoutés .....	65
3. Présentation du corpus utilisé .....	67
4. Optimisation avec les AG .....	71
5. Expérimentation des résultats .....	73
5.1. Les meilleurs résultats obtenus .....	75
6. Conclusion .....	79
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>80</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>82</b>



---

# LISTE DES ABRÉVIATIONS

<b>1G</b>	First generation.
<b>2G</b>	Second generation.
<b>3G</b>	Third generation.
<b>4G</b>	Fourth generation.
<b>ADSL</b>	Asymmetric Digital Subscriber Line.
<b>AG</b>	Algorithmes Génétiques.
<b>AM</b>	Amplitude Modulation.
<b>ASK</b>	Amplitude Shift Keying.
<b>BBAG</b>	Bruit Blanc Additif Gaussien.
<b>BER</b>	Bit Error Rate.
<b>CDM</b>	Code Division Multiplex.
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access.
<b>DAB</b>	Digital Broadband Digital Audio.
<b>DFT</b>	Discrete Fourier Transform.
<b>Dsp</b>	Digital signal processing
<b>DVB-T</b>	Digital Video Broadcasting — Terrestrial.
<b>EGC</b>	Equal Gain Combining.
<b>FBM</b>	Filter Bank Multi Carrier.
<b>FDM</b>	Frequency Division Multiplex.
<b>FDMA</b>	Frequency Division Multiple Access.
<b>FFT</b>	Transformation de Fourier Rapide.
<b>FM</b>	Frequency Modulation.
<b>FSK</b>	Frequency Shift keying.
<b>GFDM</b>	Generalized Frequency Division Multiplexing.

## Tables des abréviations

---

<b>GIF</b>	Graphics Interchange Format.
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications.
<b>HPA</b>	High Power Amplifier.
<b>IDFT</b>	Inverse Discrete Fourier Transform.
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
<b>IES</b>	Interférences Entre Symboles.
<b>ISDN</b>	Integrated Services Digital Network.
<b>MC-CDMA</b>	Multi-carrier Code-division Multiple Access.
<b>MC-DS-CDMA</b>	Multicarrier Direct Sequence Code-division Multiple-access.
<b>MCM</b>	Multi-carrier Modulation.
<b>MP3</b>	MPEG Audio Layer-3.
<b>MRC</b>	Maximum Ratio Combining.
<b>MT-CDMA</b>	Multi-Tone Code Division Multiple Access.
<b>NMT</b>	Nordic Mobile Telephony
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
<b>PM</b>	Phase Modulation.
<b>PAPR</b>	Peak-to-Average Power Ratio.
<b>PLC</b>	Power Line Communication.
<b>PSK</b>	Phase Shift Keying.
<b>RF</b>	Radio Frequency.
<b>RNIS</b>	Réseau numérique à intégration de services.
<b>SNR</b>	Signal-to-Noise Ratio.
<b>TDM</b>	Time Division Multiplex.
<b>TDMA</b>	Time-division Multiple Access.
<b>TIC</b>	Technologies de l'information et des communications.
<b>TV</b>	Télévision.
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Télécommunications Standard.
<b>WAV</b>	Waveform Audio File.
<b>WDM</b>	Wavelength Division Multiplex.

---

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1 : les versions de C# et .NET Framework.....	63
Tableau 4.2 : Les Langages supportés par Visual Studio .....	65
Tableau 4.3 : Format de fichier ARFF.....	66
Tableau 4.4 : Les valeurs des différents paramètres.....	67
Tableau 4.5 : Résultat de l'application des arbres de décision.....	72
Tableau 4.6 : Les paramètres d'implémentation l'AG.....	73
Tableau 4.7 : 1ère Configuration de l'AG. ....	76
Tableau 4.8 : Extrait de résultats de La 1ère configuration de l'AG dans la 1ère Catégorie.....	76
Tableau 4.9 : 2ème Configuration de l'AG.....	77
Tableau 4.10 : Extrait de résultats de La 2ème configuration de l'AG dans la 2ème Catégorie. 77	
Tableau 4.11 : 3ème Configuration de l'AG.....	78
Tableau 4.12 : Extrait de résultats de La 3ème configuration de l'AG dans la 3ème Catégorie. 78	

---

# TABLE DES FIGURES

Figure 1.1 : Système de télécommunication.....	21
Figure 1.2 : Multiplexage des possibilités d'accès à un canal donné.....	23
Figure 1.3 : Schéma d'une modulation.....	26
Figure 1.4 : format de modulation à porteuse unique .....	27
Figure 1.5 : La modulation mono-porteuse .....	28
Figure 1.6 : Spectre de Fréquences .....	29
Figure 1.7 : Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDM.....	32
Figure 2.1 : Schéma fonctionnel du système de communication à spectre étalé .....	36
Figure 2.2 : Emetteur MC-CDMA.....	38
Figure 2.3 : Récepteur MC-CDMA.....	39
Figure 2.4 : Liaison montante et liaison descendante. ....	42
Figure 3.1 : les étapes de l'algorithme génétique.....	49
Figure 3.2 : Représentation binaire.....	50
Figure 3.3 : Représentation valorisée réelle. ....	51
Figure 3.4 : Représentation entière. ....	51
Figure 3.5 : sélection de roue de roulette.....	53
Figure 3.6 : échantillonnage universel stochastique.....	54
Figure 3.7 : sélection de tournois.....	55

## Tables des figures

---

Figure 3.8 : sélection de rang. ....	55
Figure 3.9 : Croisement à un point.....	57
Figure 3.10 : Croisement multipoint.....	57
Figure 3.11 : Croisement uniforme.....	57
Figure 3.12 : Bit flip mutation. ....	58
Figure 3.13 : Swap mutation. ....	58
Figure 4.1 : Architecture de la plateforme .NET Framework .....	64
Figure 4.2 : Diagramme circulaire montrant la distribution des configurations du corpus sur les deux classes « Bonnes Configurations » et « Mauvaises Configurations » .....	68
Figure 4.3 : La distribution des configurations du corpus sur les deux classes « Bonnes Configurations » et « Mauvaises Configurations » Après undesampling .....	69
Figure 4.4 : Corpus Up Link BER sous forme .txt.....	69
Figure 4.5 : Corpus Up Link BER sous forme .arff .....	70
Figure 4.6 : Structure du chromosome .....	72
Figure 4.7: La répartition des individus en fonction du nombre d'utilisateurs. ....	74
Figure 4.8 : La répartition des individus du « Bonne Configuration » en fonction du nombre d'utilisateurs. ....	74

---

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans les systèmes de communication sans fil, il est souvent souhaitable de permettre à l'abonné d'envoyer des informations simultanément de la station mobile à la station de base tout en recevant des informations de la station de base à la station mobile.

Un système cellulaire divise une zone donnée en cellules où une unité mobile dans chaque cellule communique avec une station de base. L'objectif principal de la conception du système cellulaire est de pouvoir augmenter la capacité du canal, c'est-à-dire de traiter autant d'appels que possible dans une bande passante donnée avec un niveau de qualité de service suffisant.

La première génération (1G) de systèmes cellulaires mobiles fait simplement référence aux technologies mobiles analogiques remplacées, telles que le système de téléphonie mobile nordique (NMT : Nordisk MobilTelefoni). Alors que les systèmes 1G prenaient principalement en charge les services vocaux. La deuxième génération (2G) de systèmes cellulaires mobiles a étendu les capacités des systèmes 1G en termes d'amélioration de la capacité, de la qualité de la voix et de la zone de couverture. Le système 2G dominant déployé dans les pays du monde entier était le système mondial de communications mobiles (GSM : Global System for Mobile Communications). Les systèmes mobiles de troisième génération (3G) sont les premiers à être introduits, l'objectif étant de faire progresser les technologies 2G pour y inclure des capacités de communication multimédia basées sur IP, telles qu'un accès Internet fiable et des services d'image et de vidéo haute définition. La quatrième génération (4G) a dû évoluer afin de supporter des débits de données et des capacités de réseau plus élevés que la 3G.

Cette évolution risque d'aboutir à des systèmes très complexes. Il est alors nécessaire de trouver une solution qui permette aux opérateurs et aux usagers de bénéficier des avantages

## Introduction Générale

---

des services tout en abaissant (dans le pire des cas maintenant), le coût global d'exploitation des systèmes de télécommunication.

Dans ce contexte l'objectif de ce travail est d'évaluer les performances des systèmes multi porteuse plus particulièrement nous sommes intéressés aux systèmes basés sur la technique d'accès multiple MC-CDMA. Cette dernière combine l'OFDM et le CDMA en tirant parti des avantages des deux systèmes, ce qui rend ce système très adapté aux exigences de la 4G.

La complexité des systèmes de communication modernes est une force motrice derrière l'utilisation généralisée de la simulation. Cette complexité résulte à la fois de l'architecture des systèmes de communication modernes et des environnements dans lesquels ces systèmes sont déployés.

La simulation est un outil précieux pour mieux comprendre le comportement du système. Une simulation correctement développée ressemble beaucoup à une mise en œuvre en laboratoire d'un système. Des mesures peuvent être facilement effectuées à divers points du système à l'étude.

Les études paramétriques sont faciles à réaliser, car les valeurs de paramètres, telles que les largeurs de bande des filtres et les rapports signal / bruit (SNR), peuvent être modifiées à volonté et les effets de ces changements sur les performances du système peuvent être rapidement observés. La forme d'onde du domaine temporel, les spectres de signal et de nombreux autres affichages graphiques peuvent être facilement générés et une comparaison peut être faite entre ces produits graphiques.

Plus important encore, nous pouvons effectuer des études « peut-être » plus facilement et plus économiquement en utilisant une simulation qu'avec du matériel système réel. Bien que nous effectuions souvent une simulation pour obtenir un nombre, comme un taux d'erreur sur les bits (BER), le rôle principal de la simulation n'est pas d'obtenir des nombres mais de gagner en perspicacité.

Dans ce travail, nous avons essayé d'utiliser une nouvelle méthode pour étudier et optimiser les performances du système MC-CDMA qui est Data mining. Nous allons étudier l'importance des paramètres (durée du symbole, Nb utilisateur, sous-porteuse ...) en utilisant les arbres de décision ensuite nous appliquerons les algorithmes génétique (AG) pour l'optimisation.

Le présent manuscrit est structuré autour de quatre chapitres :

- ✓ Le premier chapitre présente des généralités sur le système de télécommunications, le concept de modulation et les techniques d'accès multiple.
- ✓ Le deuxième chapitre traite des principes de l'étalement du spectre et des généralités sur les systèmes MC-CDMA.
- ✓ Dans la troisième partie nous présentons l'essentiel des algorithmes génétiques.
- ✓ Et Le quatrième chapitre décrit la partie pratique. Dans cette partie nous présentons le corpus utilisé, le résultat de l'application des arbres de décision ainsi que les résultats de l'optimisation obtenus.



# CHAPITRE

## I

### Généralité

---

# *Chapitre 1 Généralité*

## **1. Introduction**

Les télécommunications ont démontré le potentiel de transformation de la société et des entreprises. Avec l'invention du téléphone, les communications humaines et le commerce ont changé, le temps et la distance ont commencé à fondre comme obstacles à la conduite des affaires. Grâce à l'utilisation des ordinateurs et des réseaux de télécommunications, les humains ont pu étendre leurs pouvoirs de pensée, d'influence et de productivité. C'est une nouvelle ère et nous sommes confrontés à une multitude de nouvelles technologies et applications de télécommunications qui offrent de nouvelles opportunités, en particulier dans les secteurs du divertissement, de l'éducation, des soins de santé, du gouvernement, de la publicité, du mode de vie et la guerre.

Bien que l'industrie des technologies de l'information et des communications (TIC) ait beaucoup souffert ces dernières années, des développements passionnants se poursuivent sans relâche dans de nombreux domaines qui sont essentiels à l'évolution continue des dispositifs, des applications et des infrastructures de réseau à large bande. Ces développements remarquables propulsent l'évolution du haut débit, créant de bonnes raisons de poursuivre les réseaux de prochaine génération.

### **2. Historique et évolution des systèmes télécommunication**

Les télécommunications sont aujourd'hui largement comprises comme désignant les moyens électriques de communication à distance. La première forme de télécommunications a été celle du télégraphe, qui a été inventé en toute indépendance en 1837 par deux scientifiques, Wheatstone et Morse. Le télégraphe était sur une base unidirectionnelle point à point et comptait sur des opérateurs formés pour interpréter entre le mot parlé ou écrit et les signaux spéciaux envoyés sur le fil télégraphique. Cependant, l'utilisation de la télégraphie a considérablement amélioré les opérations des chemins de fer et, bien sûr, la diffusion des nouvelles et des messages personnels entre les villes. Cette utilité des télécommunications d'une part et la limitation de la nécessité d'avoir des opérateurs formés d'autre part ont conduit à l'aspiration à un moyen simple de télécommunications vocales bidirectionnelles que tout le monde pourrait utiliser. Alexander Graham Bell a répondu à ce besoin en inventant le téléphone en 1876. Remarquablement peu de temps après, le premier central téléphonique du monde a été ouvert en 1878 à New Haven, Connecticut, États-Unis. Depuis lors, la téléphonie est devenue le moyen de communication omniprésent pour l'humanité. [1]

Bien sûr, les télécommunications sont désormais mondiales et incluent non seulement la téléphonie sur les réseaux fixes et mobiles, mais aussi les données « The World Wide Web », le courrier électronique, la télévision, la vidéo, les réseaux sociaux, etc...

### **3. Les concepts de base de la télécommunication**

#### **3.1. Information, Message et Signale**

##### **❖ L'information :**

L'information est une nouvelle connaissance obtenue à partir d'études ou de l'instruction annoncée à un destinataire, que celui-ci n'a pas auparavant ont. [2]

##### **❖ Message :**

Dans les études rhétoriques et de communication, un message est défini comme une information véhiculée par des mots (dans la parole ou l'écriture) et / ou d'autres signes et symboles. Un message (verbal ou non verbal, ou les deux) est le contenu du processus de communication. L'expéditeur du message dans le processus de communication est l'expéditeur. L'expéditeur transmet le message à un destinataire. [3]

### ❖ **Le signal :**

Est une tension, un courant ou une onde électromagnétique variant dans le temps qui transporte des informations. Un signal peut également être défini comme un changement observable d'une qualité telle que la quantité. [4]

Selon les transactions de l'IEEE sur le traitement du signal, un signal peut être lié à l'audio, la vidéo, la parole, l'image, le sonar et le radar, etc. [5]

En théorie de l'information, un signal est un message codifié, c'est-à-dire la séquence d'états dans un canal de communication qui code un message. Dans le cadre du traitement du signal, les signaux sont des représentations analogiques et numériques de grandeurs physiques analogiques.

Les signaux peuvent être classés selon de nombreux critères, principalement selon la caractéristique différente des valeurs : signaux analogiques et numériques. Selon la détermination des signaux : signaux déterministes et signaux aléatoires. Selon la force des signaux : signaux d'énergie et signaux de puissance.

Alors nous peut concluons que la différence entre l'information, le message et signal est qu'un message est un moyen de transmettre des informations. Les informations elles-mêmes sont des données utilisées pour informer quelqu'un. Un message est un type de communication permettant à une source de transmettre des informations à une autre. Ce message est porté par un signal.

## **3.2. System de télécommunications**

### **3.2.1. Définition**

Télécommunications se réfère à l'échange d'informations par des moyens électroniques et électriques sur une distance significative. Un arrangement de télécommunication complet est composé de deux stations ou plus équipées de dispositifs émetteurs et récepteurs. Un même Co-arrangement d'émetteurs et de récepteurs, appelé émetteur-récepteur, peut également être utilisé dans de nombreuses stations de télécommunications.

Il s'agit d'un terme large qui comprend un large éventail de technologies de transmission d'informations telles que les téléphones (filaire et sans fil), les communications par micro-ondes, la fibre optique, les satellites, la radiodiffusion et la télédiffusion, Internet et les

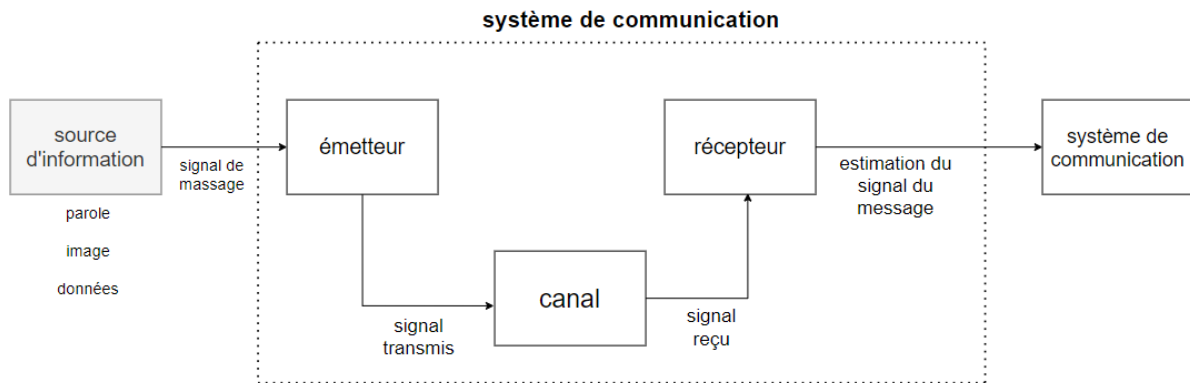


Figure 1.1 : Système de télécommunication. [6]

télégraphes.

### 3.2.2. Les concepts de base de la system de la télécommunication

#### ❖ Sources d'information

Les sources peuvent être classées comme électriques ou non électriques, elles sont à l'origine d'un message ou d'un signal d'entrée comme : les fichiers audio (MP3, WAV, etc....), les fichiers d'images graphiques (GIF), les messages électroniques, la voix humaine, etc...

#### ❖ Transducteurs d'entrée

Les capteurs, comme les microphones et les caméras, capturent des sources non électriques, comme le son et la lumière (respectivement), et les convertissent en signaux électriques. Ces types de capteurs sont appelés transducteurs d'entrée dans les systèmes de communication analogiques et numériques modernes. Sans transducteurs d'entrée, il n'y aurait pas de moyen efficace de transporter des sources ou des signaux non électriques sur de grandes distances. Autres exemples de transducteurs d'entrée : Microphones, Caméras, Claviers, Souris, Capteurs de force Accéléromètres, etc...

### ❖ Émetteur

Dans l'électronique et les télécommunications, un émetteur ou un émetteur radio est un appareil électronique qui produit des ondes radio avec une antenne. L'émetteur lui-même génère un courant alternatif radiofréquence, qui est appliqué à l'antenne. Lorsqu'elle est excitée par ce courant alternatif, l'antenne émet des ondes radio.

Le but des émetteurs est la communication radio d'informations sur une distance. Les informations sont fournies à l'émetteur sous la forme d'un signal électronique, tel qu'un signal audio (son) provenant d'un microphone, un signal vidéo (TV) provenant d'une caméra vidéo, ou dans des dispositifs de mise en réseau sans fil, un signal numérique provenant d'un ordinateur. L'émetteur combine le signal d'information à transporter avec le signal radiofréquence qui génère les ondes radio, qui est appelé le signal porteur. Ce processus est appelé modulation.

### ❖ Canal de communication

Un canal de communication est le moyen par lequel un signal voyage. Il existe deux types de supports par lesquels les signaux électriques voyagent, à savoir guidés et non guidés. Les médias guidés désignent tout support pouvant être dirigé de l'émetteur vers le récepteur au moyen de câbles de connexion. Dans la communication par fibre optique, le support est une fibre optique (semblable à du verre). L'autre type de média, média non guidé, fait référence à tout canal de communication qui crée un espace entre l'émetteur et le récepteur.

Pour les communications radio ou RF (radiofréquence), le support est l'air. L'air est la seule chose entre l'émetteur et le récepteur pour la communication RF.

Tandis que dans d'autres cas, comme le sonar, le milieu est généralement de l'eau car les ondes sonores se déplacent efficacement à travers certains milieux liquides.

Les deux types de supports sont considérés comme non guidés car il n'y a pas de câbles de connexion entre l'émetteur et le récepteur. Les canaux de communication comprennent presque tout, du vide de l'espace aux pièces métalliques solides, cependant, certains médiums sont préférés plus que d'autres. En effet, différentes sources voyagent à travers des supports subjectifs avec des efficacités fluctuantes.

❖ Récepteur

Une fois que le signal a traversé le canal de communication, il doit être effectivement capté par un récepteur. Le but du récepteur est de capturer et de reconstruire le signal avant qu'il ne passe par l'émetteur. Cela se fait en faisant passer le signal "reçu" à travers un autre circuit contenant les composants suivants : filtre de bruit, convertisseur numérique-analogique, démodulateur de décodeur, amplificateur de signal.

Très probablement, le signal aura perdu une partie de son énergie après avoir traversé le canal ou le support de communication. Le signal peut être amplifié en le faisant passer par un amplificateur de signal. Lorsque le signal analogique est converti en signal numérique.

❖ Transducteur de sortie

Le transducteur de sortie convertit simplement le signal électrique (créé par le transducteur d'entrée) dans sa forme d'origine comme : haut-parleurs (audio), moniteurs, moteurs (mouvement), éclairage (visuel), etc...

### 3.3. Multiplexage [7]

Afin de limiter les risques d'encombrement des canaux de transmission utilisés, il convient de rendre multiples, ou "multiplexer", les possibilités d'accès à un canal donné (**Figure 1.2**).

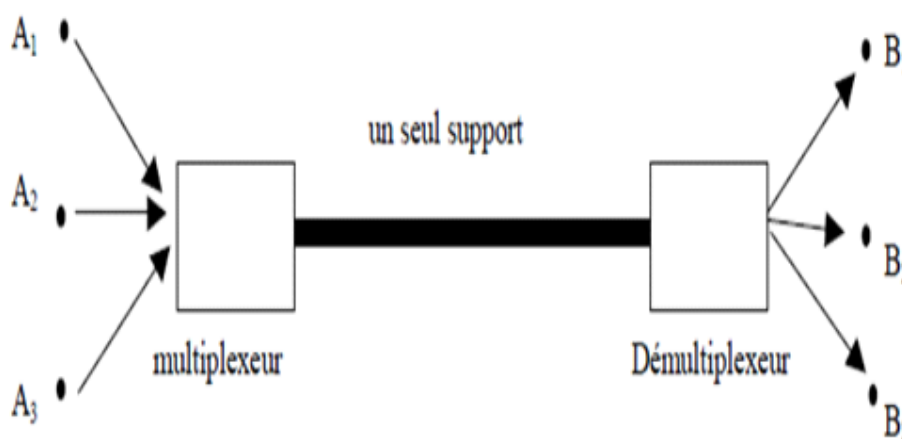


Figure 1.2 : Multiplexage des possibilités d'accès à un canal donné.

Toutes ces liaisons peuvent être bilatérales (duplex). Il existe essentiellement trois formes de multiplexage dans la gamme radiofréquence et hyperfréquence :

- Le multiplexage fréquentiel ou spectral (FDM, Frequency Division Multiplex, ou FDMA, Frequency Division Multiple Access).
- Le multiplexage temporel (TDM, Time Division Multiplex, ou TDMA).
- Le multiplexage de code (CDM, Code Division Multiplex, ou CDMA).

Une nouvelle forme de multiplexage, spécifique à la propagation sur des fibres optiques, le WDM (Wavelength Division Multiplex). Son fonctionnement est de partager des "fenêtres" optiques disponibles sur une même fibre.

## 4. Modulation

### 4.1. Définition

La modulation est un processus par lequel des informations audio, vidéo, image ou textuelles sont ajoutées à un signal porteur électrique ou optique à transmettre sur un support de télécommunication ou électronique. La modulation permet le transfert d'informations d'un signal électrique à un dispositif de réception qui démodule le signal pour extraire l'information mixte. La modulation a trois types différents :

- Modulation d'amplitude (AM) : l'amplitude de la porteuse est modulée.
- Modulation de fréquence (FM) : La fréquence de la porteuse est modulée.
- Modulation de phase (PM) : La phase de la porteuse est modulée. [8]

### 4.2. Signal modulant, signal porteur et signal modulé [9]

- ❖ **Signal modulant**



Le signal qui contient un message à transmettre est appelé signal de message. C'est un signal en bande de base, qui doit subir le processus de modulation, pour être transmis. Par conséquent, il est également appelé signal de modulation.

### ❖ Signal de porteur

Le signal haute fréquence qui a une certaine phase, fréquence et amplitude mais ne contient aucune information, est appelé signal porteur. C'est un signal vide. Il est juste utilisé pour transporter le signal vers le récepteur après la modulation.

### ❖ Signal modulé

Le signal résultant, après le processus de modulation, est appelé signal modulé. Ce signal est une combinaison du signal modulant et du signal porteur.

L'équation qui permet de calculer un forme d'onde sinusoïdale est :

$$u = \hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

Avec :  $u$  : valeur instantané de la tension.

$\hat{U}$  : valeur crête de la tension.

$\omega$  : pulsation ( $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ ).

$T$  : le temps considéré.

$\varphi$  : angle de déphasage à l'origine en radian.

## 4.3. Principe de Modulation

Des informations peuvent être envoyées d'un émetteur à un récepteur au moyen d'une modulation et d'une démodulation, respectivement, que ces signaux soient des ondes lumineuses se déplaçant à travers des câbles optiques, des ondes radio via des câbles métalliques ou des ondes radio se propageant dans l'air. Les ondes électromagnétiques qui transportent les informations sont appelées signaux porteurs, tandis que les informations qu'elles transportent peuvent être sous forme audio, vidéo ou de données.

En modifiant l'amplitude, la fréquence ou la phase, ou une combinaison des trois caractéristiques du signal, des informations peuvent être ajoutées sous forme de modulation à un signal. En raison de la quantité accrue d'informations pour la transmission et la réception, les techniques de modulation du signal ont avancé dans leurs capacités à gérer plus de données

pour une quantité donnée de bande passante occupée, bien qu'elles soient également devenues plus complexes au cours du processus. [10]

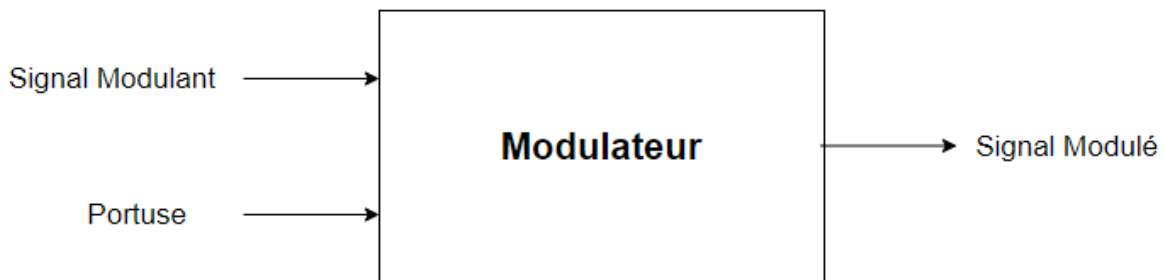


Figure 1.3 : Schéma d'une modulation.

### 4.4. Importance de modulation [8]

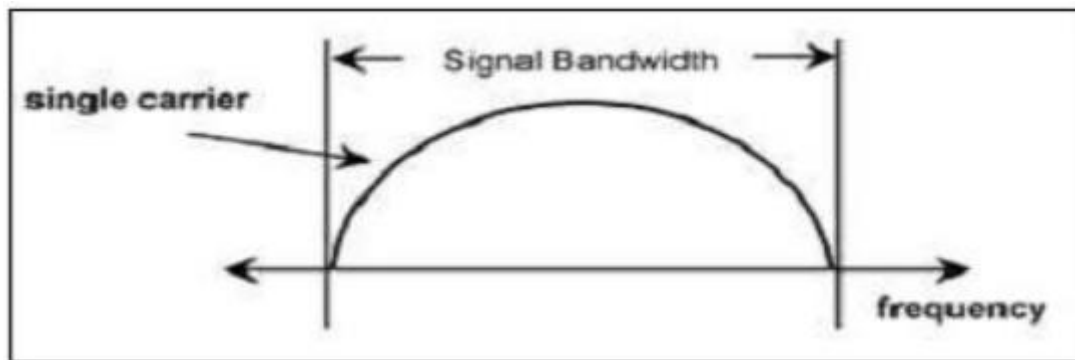
- ❖ **Facilite l'accès multiple** : en traduisant le spectre de bande de base des signaux de différents utilisateurs pour différentes bandes de fréquences, plusieurs utilisateurs peuvent être hébergés dans une bande du spectre électromagnétique.
- ❖ **Augmente la portée de communication** : les signaux en bande de base de basse fréquence souffrent de l'atténuation et ne peuvent donc pas être transmis sur de longues distances. La conversion vers une bande de fréquences plus élevée entraîne une longue distance de transmission.
- ❖ **Réduction de la taille de l'antenne** : La hauteur de l'antenne est inversement proportionnelle à la fréquence du signal rayonné et donc le rayonnement du signal haute fréquence diminue la taille de l'antenne.

### 4.5. Modulation Mono-porteuse et modulation multi-porteuse

La transmission en bande de base consiste à transmettre directement le signal sur le support sans transposition de fréquence et ce en utilisant un modem dit à bande de base. Cependant dans une communication à longue distance, il est impossible de transmettre un signal basse fréquence Pour cela il faut utiliser un signal haute fréquence qu'on l'appelle la porteuse.

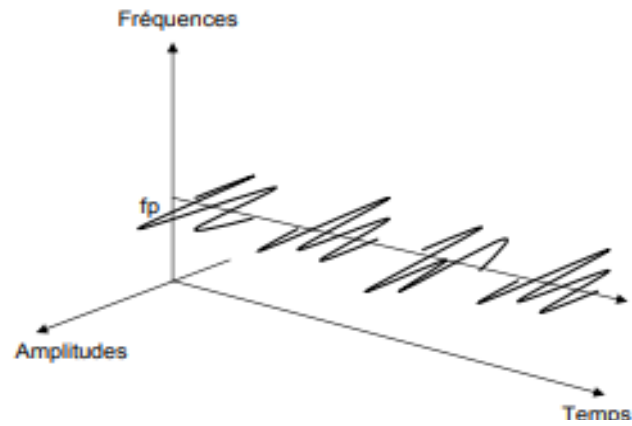
### 4.5.1. Systèmes de modulation mono-porteuse

En modulation mono-porteuse, chaque symbole d'information élémentaire occupe toute la bande spectrale disponible sur un intervalle de temps minimum.



*Figure 1.4 : format de modulation à porteuse unique*

Les systèmes de transmission à porteuse unique sont des systèmes qui transmettent des données séquentiellement sur une seule bande de fréquence ou un canal physique, autour d'une seule porteuse, *figure* 1.4. Cette technique est certes très simple à mettre en œuvre mais présente des inconvénients majeurs lorsque l'on est en présence de canaux multi trajets très sélectifs. Les trajets de canaux multiples introduisent des interférences de symboles (**IES Interférences Entre Symboles**) qui affectent la qualité de transmission. Ce phénomène est d'autant plus probable que la bande passante du système est élevée, c'est-à-dire lorsque le temps de symbole est faible. Pour combattre cette dégradation, des techniques d'estimations et d'égalisations existent dans la littérature mais on peut déjà limiter ces dégradations en adoptant des mesures de prévention à l'émission comme des formes d'ondes. [11]



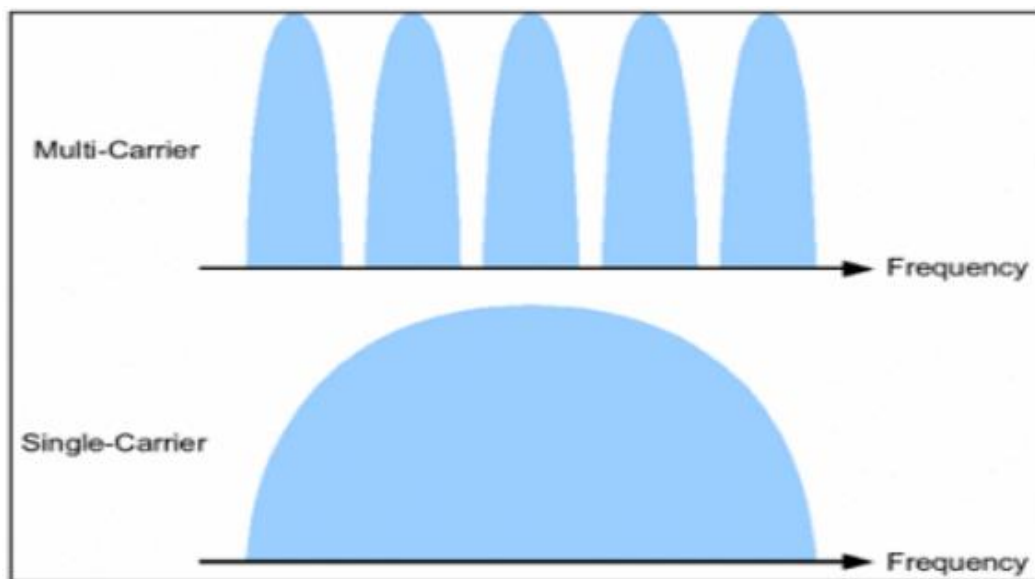
**Figure 1.5 : La modulation mono-porteuse**

Il existe différents types de modulations où le signal de modulation est un flux binaire numérique. La modulation numérique est classée en différents types, en fonction de la variation des caractéristiques du signal porteur. L'amplitude, la phase et la fréquence sont trois caractéristiques du signal qui peuvent être modifiées au fil du temps. Les trois techniques fondamentales de la modulation numérique sont : [12]

- A déplacement d'amplitude ASK (Amplitude Shift Keying).
- A déplacement de phase PSK (Phase Shift Keying).
- A déplacement de fréquence FSK (Frequency Shift keying).

### 4.5.2. **Systèmes de modulation multi-porteuse**

Le principe d'un système MCM (*Multi-carrier modulation*) est de diviser la totalité de la bande passante allouée à la transmission en un nombre fini de sous-porteuses. L'information sera transmise sur chacune de ces sous-porteuses. En effet, le train binaire contenant l'information à transmettre sera répartie sur N sous-porteuses orthogonales. L'espacement entre les sous-porteuses est choisi tel que ces dernières soient mathématiquement orthogonales les unes par rapport aux autres. Cet espacement, ainsi que d'autres paramètres du système de transmission, sont souvent fixés par le standard de l'application envisagée, afin d'augmenter l'efficacité spectrale. [13]



*Figure 1.6 : Spectre de Fréquences*

Il existe plusieurs formes de techniques de modulation multi-porteuse qui sont en usage d'être étudiée pour une utilisation future. Certains des systèmes plus connues sont résumées ci-dessous. [14]

- ✓ Generalized Frequency Division Multiplexing, GFDM.
- ✓ Filter Bank Multi Carrier, FBM
- ✓ Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM

La modulation multi-porteuse est utilisée dans de nombreuses applications telles que la norme **DAB** (*Digital Broadband Digital Audio*) et la télévision numérique **terrestre DVB-T** (*Terres Wide Digital Video Experience*), en raison de ses caractéristiques de durabilité en termes de temps, de sélectivité en fréquence et d'efficacité de canaux multivoies Spectral. [15]

Il y'a aussi d'autre application comme :

- **Le système ADSL** : L'Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) est une technique de communication numérique de la famille xDSL. Elle permet d'utiliser une ligne téléphonique, une ligne spécialisée, ou encore une ligne RNIS (en anglais ISDN, soit Integrated Services Digital Network), pour transmettre et recevoir des données numériques de manière indépendante du service téléphonique conventionnel via un filtre ADSL branché à la prise.
- **Le système Hiperlan 2** : c'est une norme de réseaux locaux sans fil fonctionnant à 5 GHz et qui utilise un mode de transmission de type OFDM sur un canal de 20 MHz.

### 4.5.3. Mono-porteuse vs Multi-porteuse

Le choix de la méthode de modulation (*mono-porteuse* ou *multi-porteuse*) est essentiellement dicté par la longueur de la réponse impulsionnelle du canal qui s'exprime en longueur de symbole. Compte tenu des coûts techniques requis au niveau du récepteur, la méthode est généralement choisie selon la règle suivante : [16]

- **Méthode mono-porteuse** : la longueur de la réponse impulsionnelle du canal est inférieure ou égale à la longueur de 16 symboles.
- **Méthode multi-porteuse** : la longueur de la réponse impulsionnelle du canal est supérieure ou égale à la longueur de 64 symboles.

Si la longueur de la réponse impulsionnelle du canal est inférieure à la longueur de 64 symboles, la moindre complexité que l'on peut attendre de la méthode à porteuses multiples n'est plus garantie. En outre, l'efficacité de l'égaliseur requise dans le procédé à porteuse unique a tendance à diminuer si la longueur de la réponse impulsionnelle du canal dépasse la longueur de 16 symboles. [16]

## 5. Technique d'accès multiple

Les performances des systèmes de radio communications sont fortement liées aux choix techniques qui permettent à des utilisateurs multiples (multi-user) d'accéder à un canal de transmission. Ce choix crucial du système d'accès concerne aussi bien les systèmes de radio communications cellulaires terrestres (**GSM : Global System for Mobile communications, UMTS : Universal Mobile Télécommunications Standard**) que les systèmes satellitaires, ou encore les réseaux locaux sans fils (Wi-Fi, Bluetooth, etc.).

Il existe trois approches pour fournir un accès multiple ont été largement envisagées :

- Accès multiple par répartition en fréquence (FDMA).
- Accès multiple par répartition dans le temps (TDMA).
- Accès multiple par répartition en code (CDMA).

### ❖ **Accès multiple par répartition en temps TDMA :**

En TDMA, tous les utilisateurs envoient la même bande de fréquence. Cependant, chaque utilisateur se déplace dans un emplacement désigné pour cet utilisateur. Les autres utilisateurs restent inactifs pendant cette période.

### ❖ **Accès multiple par répartition en code CDMA :**

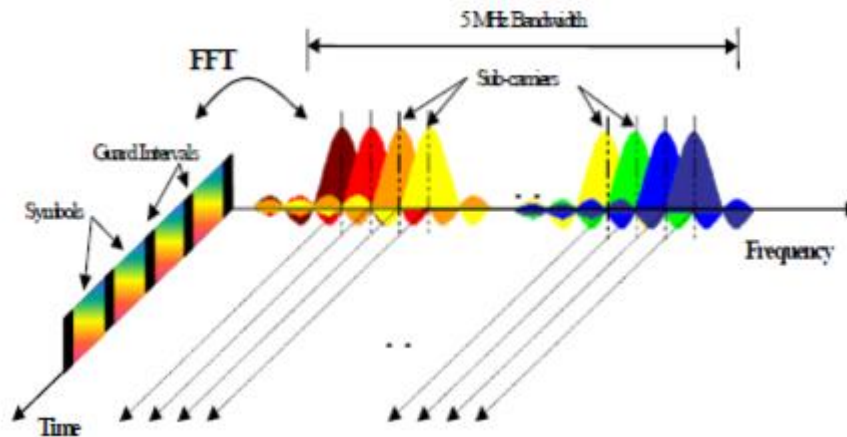
Dans CDMA, différents utilisateurs transmettent simultanément sur la même gamme de fréquences. La séparation est garantie par l'utilisation de symboles ou de signatures. Chaque utilisateur se voit attribuer un code unique. Le signal envoyé par un utilisateur ne peut être décodé que par un récepteur doté d'un code défini par l'utilisateur. L'utilisation de symboles fournit une dimension en plus du temps et de la fréquence.

### ❖ **La Technique de Transmission OFDM**

L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est utilisé dans les réseaux sans fil et les réseaux cellulaires, sans oublier la télévision numérique. Il consiste à transmettre les données en parallèle sur un très grand nombre de sous-porteuses.

Le principe de l'OFDM consiste à distribuer sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on souhaite de transmettre. Comme si l'on combinait le signal à transmettre sur un grand nombre de systèmes de transmission (des émetteurs, par exemple) indépendants et à des fréquences différentes.

Les fréquences des sous-porteuses sont aussi proches que possible, et donc l'information maximale est transmise sur un segment de fréquence spécifique, l'OFDM utilise des sous-porteuses orthogonales entre elles. Différents signaux de sous-porteuse interfèrent mais grâce à l'*orthogonalité* ils n'interfèrent pas entre eux (*Figure 1.7*).



*Figure 1.7 : Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDM*

L'OFDM, souvent appelé schéma de modulation multi porteuse, a attiré beaucoup d'attention dans le domaine des radiocommunications. Cela est principalement dû à la nécessité de transmettre un débit de données élevé dans un environnement mobile, ce qui rend un canal radio très hostile. Pour lutter contre le problème, l'OFDM semble être une solution. De l'autre côté, la technique CDMA est considérée comme un candidat pour prendre en charge les services multimédias dans les communications radio mobiles, car elle a ses propres capacités pour faire face à la nature asynchrone du trafic multimédia, pour fournir une capacité supérieure aux techniques d'accès conventionnelles. L'application CDMA a évolué comme trois types de schémas d'accès multiple basés sur une combinaison de division de code et de techniques OFDM ont été proposés, tels que MC-CDMA que nous allons détailler dans le chapitre suivant.



## **6. Conclusion**

Nous avons fourni une définition générale du système de communication et de ses concepts de base avec explication. Ensuite, nous avons présenté une définition de la modulation avec leurs différents types et plus précisément la modulation multi-porteuses. Après cela, nous avons brièvement décrit la technique de multiplexage et leurs trois types, et la technologie de transmission OFDM et son principe nous intéressent, plus particulièrement, la technique MC-CDMA qui est considérée comme la combinaison de la technique de multiplexage CDMA et de l'OFDM technique de transmission.

# CHAPITRE

## II

### MC-CDMA

---

# *Chapitre 2 MC-CDMA*

## **1. Introduction**

La technique CDMA a été considérée comme candidate pour prendre en charge les services multimédias dans les communications radio mobiles, car elle possède ses propres capacités pour faire face à la nature asynchrone du trafic multimédia, pour fournir une capacité supérieure à celle des techniques d'accès conventionnelles telles que l'accès multiple par répartition dans le temps et l'accès multiple par répartition en fréquence.

D'autre part, l'OFDM a attiré beaucoup d'attention dans le domaine des radiocommunications. Cela est principalement dû à la nécessité de transmettre un débit de données élevé dans un environnement mobile, ce qui rend un canal radio très hostile.

Trois types de schémas ont été proposés pour combiner les avantages de ces deux systèmes, tels que MC-CDMA, MC-DS-CDMA et MT-CDMA.

Depuis son introduction en 1993 [1] - [2], le MC-CDMA a fait l'objet de plusieurs recherches, chacun décrivant ou analysant essentiellement une variante particulière.

Dans ce chapitre, nous tentons d'expliquer les concepts de base du MC-CDMA.

## 2. Principes d'étalement de spectre

Le principe de l'étalement du spectre consiste à répartir l'énergie du signal à transmettre sur une bande de fréquences plus large que celle réellement nécessaire à la transmission du signal utile. Les principales techniques de modulation à spectre étalé sont le spectre étalé à séquence directe et le spectre étalé à sauts de fréquence. En séquence directe, l'énergie du signal est répartie sur toute la bande de fréquence disponible, tandis que pour le saut de fréquence, la bande de fréquence disponible est divisée en un grand nombre de sous-canaux. La fréquence porteuse passe alors d'un sous-canal à un autre par sauts discrets pseudo-aléatoires. [19] [20]

Lors de la transmission d'un signal à spectre étalé, le signal de données requis est multiplié par ce que l'on appelle un flux de données d'étalement ou de code à puce. Le flux de données résultant a un débit de données plus élevé que les données elles-mêmes. Chaque bit de la séquence d'étalement est appelé puce, et c'est beaucoup plus court que chaque bit d'information. La séquence d'étalement ou la séquence de puce a le même débit de données que la sortie finale du multiplicateur d'étalement.

Le flux de données en bande de base est ensuite modulé sur une porteuse et de cette manière le signal global est réparti sur une bande passante beaucoup plus large.

Pour décoder le signal et recevoir les données d'origine, le signal CDMA est d'abord démodulé à partir de la porteuse pour reconstituer le flux de données à grande vitesse.

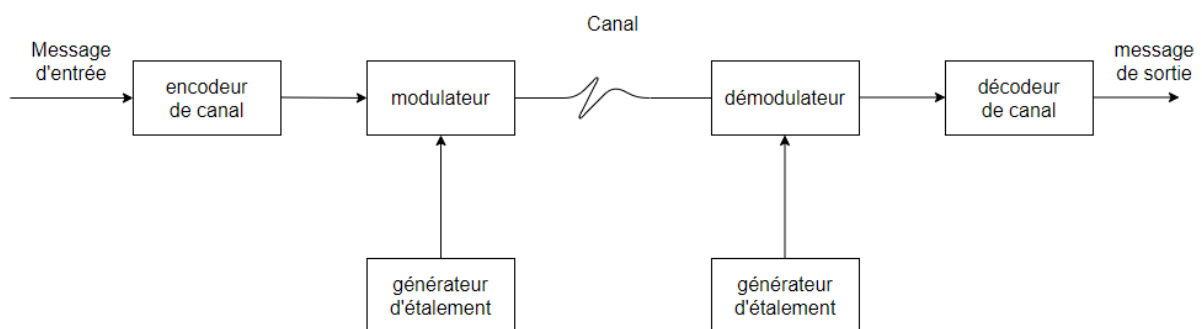


Figure 2.1 : Schéma fonctionnel du système de communication à spectre étalé [21]

### 3. System MC-CDMA

#### 3.1. Principes de fonctionnement

Le signal MC-CDMA est constitué d'une série de sous-porteuses de même amplitude. Contrairement à OFDM, où chaque sous-porteuse transmet un symbole différent, MC-CDMA transmet le même symbole de données sur chaque  $N$ ème sous-porteuse. MC-CDMA applique l'étalement dans le domaine fréquentiel en mappant une puce différente de la séquence d'étalement à une sous-porteuse OFDM individuelle [22].

L'émetteur MC-CDMA peut être mis en œuvre en concaténant un épandeur CDMA et un émetteur OFDM. La séquence de données d'entrée est d'abord convertie en un certain nombre de séquences de données parallèles, puis chaque séquence de données est multipliée par un code d'étalement. Les données des bits d'étalement sont modulées dans la bande de base par IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform) et reconverties en données série. La séquence d'étalement dans MC-CDMA offre une capacité d'accès multiple.

Au niveau du récepteur, une méthode de détection cohérente est utilisée pour étaler avec succès le signal. Le signal reçu, après conversion descendante et numérisation, est d'abord détecté de manière cohérente avec DFT (Discrete Fourier Transform), puis multiplié par un facteur de gain. EGC (equal gain combining) et MRC (maximum ratio combining) sont des techniques de combinaison standard utilisées dans les récepteurs MC-CDMA. L'avantage d'utiliser des techniques de combinaison est que même si les branches individuelles peuvent ne pas avoir un SNR suffisant, leur somme combinée augmente la probabilité de détection en augmentant le SNR d'un signal donné.

#### 3.2. Les codes

Dans cette partie, nous discuterons des codes possibles que nous pouvons utiliser. La longueur des codes est supposée être égale au nombre de sous-porteuses,  $N$ . Les éléments individuels du code seront appelés puces. Chaque puce d'un code appartient à l'ensemble  $\{-1,1\}$ .

Un ensemble possible de codes sont les codes pseudo-aléatoires (pn-codes) générés par les registres à décalage. Ces codes sont appelés pseudo-aléatoires car ils semblent être

aléatoires avec une série équilibrée de -1's et 1's. En utilisant un registre à décalage de longueur  $n$ , la longueur du code généré est  $2^n - 1$ .

Un autre ensemble possible de codes sont les codes de Walsh-Hadamard. Ces codes sont générés par des opérations matricielles.

### 3.3. Modèle de système

Le système MC-CDMA décrit ici est basé sur une seule station de base et un certain nombre de terminaux mobiles. Les transmissions en liaison montante (du mobile vers la station de base) et en liaison descendante (de la station de base au mobile) sont prises en compte [23], [24], [25].

### 3.4. Émetteur

Un modèle de l'émetteur pour une mise en œuvre possible d'un système MC-CDMA est présenté dans la figure 2.2. La génération d'un signal MC-CDMA peut être décrite comme suit. Un seul symbole de données est répliqué en  $N$  copies parallèles. La  $i^{\text{ième}}$  branche (sous-porteuse) du flux parallèle est multipliée par une puce,  $C_i^m$ , à partir d'un code pseudo-aléatoire (PN) ou d'un autre code orthogonal de longueur  $N$ , puis BPSK modulé en une sous-porteuse espacée de ses sous-porteuses voisines par  $F/T_b$  où  $F$  est un nombre entier. Le signal transmis est constitué de la somme des sorties de ces branches. Ce processus produit un signal multi porteuse avec les sous-porteuses contenant le symbole de données codées PN.

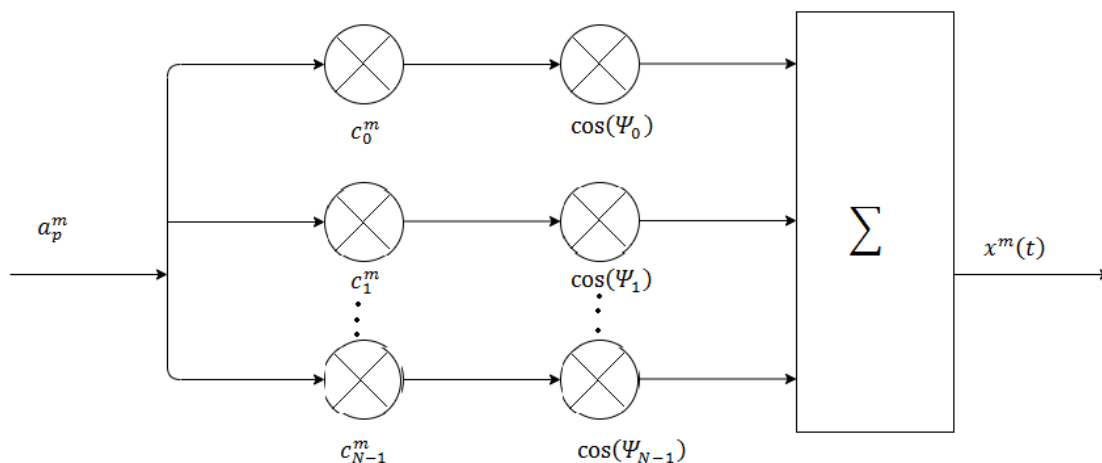


Figure 2.2 : Émetteur MC-CDMA.

### 3.5. Récepteur

Au niveau du récepteur, la méthode de décompression est appliquée via la fonction de compression inverse avant la suppression de  $C_i^m$  et le bloc de transformation de Fourier rapide (FFT) afin de capter le signal d'origine. La puissance du signal transmis est amplifiée en utilisant HPA. La technique de compression est une technique intéressante pour réduire le PAPR des signaux MC-CDMA en raison de sa simplicité et de son efficacité.

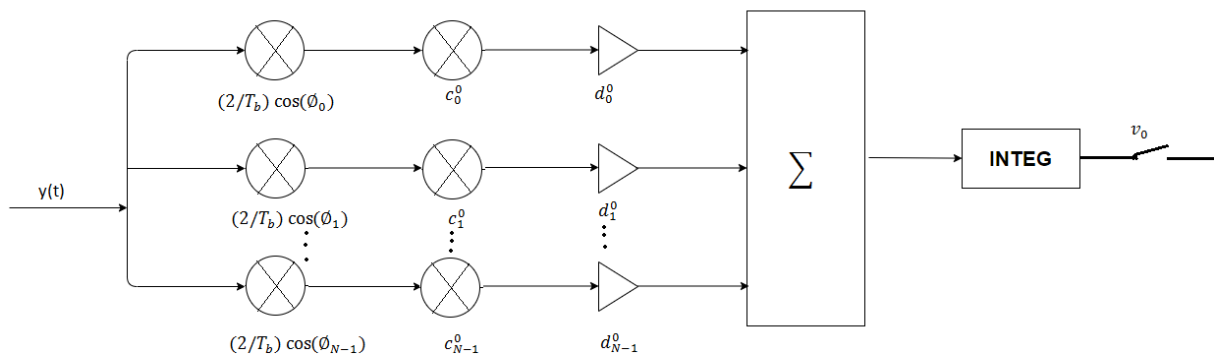


Figure 2.3 : Récepteur MC-CDMA.

## 4. Évaluation de la performance

Pour étudier les performances de n'importe quel canal de données, nous devons parler de taux d'erreur sur les bits, le BER est utilisé comme paramètre important pour caractériser les performances des canaux de données. Lors de la transmission de données d'un point à un autre, soit sur une liaison radio / sans fil ou une liaison de télécommunications filaire, le paramètre clé est le nombre d'erreurs qui apparaîtront dans les données qui apparaissent à l'extrémité.

En tant que taux d'erreur binaire, le BER est applicable à tous, des liaisons fibre optique à l'ADSL, au Wi-Fi, aux communications cellulaires, aux liaisons IoT et bien d'autres. Même si les liaisons de données peuvent utiliser des types de technologie très différents, les principes de base de l'évaluation du taux d'erreur sur les bits sont exactement les mêmes.

### 4.1. Bit Error Rate (BER)

Abréviation de l'expression anglaise Bit Error Rate, comme son nom l'indique, BER est défini comme le taux auquel des erreurs se produisent dans un système de transmission. Cela peut être directement traduit en nombre d'erreurs qui se produisent dans une chaîne d'un nombre indiqué de bits. La définition du taux d'erreur sur les bits peut être traduite en une formule simple :

$$BER = \frac{\textit{les erreurs}}{\textit{Nombre total de bits}}$$

Si le support entre l'émetteur et le récepteur est bon et que le rapport signal / bruit est élevé, BER sera très faible. Peut-être insignifiant et n'ayant aucun effet notable sur le système global. Cependant, si du bruit peut être détecté, il est possible que BER doive être pris en considération.

BER est souvent cité pour de nombreux systèmes de communication et il s'agit d'un paramètre clé utilisé pour déterminer les paramètres de liaison à utiliser, de la puissance au type de modulation.

### 4.2. Radio Signal to Noise Ratio (SNR)

Le rapport signal sur bruit (SNR) est l'une des méthodes les plus simples de mesure de la sensibilité des récepteurs radio.

Il définit la différence de niveau entre le signal et le bruit pour un niveau de signal donné. Plus le bruit généré par le récepteur est faible, meilleur est le rapport signal sur bruit.

Comme pour toute mesure de sensibilité, les performances de l'ensemble du récepteur radio sont déterminées par les performances de l'étage d'amplificateur RF frontal. Tout bruit introduit par le premier amplificateur RF sera ajouté au signal et amplifié par les amplificateurs suivants dans le récepteur. Comme le bruit introduit par le premier amplificateur RF sera le plus amplifié, cet amplificateur RF devient le plus critique en termes de performances de sensibilité du récepteur radio. Ainsi, le premier amplificateur de tout récepteur radio doit être un amplificateur à faible bruit.

Il peut être exprimé par l'équation suivant :

$$SNR = \frac{P_{Signal}}{P_{Bruit}}$$



### **4.3. Liaison montante et liaison descendante**

Liaison montante (en anglais Up Link) est une expression relative aux transmissions par satellite (télédiffusion, télécommunications, Internet via satellite ...). Elle concerne le canal et la direction des signaux ou données provenant d'une station au sol vers le satellite. Il s'agit en général du canal de transmission et des informations transmises, d'une station terrienne à une station spatiale, d'une station de données à un ordinateur central, d'un utilisateur à un serveur, voire d'une station mobile à une station de base.

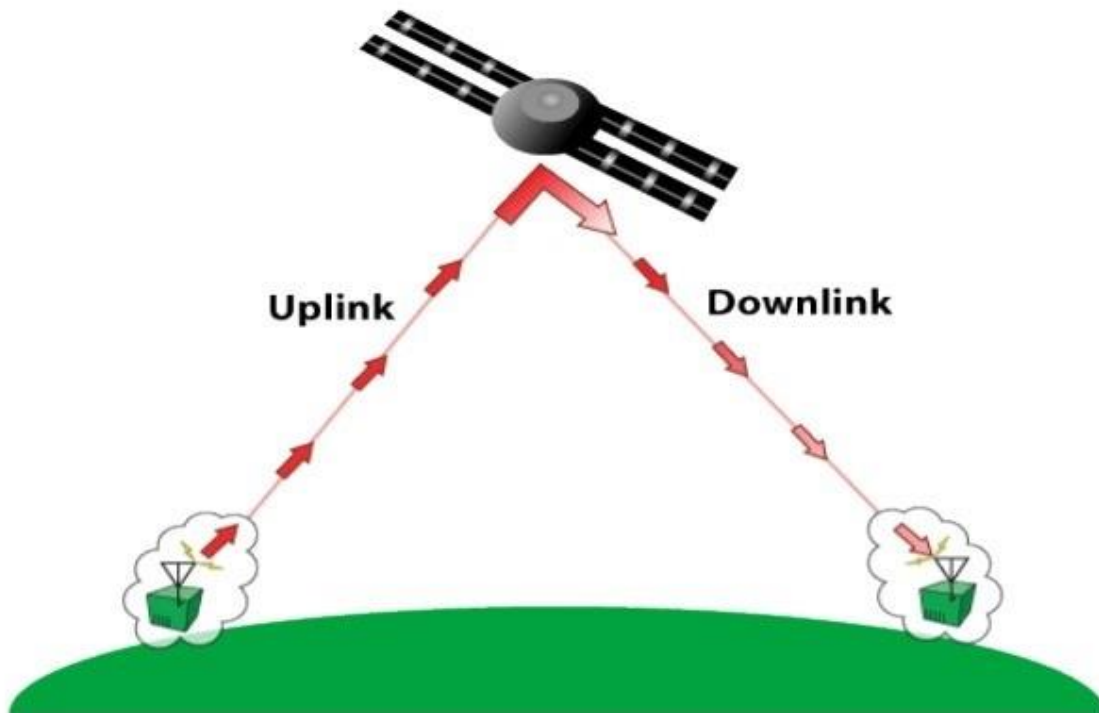


Figure 2.4 : Liaison montante et liaison descendante.

La probabilité d'erreur dans notre système MC-CDMA on liaison montante est :

$$P_r(\text{error}|\bar{P}^0, \bar{P}^m) \cong \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{h})$$

Avec :

$$h = \frac{\bar{P}^0 T_b}{\left(2 \frac{\bar{P}^0 T_b}{N_\omega} + \left(\frac{M-1}{N}\right) + \bar{P}^m T_b + N_0\right)}$$

Pour la liaison descendante (en anglais Down Link), l'opposé de la liaison montante peut être décrit comme la transmission de la station de base vers le terminal.

La probabilité d'erreur dans notre système MC-CDMA on liaison descendante est :

$$P_r(\text{error}|\bar{P}^0, \bar{P}^m) \cong \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{h})$$

Avec :

$$h = \frac{\bar{P}^0 T_b}{\left(2 \frac{M}{N_\omega}\right) \bar{P}^0 T_b + N_0}$$

Avec :

- ✓  **$T_b$  (Durée du symbole)** : aussi connu comme intervalle unité, peut être mesurée directement comme le temps entre les transitions en regardant dans un diagramme de l'œil d'un oscilloscope.

$$T_b = 1 \text{ Mbauds/sec.}$$

- ✓ **M (nombre Utilisateur)** : nous avons travaillé dans intervalle de M égal à 100 jusqu'à 1 million.
- ✓ **N (sous porteuse)** : Le nombre total de sous-porteuses disponibles dépend de la largeur de bande de transmission globale du système :  
 $N = 2^M = 64, 128 \dots \text{Jusqu'au } 265.$
- ✓  **$N_0$  (La Dsp monolatérale)** : d'après le théorème de la limite centrale et compte tenu du fait qu'il existe un grand nombre d'électrons dans la matière évoluant indépendamment les uns des autres et suivant une même loi, le BBAG peut être modélisé par un processus gaussien. Le BBAG est donc un modèle de bruit possédant deux caractéristiques intéressantes, de pouvoir être modélisé par un processus gaussien et d'avoir une Dsp constante. Lors de l'étude des systèmes de communications numériques, la valeur de la Dsp du BBAG sera mesurée par le rapport signal à bruit  $E_b/N_0$ , défini comme l'énergie moyenne par bit d'information transmis sur la densité spectrale de puissance monolatérale  $N_0$  du bruit.
- ✓ **W (paramètre de décoloration)** : dans les communications sans fil, la décoloration est la variation de l'atténuation d'un signal à diverses variables. Ces variables comprennent le temps, la position géographique et la fréquence radio. Fading est souvent modélisé comme un processus aléatoire. Un canal à évanouissement est un canal de communication que les expériences de décoloration. Dans les systèmes sans fil, la décoloration peut être soit due à la propagation par trajets multiples, appelée induite par trajets multiples décoloration. Ce paramètre prend des valeurs de 0.5 jusqu'à 170 tel que

- $W = 1$  pour la distribution de Rayleigh.

- $W = 0.5$  pour la distribution d'un variable aléatoire gaussiens.

Et on a :

$$\alpha^m = p^m \frac{p^m}{p^0}$$

Elle est confinée entre -20 jusqu'à 20

Avec :

- ✓  $p^{-0}$  (**La puissance moyenne**) : La puissance moyenne sur un intervalle de temps est simplement la valeur moyenne de la puissance instantanée ou bien l'énergie d'interaction sur intervalle de temps donné divisé par la durée de l'intervalle.
- ✓  $p^{-m}$  (**La puissance totale locale**) : Elle représente la répartition fréquentielle de la puissance d'un signal suivant les fréquences qui le composent tel que :

$$p^{-m} = N \cdot p_i^{-m}$$

## 5. Les avantages du système MC-CDMA

La possibilité d'allouer la même bande de fréquence aux différents utilisateurs. La distinction des signaux des différents utilisateurs se fait à partir des codes d'étalement alloués à chacun d'eux.

- ✓ Aussi, la possibilité d'utiliser la même bande de transmission que d'autres systèmes de communications à condition de respecter un niveau de puissance spécifié dans les normes (IS-95).
- ✓ La résistance aux brouilleurs du signal émis et assurée grâce à l'opération de désétalement qui fait chuter le niveau de puissance des brouilleurs.
- ✓ Une bonne robustesse aux interceptions est assurée parce que seul le couple TX/RX connaît le code d'étalement.
- ✓ La possibilité d'utiliser la diversité des trajets : pour un utilisateur donné, on peut bénéficier de l'énergie des trajets secondaires.
- ✓ L'allocation des bandes (ressources) au niveau multi cellulaire n'est plus contraignante puisque la même bande de fréquence est allouée à toutes les cellules. La

distinction entre cellules se fait pratiquement par des codes suffisamment longs dits codes d'embrouillage ayant le même rythme que les codes d'étalement. [26]

### 6. Les inconvénients du système MC-CDMA

En ce qui concerne les inconvénients, l'étalement de spectre présente aussi quelques problèmes majeurs.

- ✓ Inefficacité d'allocation spectrale : cet inconvénient est dû au fait d'allouer une large bande ce qui rend la possibilité d'allouer une bande étroite beaucoup plus difficile.
- ✓ La dégradation des performances dans un contexte multi-utilisateur : lorsque le canal brise d'une manière importante l'orthogonalité des codes des différents utilisateurs, un BAM vient s'ajouter au signal reçu. [26]

### 7. Applications de la MC-CDMA

La technique MC-CDMA est prometteuse pour :

- ✓ Les futures générations des systèmes de communication radio mobile [26] [27].
- ✓ Le canal PLC (power line communication).
- ✓ La radio cognitive.
- ✓ L'environnement sans fil d'intérieur (indoor Wireless Environment) [28].
- ✓ La quatrième génération des standards pour la téléphonie mobile (4G).

### 8. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la technique d'accès multiple MC-CDMA. Cette dernière combine l'accès multiple à répartition de code, utilisant l'étalement de spectre CDMA, et les modulations à porteuses multiples OFDM.

L'objectif de cette partie est de présenter les principaux concepts de base de cette technique (étalement de spectre, Émetteur, récepteur ...).

Le chapitre présente aussi le concept BER qui est un élément fondamental dans l'évaluation des performances des techniques d'accès multiples d'une façon générale.

# CHAPITRE

## III

Algorithme

Génétique

---

# *Chapitre 3* *Algorithme Génétique*

## **1. Introduction**

Les algorithmes génétiques (AG) sont des méthodes adaptatives qui peuvent être utilisées pour résoudre des problèmes de recherche et d'optimisation. Ils sont basés sur les processus génétiques des organismes biologiques. Au fil des générations, les populations naturelles évoluent selon les principes de sélection naturelle et de survie des plus aptes. En imitant ce processus, les algorithmes génétiques sont capables "d'évoluer" des solutions aux problèmes du monde réel, s'ils ont été correctement codés.

## 2. Principes et fonctionnalités

L'algorithme génétique générera un certain nombre de ces chaînes chromosomiques au hasard, chacune représentant un individu dans la population initiale (parent), à laquelle les principes évolutifs de sélection et de mutation sont appliqués. Pour le mécanisme de sélection, l'utilisateur doit fournir des moyens pour déterminer l'aptitude relative des individus. Cela peut être fait en comparant deux individus et en décidant lequel est le meilleur ou en fournissant une fonction de fitness qui permet de classer chaque individu par rapport à la fitness moyenne de la population. L'algorithme privilégiera alors les individus ayant une meilleure condition physique à sélectionner pour être propagés à la prochaine génération.

Une nouvelle génération est alors produite en appliquant des opérateurs génétiques aux individus sélectionnés. Les opérateurs de base sont la mutation, où un ou plusieurs chiffres de la chaîne chromosomique sont modifiés, et le croisement, où deux chaînes sont coupées et recombinaées transversalement pour former deux nouvelles chaînes, qui contiennent les caractéristiques des deux parents. D'autres opérateurs comme la reproduction (copie) ou l'inversion (échange de sous-chaînes) sont d'importance mineure.

Les deux étapes de sélection et de propagation sont répétées jusqu'à ce qu'un individu corresponde au critère de terminaison. Il convient de souligner le fait que rien ne doit être connu sur la solution réelle du problème et même pas des exemples de solutions doivent être donnés. Cependant, plus la fonction fitness est développée en la rendant plus précise et plus linéaire, plus l'algorithme convergera rapidement. [28]



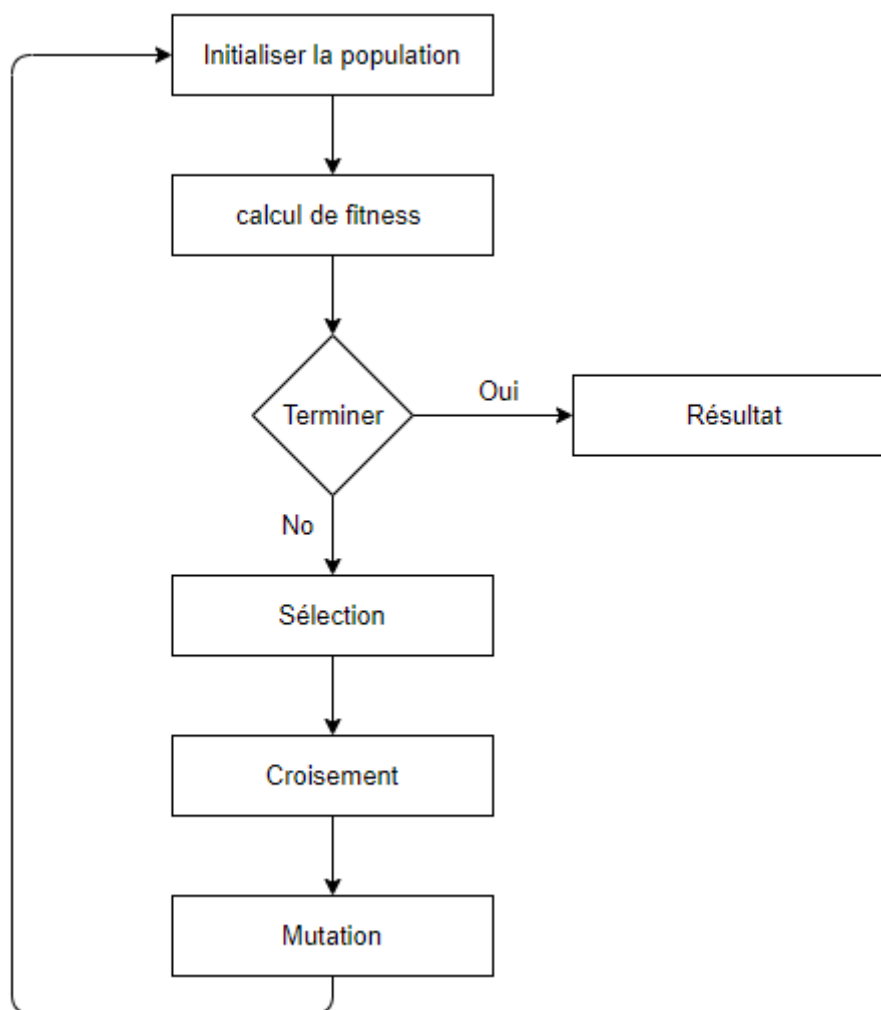


Figure 3.1 : les étapes de l'algorithme génétique. [28]

### 3. Caractéristiques des algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques, en tant qu'approche de résolution de problèmes, se caractérisent par certains aspects particuliers : le codage des paramètres du problème à traiter, l'espace de recherche et la fonction d'évaluation qui permet de déterminer la pertinence d'une solution trouvée et l'évolution d'une génération à une autre par la sélection des chromosomes qui participent à la reproduction et les chromosomes à disparaître. [29]

### 3.1. Représentation du génotype

L'une des décisions les plus importantes à prendre lors de la mise en œuvre d'un algorithme génétique est de décider de la représentation que nous utiliserons pour représenter nos solutions. Il a été observé qu'une représentation incorrecte peut conduire à de mauvaises performances de l'algorithme génétique.

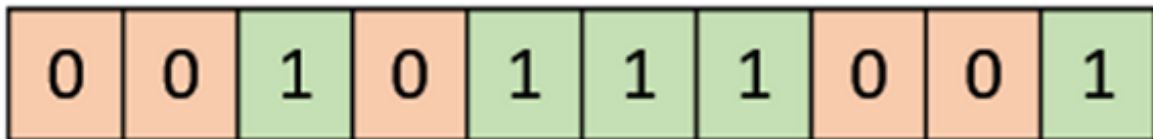
Par conséquent, le choix d'une représentation appropriée, ayant une définition appropriée des correspondances entre les espaces phénotype et génotype est essentiel pour le succès d'un algorithme génétique.

Dans cette section, nous présentons certaines des représentations les plus couramment utilisées pour les algorithmes génétiques :

#### ❖ Représentation binaire :

C'est l'une des représentations les plus simples et les plus utilisées dans les AG. Dans ce type de représentation, le génotype se compose de chaînes de bits.

Pour certains problèmes lorsque l'espace de solution se compose de variables de décision booléennes (oui ou non), la représentation binaire est naturelle. Prenons par exemple le problème du sac à dos 0/1. S'il y a  $n$  éléments, nous pouvons représenter une solution par une chaîne binaire de  $n$  éléments, où le  $x^{\text{ème}}$  élément indique si l'élément  $x$  est choisi (1) ou non (0).

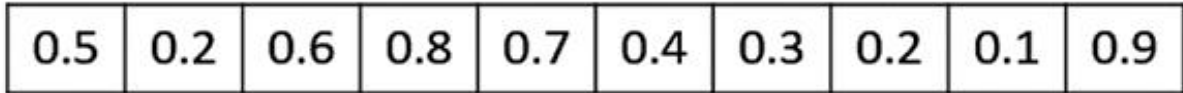


*Figure 3.2 : Représentation binaire.*

Pour d'autres problèmes, en particulier ceux qui traitent des nombres, nous pouvons représenter les nombres avec leur représentation binaire. Le problème avec ce type de codage est que différents bits ont une signification différente et que, par conséquent, les opérateurs de mutation et de croisement peuvent avoir des conséquences indésirables. Cela peut être résolu dans une certaine mesure en utilisant le codage gris, car un changement d'un bit n'a pas un effet massif sur la solution.

❖ **Représentation valorisée réelle :**

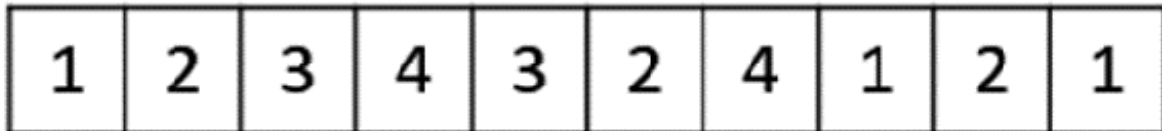
Pour les problèmes où nous voulons définir les gènes en utilisant des variables continues plutôt que discrètes, la représentation à valeur réelle est la plus naturelle. La précision de ces nombres réels ou à virgule flottante est cependant limitée à l'ordinateur.



*Figure 3.3 : Représentation valorisée réelle.*

❖ **Représentation entière :**

Pour les gènes à valeurs discrètes, nous ne pouvons pas toujours limiter l'espace des solutions au oui ou au non binaire. Par exemple, si nous voulons encoder les quatre distances - Nord, Sud, Est et Ouest, nous pouvons les encoder comme  $\{0,1,2,3\}$ . Dans de tels cas, une représentation entière est souhaitable.



*Figure 3.4 : Représentation entière.*

### **3.2. La fonction d'évaluation**

Dans les algorithmes génétiques, chaque solution est généralement représentée sous la forme d'une chaîne de nombres binaires, connue sous le nom de chromosome. Nous devons tester ces solutions et trouver le meilleur ensemble de solutions pour résoudre un problème donné. Par conséquent, chaque solution doit recevoir un score, pour indiquer dans quelle mesure elle est parvenue à répondre aux spécifications générales de la solution souhaitée. Ce score est généré en appliquant la fonction fitness au test, ou les résultats obtenus à partir de la solution testée.

### **3.3. La sélection des parents**

La sélection des parents est le processus de sélection des parents qui s'accouplent et se recombinent pour créer des descendants pour la prochaine génération. La sélection des parents

est très cruciale pour le taux de convergence de l'algorithmes génétique, car les bons parents conduisent les individus vers des solutions meilleures et plus adaptées.

Cependant, il faut veiller à ce qu'une solution extrêmement adaptée ne prenne pas la relève de la population entière en quelques générations, car cela conduit à ce que les solutions soient proches les unes des autres dans l'espace des solutions, entraînant ainsi une perte de diversité. Le maintien d'une bonne diversité dans la population est extrêmement crucial pour le succès d'un algorithme génétique. Cette prise de l'ensemble de la population par une solution extrêmement en forme est connue sous le nom de convergence prématurée et est une condition indésirable dans un algorithme génétique.

#### ❖ **Sélection proportionnée de fitness :**

La sélection proportionnelle de remise en forme est l'un des moyens les plus populaires de sélection des parents. En cela, chaque individu peut devenir un parent avec une probabilité proportionnelle à son aptitude. Par conséquent, les individus en meilleure forme ont plus de chances de s'accoupler et de propager leurs caractéristiques à la prochaine génération. Par conséquent, une telle stratégie de sélection applique une pression de sélection aux individus les plus aptes de la population, évoluant de meilleurs individus au fil du temps.

Considérez une roue circulaire. La roue est divisée en  $n$  tartes, où  $n$  est le nombre d'individus dans la population. Chaque individu obtient une partie du cercle qui est proportionnelle à sa valeur de forme physique. Deux implémentations de la sélection proportionnelle de fitness sont possibles :

- Sélection de roue de roulette :

Dans une sélection de roue de roulette, la roue circulaire est divisée comme décrit précédemment. Un point fixe est choisi sur la circonférence de la roue comme indiqué et la roue est tournée. La région de la roue qui vient devant le point fixe est choisie comme parent. Pour le deuxième parent, le même processus est répété.

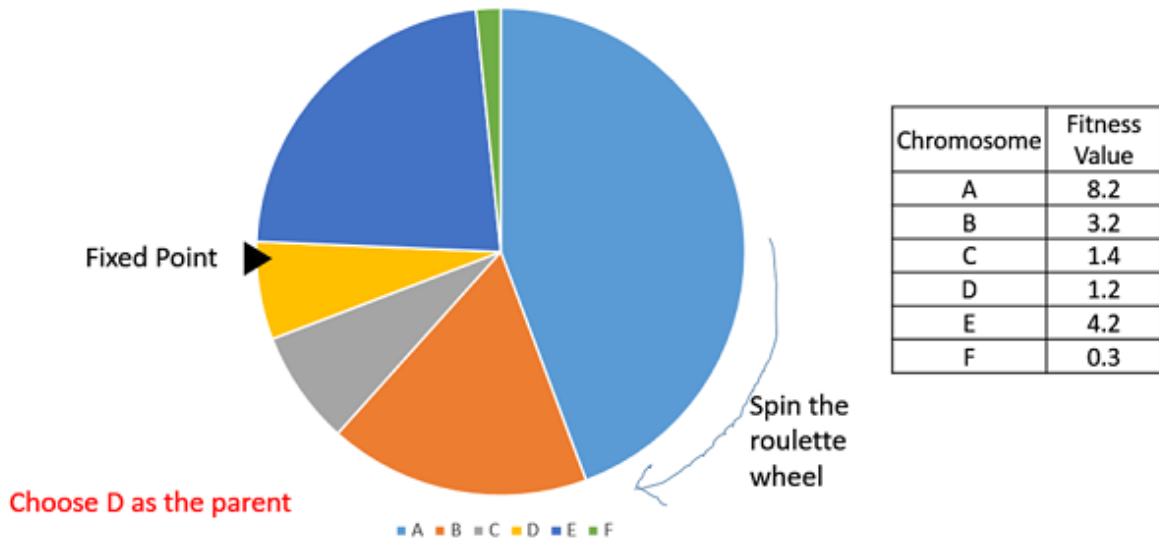
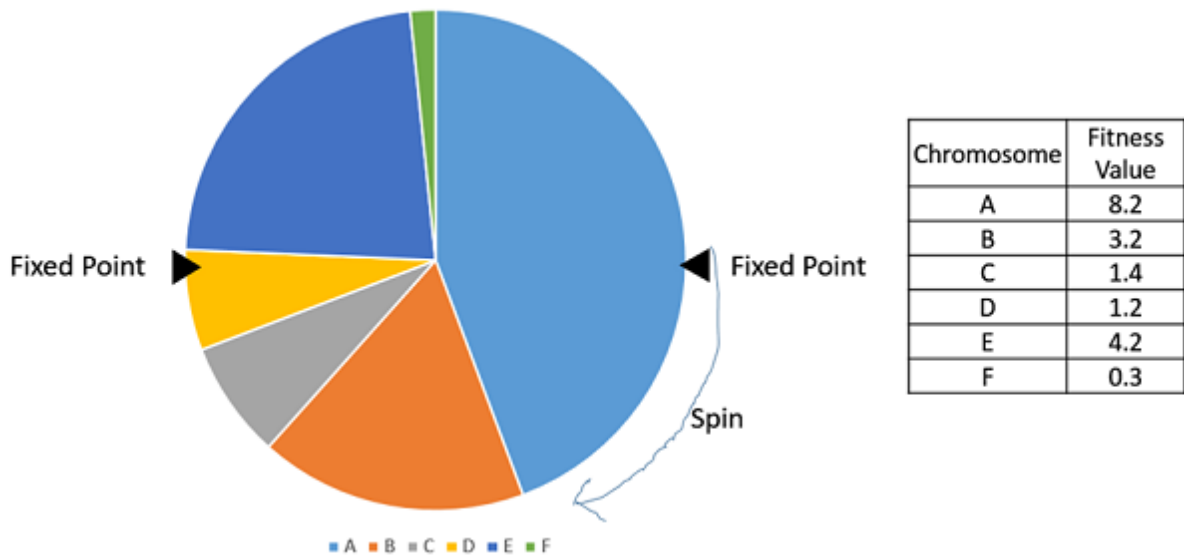


Figure 3.5 : sélection de roue de roulette.

Il est clair qu'un individu en meilleure forme a une plus grande tarte sur la roue et donc une plus grande chance d'atterrir devant le point fixe lorsque la roue est tournée. Par conséquent, la probabilité de choisir un individu dépend directement de sa forme physique. Pour la mise en œuvre, nous utilisons les étapes suivantes :

- ✓ Calculer S (la somme des fitnesses).
- ✓ Générez un nombre aléatoire entre 0 et S.
- ✓ En partant du haut de la population, continuez à ajouter les fitnesses à la somme partielle P, jusqu'à  $P < S$ .
- ✓ L'individu pour lequel P dépasse S est l'individu choisi.
- Échantillonnage universel stochastique (SUS) :

L'échantillonnage universel stochastique est assez similaire à la sélection de roue de roulette, mais au lieu d'avoir un seul point fixe, nous avons plusieurs points fixes comme indiqué dans *figure* 3.6. Par conséquent, tous les parents sont choisis en un seul tour de roue. En outre, une telle configuration encourage les personnes hautement aptes à être choisies au moins une fois.



**Figure 3.6 : échantillonnage universel stochastique.**

Il est à noter que les méthodes de sélection des proportionnés de fitness ne fonctionnent pas pour les cas où la remise en forme peut prendre une valeur négative.

❖ **Sélection du tournoi :**

Dans la sélection de tournois K-Way, nous sélectionnons K individus de la population au hasard et sélectionnons les meilleurs d'entre eux pour devenir parents. Le même processus est répété pour sélectionner le parent suivant. La sélection de tournois est également extrêmement populaire dans la littérature car elle peut même fonctionner avec des valeurs de fitness négatives.

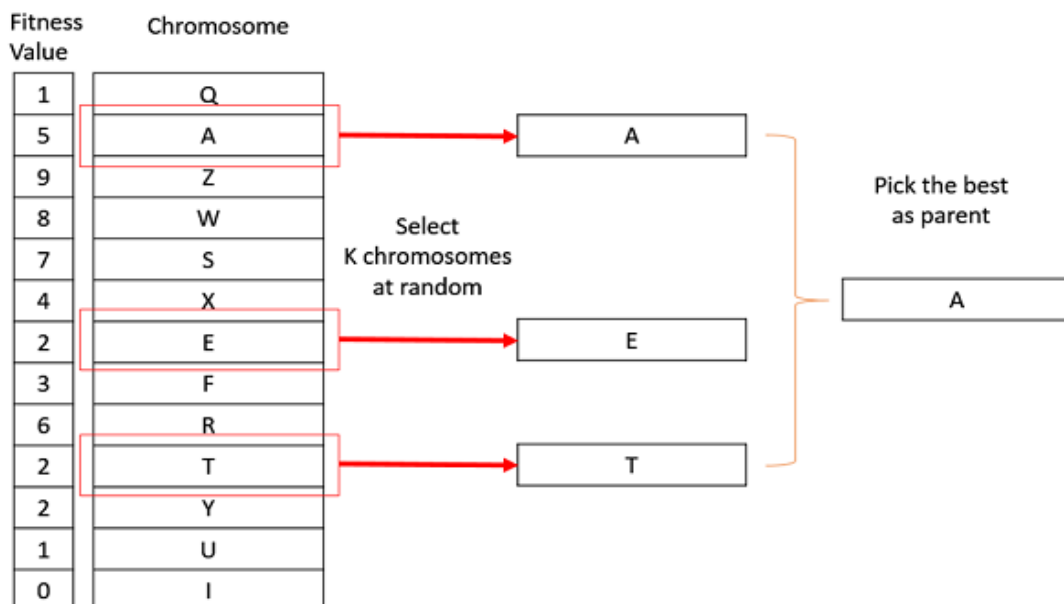


Figure 3.7 : *sélection de tournois.*

❖ **Sélection de rang :**

La sélection de rang fonctionne également avec des valeurs de fitness négatives et est principalement utilisée lorsque les individus de la population ont des valeurs de fitness très proches (cela se produit généralement à la fin de la course). Cela conduit à chaque individu ayant une part presque égale de la tarte (comme dans le cas de la sélection proportionnelle de la forme physique) comme le montre la figure 3.8 par conséquent, chaque individu, quelle que soit sa forme, les uns par rapport aux autres, a environ la même probabilité d'être sélectionné en tant que parent. Cela entraîne à son tour une perte de la pression de sélection envers les personnes en meilleure forme, ce qui oblige l'AG à faire de mauvaises sélections parentales dans de telles situations.

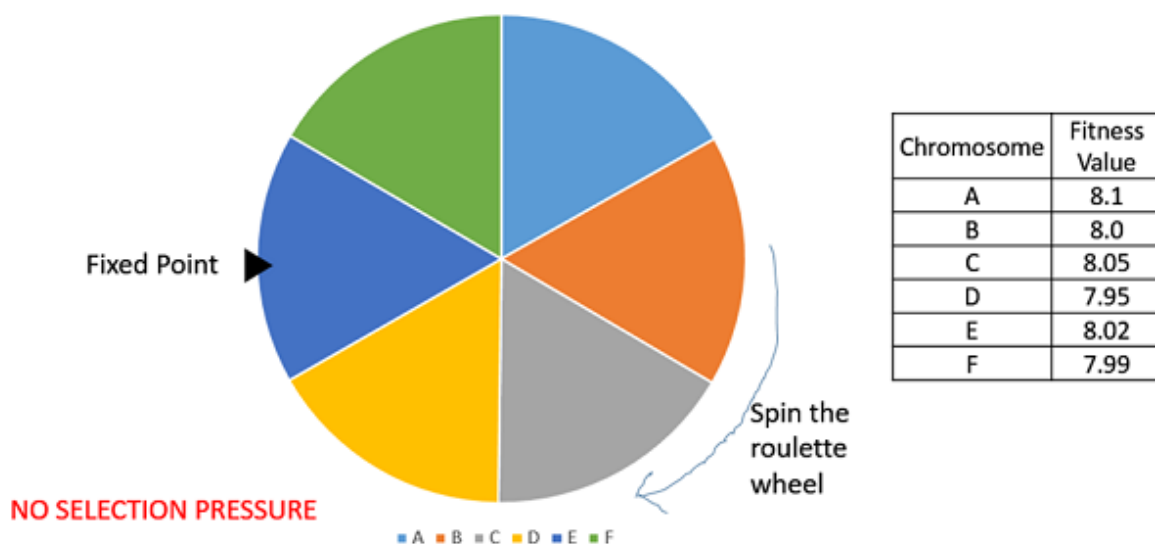


Figure 3.8 : *sélection de rang.*

En cela, nous supprimons le concept d'une valeur de fitness lors de la sélection d'un parent. Cependant, chaque individu de la population est classé en fonction de sa valeur du fitness. La sélection des parents dépend du rang de chaque individu et non de la valeur du fitness. Les individus les mieux classés sont préférés davantage que les individus les moins bien classés.

Chromosome	Fitness Value	Rank
A	8.1	1
B	8.0	4
C	8.05	2
D	7.95	6
E	8.02	3
F	7.99	5

### ❖ Sélection aléatoire :

Dans cette stratégie, nous sélectionnons au hasard les parents de la population existante. Il n'y a pas de pression de sélection envers les individus plus en forme et cette stratégie est donc généralement évitée.

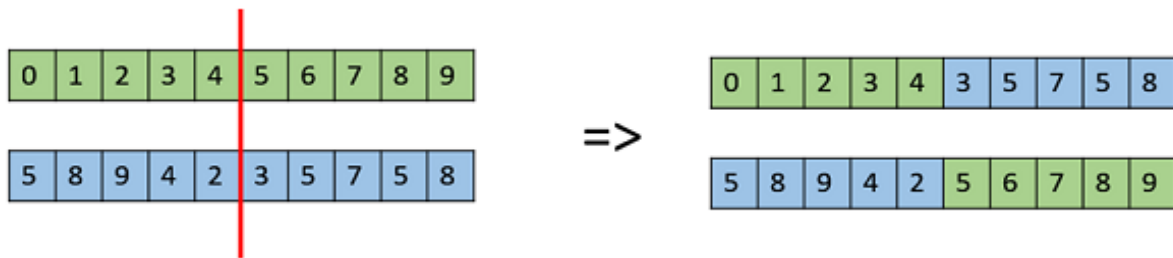
## 3.4. Le croisement

L'opérateur de croisement est similaire à la reproduction et au croisement biologique. Dans ce cas, plus d'un parent est sélectionné et un ou plusieurs descendants sont produits en utilisant le matériel génétique des parents. Dans cette section, nous discuterons de certains des opérateurs de croisement les plus couramment utilisés. Il est à noter que ces opérateurs de croisement sont très génériques et que le concepteur d'algorithmes génétiques peut également choisir d'implémenter un opérateur de croisement spécifique au problème.

### ❖ Croisement à un point :



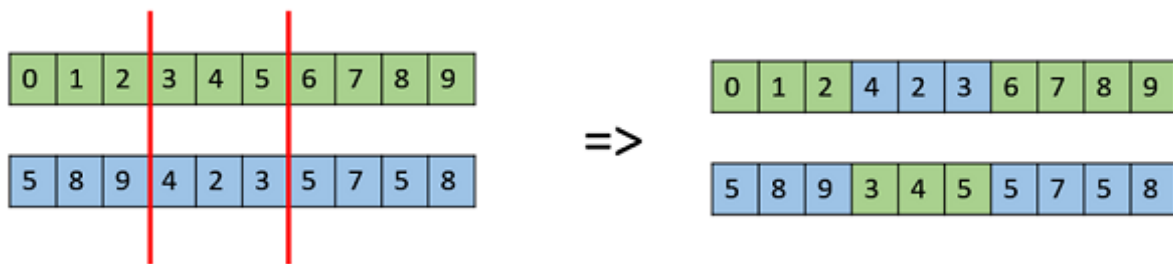
Dans ce croisement à un point, un point de croisement aléatoire est sélectionné et les queues de ses deux parents sont échangées pour obtenir de nouveaux descendants.



*Figure 3.9 : Croisement à un point.*

❖ **Croisement multipoint :**

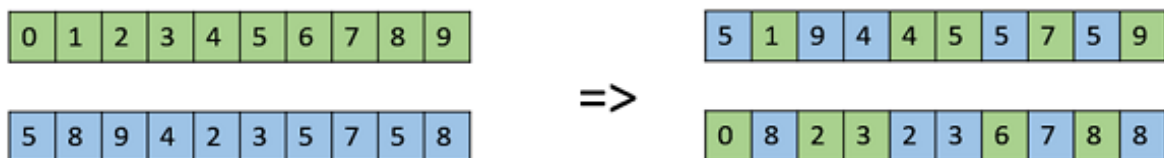
Le croisement multipoint est une généralisation du croisement à un point dans lequel les segments alternés sont échangés pour obtenir de nouveaux ressorts.



*Figure 3.10 : Croisement multipoint.*

❖ **Croisement uniforme :**

Dans un croisement uniforme, nous ne divisons pas le chromosome en segments, nous traitons plutôt chaque gène séparément. En cela, nous retournons essentiellement une pièce pour chaque chromosome pour décider s'il doit être inclus ou non dans la descendance. Nous pouvons également biaiser la pièce en faveur d'un parent, pour avoir plus de matériel génétique chez l'enfant de ce parent.



*Figure 3.11 : Croisement uniforme.*

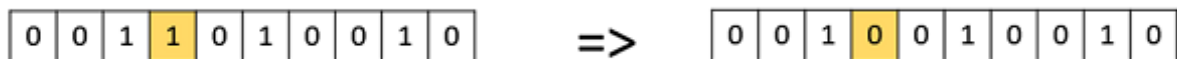
### 3.5. La mutation

En termes simples, la mutation peut être définie comme une petite modification aléatoire du chromosome, pour obtenir une nouvelle solution. Il est utilisé pour maintenir et introduire la diversité dans la population génétique et est généralement appliqué avec une faible probabilité.

La mutation est la partie de l'algorithme génétique qui est liée à l'exploration de l'espace de recherche. Il a été observé que la mutation est essentielle à la convergence de l'algorithme génétique alors que le croisement ne l'est pas.

❖ **Bit Flip Mutation :**

Dans cette mutation de retournement de bits, nous sélectionnons un ou plusieurs bits aléatoires et les retournons. Ceci est utilisé pour les GA codés en binaire.



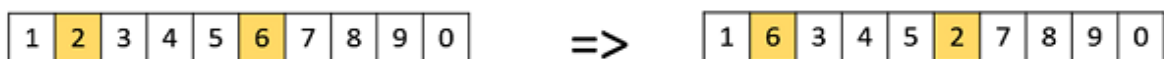
*Figure 3.12 : Bit flip mutation.*

❖ **Réinitialisation aléatoire :**

La réinitialisation aléatoire est une extension du basculement de bits pour la représentation réelle. En cela, une valeur aléatoire de l'ensemble des valeurs autorisées est attribuée à un gène choisi au hasard.

❖ **Swap Mutation :**

Dans la mutation de swap, nous sélectionnons deux positions sur le chromosome au hasard et échangeons les valeurs. Ceci est courant dans les codages basés sur la permutation.



*Figure 3.13 : Swap mutation.*

### 3.6. Le remplacement des individus

Après que les étapes précédentes sont finies maintenant on doit insérer la nouvelle génération dans la population avec garder la taille de la population il existe plusieurs types de remplacement:

- On remplace la nouvelle l'ancienne génération par la nouvelle génération donc on va perdre la génération précédente avec les individus de bonne performance sa c'est l'inconvénient de cette méthode.
- Après le croisement de 2 parents et obtiens 2 autres enfants en comparant la performance des 4 individus et en choisissant les meilleurs individus parmi ceux-ci 4 pour insérer à la nouvelle population.
- On remplace un nombre fixe des parents moins performants avec des fils choisis aléatoirement. [30]

### 3.7. Le test d'arrêt de l'algorithme

Le cycle de génération et de sélection de population est répété jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit satisfait, ce critère peut être notamment un nombre maximum de générations, un temps maximal de calcul, une valeur de fitness, ou une convergence vers une solution satisfaisante. [31]

## 4. Conclusion

L'algorithme génétique est une technique d'optimisation de la recherche basée sur les principes de la génétique et de la sélection naturelle. Il est fréquemment utilisé pour trouver des solutions optimales ou quasi optimales à des problèmes difficiles qui autrement prendraient une vie à résoudre. Il est fréquemment utilisé pour résoudre des problèmes d'optimisation, dans la recherche et dans l'apprentissage automatique.

Dans ce chapitre, nous avons fourni une présentation générale de l'algorithme génétique et de ses concepts de base avec une brève explication.

# CHAPITRE

## IV

Implémentation et

Expérimentation

---

# *Chapitre 4 Implémentation et Expérimentation*

## **1. Introduction**

La vie artificielle est un domaine de recherche interdisciplinaire qui combine l'informatique et la biologie, avec des applications dans divers domaines. Son objectif est de créer des systèmes artificiels inspirés des systèmes vivants, sous forme de programmes informatiques.

Le but de ce chapitre est de présenter les techniques, les langages et les outils utilisés pour mettre en œuvre notre prototype. Notre travail expérimental est devisé en deux parties :

- La première partie est l'étude de l'importance des différents paramètres de la fonction qui permet de calculer le BER (fonction de fitness) et ce en utilisant les arbres de décision (AD).
- Dans la deuxième partie nous allons appliquer les algorithmes génétiques pour optimiser notre fonction de calcul BER.

Dans ce chapitre, nous fournirons les différents composants du système qui contribuent au processus de calcul ainsi que quelques interfaces expliquant les différentes options disponibles.



## 2. Présentation des outils de développement

C# est un langage orienté objet élégant et sécurisé qui permet aux développeurs de créer une variété d'applications sécurisées et robustes qui s'exécutent dans l'écosystème .NET. L'écosystème .NET est composé de toutes les implémentations de .NET, y compris les deux, mais sans s'y limiter, .NET Core et .NET Framework.

Nous pouvons utiliser C# pour créer des applications client Windows, des services Web XML, des composants distribués, des applications client-serveur, des applications de base de données et bien plus encore. [33]

### 2.1. Langage C# :

C# (**C Sharp**) est un langage de programmation orienté objet, commercialisé par Microsoft depuis 2002 et destiné à développer sur la plateforme **Microsoft.NET** [34].

La syntaxe C# est très expressive, mais elle est également simple et facile à apprendre. La syntaxe avec accolades de C# sera facile à reconnaître pour toute personne familiarisée avec C, C++ ou Java.



Les développeurs qui connaissent un de ces langages peuvent généralement commencer à travailler efficacement en C# en très peu de temps. [33]

### Historique [33]

En septembre 2000, les plates-formes .NET et C# ont été présentées au public. C# est devenu le langage réel de cette plate-forme et a également été utilisé pour implémenter une partie de la plate-forme .NET

ANNEE	VERSION	BIBLIOTHEQUE	PRINCIPAL CHANGEMENT
2002	1.0	.NET Framework 1.0 et 1.1	
2005	2.0	.NET Framework 2.0	Généricité ajoutée à C# et au Framework
2008	3.0	.NET Framework 3.5	LINQ (Language integrated queries)
2010	4.0	.NET Framework 4.0	Types dynamiques
2012	5.0	.NET Framework 4.5	Méthodes asynchrones
2015	6.0	.NET Framework 4.6	Version pour Linux
2016	7.0	.NET Framework >= 4.5	Tuples, fonctions locales
2019	8.0	.NET standard >=2.1 et .NET Core >=3.0	Membre ReadOnly, opérateur d'assignation de fusion

Tableau 4.1 : les versions de C# et .NET Framework [34]

## 2.2. .NET Framework:

C# s'exécute sur le **.NET Framework**, qui est un composant intégral de Windows qui comprend un système d'implémentation virtuel appelé « *Common Language Runtime (CLR)* » et un ensemble unifié de



bibliothèques de classes. **CLR** est l'implémentation commerciale de Microsoft de « *Common Language Infrastructure* » (*CLI*), une norme internationale qui sert de base à la création d'environnements de développement et d'implémentation dans lesquels les langues et les bibliothèques fonctionnent de manière transparente.

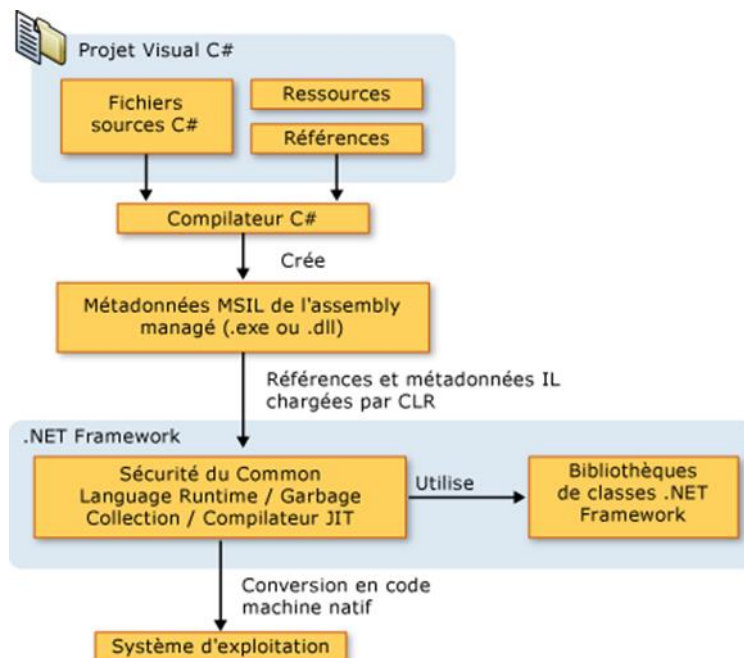


Figure 4.1 : *Architecture de la plateforme .NET Framework* [33]

## 2.3. Microsoft Visual Studio

Microsoft Visual Studio est une suite de programmes de développement pour





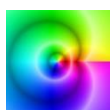
Windows et MacOS conçue par Microsoft. La dernière version s'appelle **Visual Studio 2019**.

Visual Studio est une suite complète d'outils de développement pour la création d'applications Web ASP.NET, de services Web XML, d'applications bureautiques et d'applications mobiles. Visual **Basic**, Visual **C ++** et Visual **C#** utilisent le même environnement de développement intégré (IDE), ce qui leur permet de partager des outils et de faciliter la création de solutions dans plusieurs langues. De plus, ces langages permettent une meilleure utilisation de la fonctionnalité **.NET Framework**, qui donne accès à des technologies clés qui simplifient le développement d'applications Web ASP et de services Web XML grâce à Visual Web Développer. [35]

Les Langages supportés par Visual Studio							
C++	C	C++/CLI	C#	F#	Visual Basic	Python, via un add-on	Q#, via un add-on

Tableau 4.2 : Les Langages supportés par Visual Studio [35]

### 2.4. Les outils ajoutés



i. **Meta.Numerics** : Une bibliothèque gratuite pour le calcul numérique avancé, avec prise en charge du traitement des données, des statistiques, de l'algèbre matricielle, des fonctions avancées, de l'intégration et de l'optimisation numériques et des transformations de Fourier.

- **Version** : 4.0.7
- **Auteur** : David Wright
- **Licence** : <https://opensource.org/licenses/MS-PL>
- **Date de publication** : mercredi 2 mai 2018 (02/05/2018).
- **URL de projet** : <http://www.meta-numerics.net/>

La bibliothèque a été installée par **Gestionnaire de Package NuGeT** De **Microsoft Corporation**. Le rôle de cette bibliothèque est de calculer la fonction *erfc* (fonction d'erreur complémentaire) qui est utilisé dans l'équation du « **Up Link BER** ».

Le code C# qui nous besoin pour calculer : `AdvancedMath.Erfc(double x)`



ii. **Weka** : Weka est une suite de logiciels d'apprentissage automatique écrite en **Java** et développée à l'université de Waikato en Nouvelle-Zélande.

- **Version** : 3.8.4
- **Auteur** : [Université de Waikato](http://www.waikato.ac.nz/)

- **Écrit en** : Java
- **Environnement** : Platform Java (JDK version 14.0.1)
- **Licence** : Licence publique générale GNU version 3
- **Date de publication** : Lundi 15 Janvier 2018 (15/01/2018).
- **URL de projet** : <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

Le programme **Weka UI** est un outils simple, facile, et nécessaire qui nous permet d'analyser les données présentes afin de prédire des résultats optimaux. Il dispose de plusieurs algorithmes pour le traitement des données, la classification, la formation et le filtrage de la visualisation.

Les données sur lesquelles nous voulons travailler sur Weka doivent se trouver sous un fichier avec l'extension «**.arff**». Ce qui suit est une brève description du format de ce fichier :

Etape de création	Syntaxe
Un ensemble de données doit commencer par une déclaration de son nom	@relation nom
Suivi d'une liste de tous les attributs de l'ensemble de données (y compris l'attribut de classe).	@attribute   attribute_name   specification
La spécification où bien le type d'attribut, elle peut être trois type : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nominal : si l'attribut une liste ex. : @attribute nominal_attribute {first_value, second_value, third_value}</li> <li>- Numeric : si un entier ou réel ex. : @attribute numeric_attribute numeric</li> <li>- Chaîne : commentaire ou un champ ID ex. : @attribute string_attribute string</li> </ul>	
Après les déclarations d'attributs, les données sont introduites par :	@data
Suivi d'une liste de toutes les instances. Les instances sont répertoriées dans un format séparé par des virgules, avec un point d'interrogation représentant une valeur manquante.	

**Tableau 4.3 : Format de fichier ARFF.**

### 3. Présentation du corpus utilisé

L'ensemble de données utilisé dans ce travail a été créé d'une façon aléatoire. Pour construire le corpus, nous avons utilisé l'équation théorique du calcul du taux d'erreur binaire (BER) dans le cas de la liaison montante « Up Link » :

$$P_r(\text{error} | \bar{P}^0, \bar{P}^m) \cong \frac{1}{2} \text{erfc}(\sqrt{h}) \dots\dots\dots (I)$$

Où la paramètre « h » représente le « SNR » et se calcule par :

$$h = \frac{\bar{P}^0 T_b}{(2 \frac{\bar{P}^0 T_b}{N \omega} + (\frac{M-1}{N}) + \bar{P}^m T_b + N_0)} \dots\dots\dots (II)$$

Chaque ligne du corpus représente une configuration qui est composée d'un ensemble de valeurs des différents paramètres de l'équation ci-dessus. Les valeurs de ces paramètres sont générées d'une façon aléatoire et sont réparties comme suit :

Attributs	Significations	Valeurs
$M$	Nombre des utilisateurs	$\{10, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5, 10^6\}$
$N$	Nombre des porteuses	$N = 2^m, 0 \leq m \leq 7$
$T_b$	Symbol duration	CONST $T_b = 1$
$\omega$	Fading Factor	$\{0.5, 1, 3, 170\}$
$\bar{P}^0$	La puissance moyenne	$\bar{P}^0 \in [-20, 20] - \{0\}$ ; pas = 1
$\bar{P}^m$	La puissance totale	$\bar{P}^m \in [-20, 20]$ ; pas = 1
$N_0$	Le Dsp monolatérale	$N_0 \in [-20, 20]$ ; pas = 1

**Tableau 4.4 : Les valeurs des différents paramètres.**

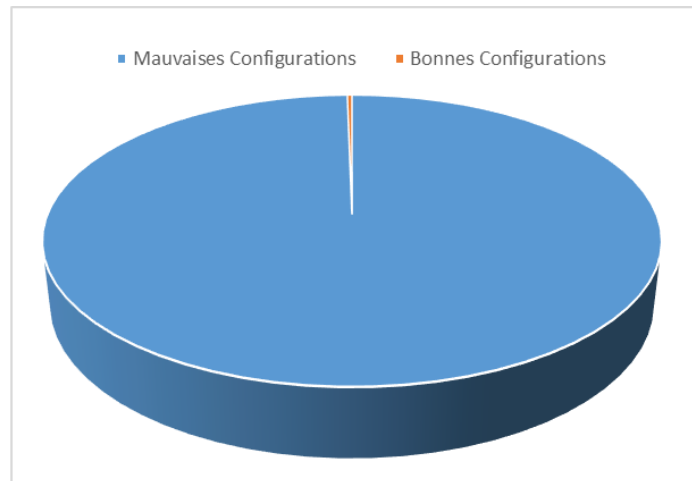
Chaque ligne du corpus (configuration) est présentée par sept paramètres : nombre d'utilisateurs, nombre de porteuses, Symbol duration, Fading Factor (Channel), La puissance moyenne, La puissance totale, Le Dsp monolatérale.

Nous avons ajouté l'attribut classe qui donne le type de la configuration. Selon les experts une configuration peut être bonne ou mauvaise et ce selon les valeurs suivantes :

$$\text{Class}(P_r(\text{error} | \bar{P}^0, \bar{P}^m)) = \begin{cases} \text{Bonne Configuration,} & \text{BER} \geq 10^{-6} \\ \text{Mauvaise Configuration,} & \text{Sinon} \end{cases}$$

A l'issue de l'exécution, le nombre total des configurations créées est : 30 844 112 réparties comme suit :

- Mauvaise configuration 30 753 503 Lignes ( $\approx 99,71\%$  du total).



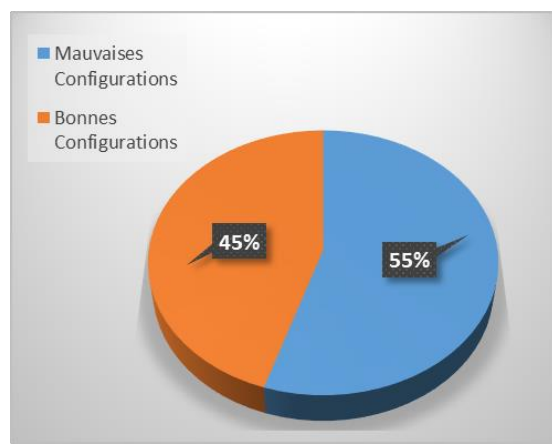
- Bonne Configuration 90 609 Lignes ( $\approx 0,29\%$  du total).

**Figure 4.2 : Diagramme circulaire montrant la distribution des configurations du corpus sur les deux classes « Bonnes Configurations » et « Mauvaises Configurations »**

Nous remarquons que l'ensemble de données est déséquilibré. Ce déséquilibre de classe produit une difficulté de l'apprentissage par l'algorithme de classification. Le classifieur n'a que peu d'exemples de la classe minoritaire (Bonne configuration) sur lesquels apprendre ( $\approx 0,29\%$ ). [36]

Pour faire face à ce problème nous allons rééchantillonner l'ensemble de données en utilisant le sous-échantillonnage qui consiste à rééquilibrer l'ensemble de données en réduisant le nombre d'instances de la classe majoritaire (mauvaise configuration). La figure suivante montre les résultats obtenus après le déséchantillonnage (undersampling).

Taille de corpus	<b>20 1633 Lignes</b>
Mauvaise Configuration	11 1024 Lignes



Bonne Configuration	90 609 Lignes
---------------------	---------------

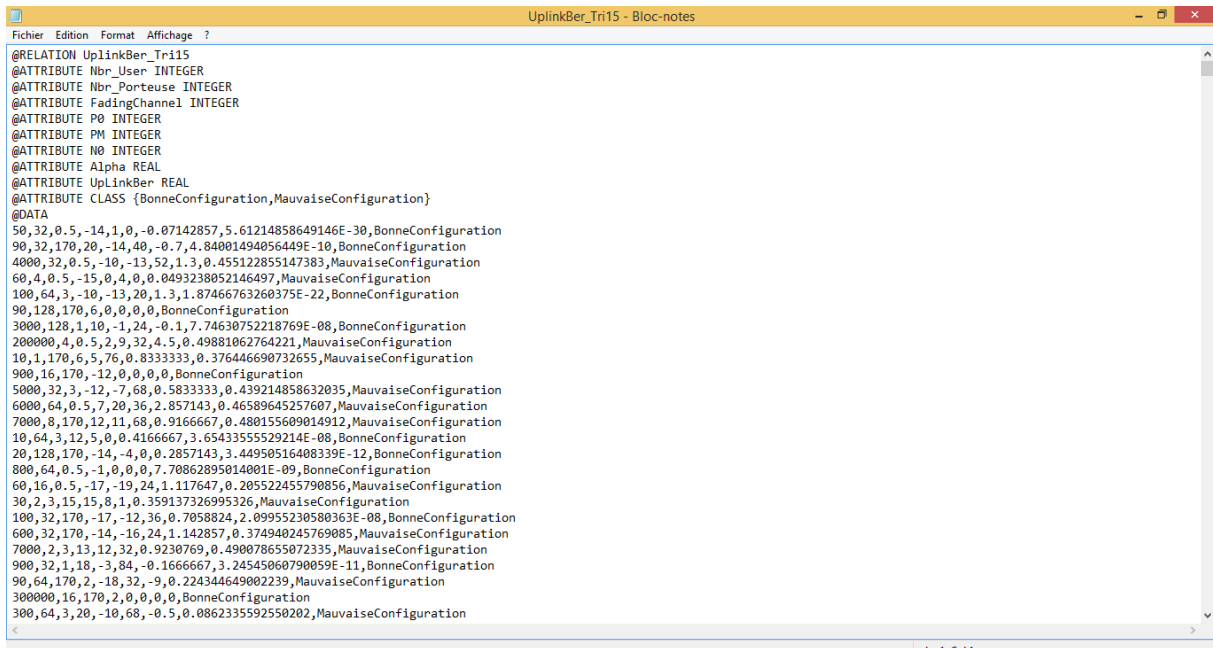
Figure 4.3 : La distribution des configurations du corpus sur les deux classes « Bonnes Configurations » et « Mauvaises Configurations » Après undesampling

Les figures 4.4, 4.5 montrent le corpus obtenu dans ses deux formats (.txt et .arff) :

U	NP	W	P0	Pm	N0	A	Ber	Class
U								
50	32	0,5	-14	1	0	-0,07142857	5,61214858649146E-30	BonneConfigurat
90	32	170	20	-14	40	-0,7	4,84001494056449E-10	BonneConfiguration
4000	32	0,5	-10	-13	52	1,3	0,455122855147383	MauvaiseConfiguration
60	4	0,5	-15	0	4	0	0,0493238052146497	MauvaiseConfiguration
100	64	3	-10	-13	20	1,3	1,87466763260375E-22	BonneConfiguration
90	128	170	6	0	0	0	0	BonneConfiguration
3000	128	1	10	-1	24	-0,1	7,74630752218769E-08	BonneConfiguration
200000	4	0,5	2	9	32	4,5	0,49881062764221	MauvaiseConfiguration
10	1	170	6	5	76	0,8333333	0,376446690732655	MauvaiseConfigu
900	16	170	-12	0	0	0	0	BonneConfiguration
5000	32	3	-12	-7	68	0,5833333	0,439214858632035	MauvaiseConfigu
6000	64	0,5	7	20	36	2,857143	0,46589645257607	MauvaiseConfigu
7000	8	170	12	11	68	0,9166667	0,480155609014912	MauvaiseConfigu
10	64	3	12	5	0	0,4166667	3,65433555529214E-08	BonneConfigurat
20	128	170	-14	-4	0	0,2857143	3,44950516408339E-12	BonneConfigurat
800	64	0,5	-1	0	0	0	7,70862895014001E-09	BonneConfiguration
60	16	0,5	-17	-19	24	1,117647	0,205522455790856	MauvaiseConfigu
30	2	3	15	15	8	1	0,359137326995326	MauvaiseConfiguration
100	32	170	-17	-12	36	0,7058824	2,09955230580363E-08	BonneConfigurat
600	32	170	-14	-16	24	1,142857	0,374940245769085	MauvaiseConfigu
7000	2	3	13	12	32	0,9230769	0,490078655072335	MauvaiseConfigu
900	32	1	18	-3	84	-0,1666667	3,24545060790059E-11	BonneConfigurat
90	64	170	2	-18	32	-9	0,224344649002239	MauvaiseConfiguration
300000	16	170	2	0	0	0	0	BonneConfiguration
300	64	3	20	-10	68	-0,5	0,0862335592550202	MauvaiseConfiguration
800	128	0,5	-16	-6	36	0,375	2,58599889312623E-05	MauvaiseConfiguration
200000	64	170	5	19	16	3,8	0,49482347111584	MauvaiseConfiguration
400	8	0,5	11	6	0	0,5454546	0,394086985423092	MauvaiseConfigu
30	8	0,5	4	-6	52	-1,5	0,30922149483762	MauvaiseConfiguration
100	32	170	-15	0	0	0	0	BonneConfiguration
2000	8	0,5	-18	-4	12	0,2222222	0,424627306361007	MauvaiseConfigu
10	128	3	-9	-3	0	0,3333333	3,25153407070349E-17	BonneConfigurat
9000	64	0,5	14	0	0	0	7,70862895014001E-09	BonneConfiguration
10	128	1	14	12	0	0,8571429	1,42192759682726E-07	BonneConfigurat
800000	1	170	9	10	16	1,111111	0,499401587032168	MauvaiseConfigu

Figure 4.4 : Corpus Up Link BER sous forme .txt

## CHAPITRE 4. Implémentation et Expérimentation



```
Fichier Edition Format Affichage ?
@RELATION UplinkBer_Tri15
@ATTRIBUTE Nbr_User INTEGER
@ATTRIBUTE Nbr_Porteuse INTEGER
@ATTRIBUTE FadingChannel INTEGER
@ATTRIBUTE P0 INTEGER
@ATTRIBUTE PM INTEGER
@ATTRIBUTE N0 INTEGER
@ATTRIBUTE Alpha REAL
@ATTRIBUTE UplinkBer REAL
@ATTRIBUTE CLASS {BonneConfiguration,MauvaiseConfiguration}
@DATA
50,32,0.5,-14,1,0,-0.07142857,5.61214858649146E-30,BonneConfiguration
90,32,170,20,-14,40,-0.7,4.84001494056449E-10,BonneConfiguration
4000,32,0.5,-10,-13,52,1.3,0.455122855147383,MauvaiseConfiguration
60,4,0.5,-15,0,4,0,0.0493238052146497,MauvaiseConfiguration
100,64,3,-10,-13,20,1.3,1.87466763260375E-22,BonneConfiguration
90,128,170,6,0,0,0,0,BonneConfiguration
3000,128,1,10,-1,24,-0.1,7.74630752218769E-08,BonneConfiguration
200000,4,0.5,2,9,32,4.5,0.49881062764221,MauvaiseConfiguration
10,1,170,6,5,76,0.8333333,0.376446690732655,MauvaiseConfiguration
900,16,170,-12,0,0,0,0,BonneConfiguration
5000,32,3,-12,-7,68,0.5833333,0.439214858632035,MauvaiseConfiguration
6000,64,0.5,7,20,36,2.857143,0.46589645257607,MauvaiseConfiguration
7000,8,170,12,11,68,0.9166667,0.480155609014912,MauvaiseConfiguration
10,64,3,12,5,0,0.4166667,3.6543355529214E-08,BonneConfiguration
20,128,170,-14,-4,0,0.2857143,3.44950516408339E-12,BonneConfiguration
800,64,0.5,-1,0,0,0,7.70862895014001E-09,BonneConfiguration
60,16,0.5,-17,-19,24,1.117647,0.205522455790856,MauvaiseConfiguration
30,2,3,15,15,8,1,0.359137326995326,MauvaiseConfiguration
100,32,170,-17,-12,36,0.7058824,2.09955230580363E-08,BonneConfiguration
600,32,170,-14,-16,24,1.142857,0.374940245769085,MauvaiseConfiguration
7000,2,3,13,12,32,0.9230769,0.490078655072335,MauvaiseConfiguration
900,32,1,18,-3,84,-0.1666667,3.24545060790059E-11,BonneConfiguration
90,64,170,2,-18,32,-9,0.224344649002239,MauvaiseConfiguration
300000,16,170,2,0,0,0,0,BonneConfiguration
300,64,3,20,-10,68,-0.5,0.0862335592550202,MauvaiseConfiguration
```

Figure 4.5 : Corpus Up Link BER sous forme .arff

## 4. Optimisation avec les AG

Notre algorithme génétique est implémenté selon ces étapes :

---

### Algorithme 1 : Algorithme Génétique

---

#### Variables :

- $NP, P$  : population des individus.
- $P_{meilleur}$  : les meilleurs individus choisis.
- $IndS$  : Paire des individus.
- $IndCr$  : Résultat de Croisement  $IndS$ .

#### DEBUT

$P \leftarrow$  Générer une population initial des individus de taille  $N$ .

$P_{meilleur} \leftarrow$  Évaluer  $P$ .

**Tant que** Critère d'arrêt satisfait **faire**

**Pour**  $i \leftarrow 0$  à nombre d'itération **faire**

**Tant que**  $\text{Size}(NP) <> N$  **faire**

$IndS \leftarrow$  Sélectionnez une paire d'individus.

$IndCr \leftarrow$  échange les parties des deux  $IndS$  avec probabilité de croisement  $P_c$ .

            Changer au hasard les valeurs des gènes (paramètres) dans  $IndCr$  avec une probabilité de mutation  $P_m$ .

            Ajouter  $IndCr$  dans la nouvelle population  $NP$ .

**FIN Tant que**

$P_{meilleur} \leftarrow$  Évaluer  $NP$ .

$P \leftarrow NP$ .

**Fin POUR**

**FIN Tant que**

**Retourner**  $P_{meilleur}$

**FIN.**

---

**I. La population initiale :**

L'étape initiale dans l'implantation des algorithmes génétiques est de créer une population initiale. Par analogie avec la biologie chaque individu de la population est codé par un chromosome ou un génotype. Le codage que nous avons utilisé est le codage réel.

➤ **La structure d'un chromosome**

En vue de proposer un modèle correct nous avons étudié l'importance des différents paramètres qui seront utilisés pour la modélisation et ce en appliquant les arbres de décision sur notre Dataset. Ainsi nous avons obtenu le résultat suivant :

$\{\bar{P}^m; N_0; M; N; \bar{P}^0; \omega\}$	Class	Precision	Recall	F-Measure
	Bonne Configuration	0,974	0,994	0,984
	Mauvaise Configuration	0,995	0,978	0,987
	Weighted Avg.	0,986	0,985	0,985
(a) : ordre des paramètres	(b) : Les paramètres de performances			

**Tableau 4.5 : Résultat de l'application des arbres de décision**

La structure d'un chromosome utilisé dans notre cas est basée sur le résultat des arbres



**Figure 4.6 : Structure du chromosome**

de décision obtenu :

**II. L'Evaluation (adaptation ou fitness) :**

C'est une étape de comparaison des individus. Notre fonction de fitness est celle qui permet de calculer le BER :

$$P_r (error|\bar{P}^0, \bar{P}^m) \cong \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{h})$$

Où la paramètre « h » représente le « SNR » et se calcule par :



$$h = \frac{\bar{P}^0 T_b}{\left(2 \frac{\bar{P}^0 T_b}{N \omega} + \left(\frac{M-1}{N}\right) + \bar{P}^m T_b + N_0\right)}$$

### III. Les Taux de Croisement

- ✓ L'opérateur de croisement est appliqué avec une probabilité  $P_c$
- ✓ En général, nous avons utilisé les valeurs suivante  $P_c = \{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$ .

### IV. Le Taux de Mutation:

- ✓ L'opérateur de mutation est appliqué avec une probabilité  $P_m$
- ✓ En général,  $P_m = 0.01$ .

### V. Critère d'arrêt :

- ✓ Arbitraire par le nombre d'itérations ou l'obtention de la valeur minimale (zéro).

## 5. Expérimentation des résultats

L'algorithme génétique a été implémenté avec les paramètres suivants :

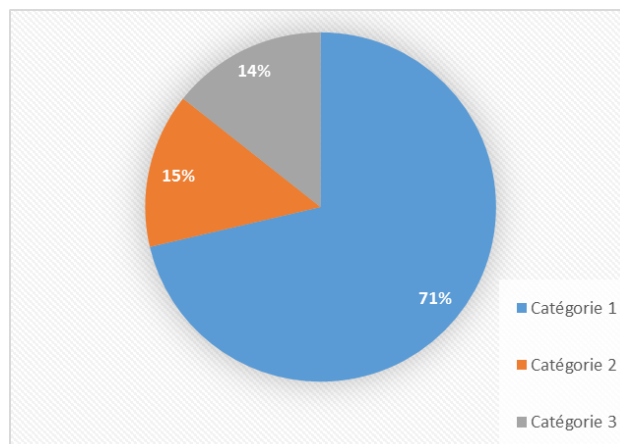
Attributs	Significations	Valeurs
nbr_itteration	Nombre d'itération	{500, 700, 1000, 1500, 2000}
nbr_pop	Nombre de population	{ 200, 400, 600, 800, 1000}
fadch	Fading Channel	{0.5, 1, 3, 170}
prob_croisement	Probabilité de Croisement	{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9}
prob_mutation	Probabilité de Mutation	0.01
nbr_LesMeilleurConfig	Tableau qui contient les meilleurs résultats obtenu lors de l'exécution	$\frac{\text{Nombre}_{population}}{2}$

**Tableau 4.6 : Les paramètres d'implémentation l'AG.**

Afin d'organiser et d'évaluer les performances au niveau la phase de mise en œuvre, nous avons travaillé sur trois catégories :

- **Catégorie 1** ( $0 \leq \text{Nombre des user} < 10\ 000$ ) : 143827 Individus.
- **Catégorie 2** ( $10\ 000 \leq \text{Nombre des user} < 100\ 000$ ) : 28903 Individus.

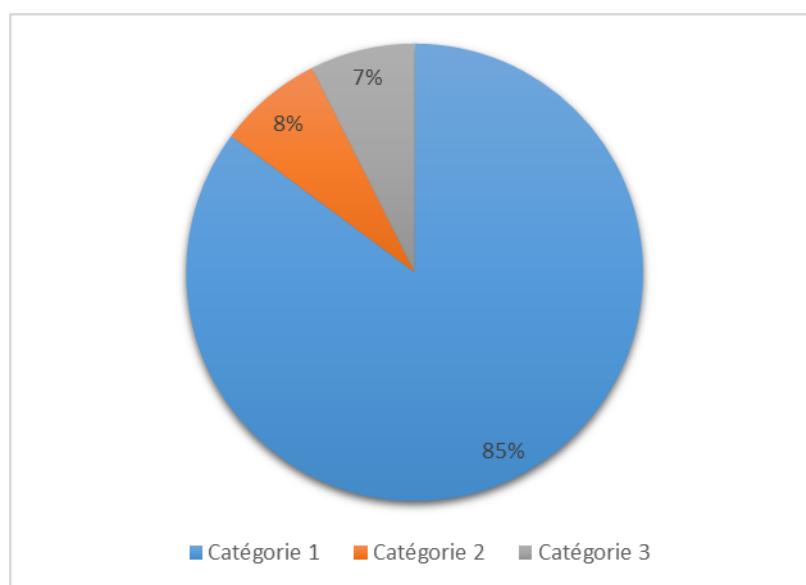
- **Catégorie 3 ( $100\ 000 \leq \text{Nombre des user} < 1\ 000\ 000$ )** : 28903 *Individus*.



**Figure 4.7:** *La répartition des individus en fonction du nombre d'utilisateurs.*

Le théorème de l'algorithme génétique confirme généralement que le processus d'amélioration dépend d'individus ayant une valeur utilitaire et que ces individus sont souvent de bons résultats. Quand on travaille sur cette base (on travaille sur « **Les Bonnes Configuration** »), nos individus deviennent :

- **Catégorie 1 ( $0 \leq \text{Nombre des user} < 10\ 000$ )** : 77163 *Individus*.
- **Catégorie 2 ( $10\ 000 \leq \text{Nombre des user} < 100\ 000$ )** : 6723 *Individus*.
- **Catégorie 3 ( $100\ 000 \leq \text{Nombre des user} < 1\ 000\ 000$ )** : 6723 *Individus*.



**Figure 4.8 :** *La répartition des individus du « Bonne Configuration » en fonction du nombre d'utilisateurs.*

Nous avons également remarqué lors de la mise en œuvre de l'algorithme génétique, comment la valeur de  $\omega$  affecte le résultat BER, et nous avons trouvé:

Si  $\omega = 170$  alors

- Si  $N_0 = 0 \wedge \bar{P}^m = 0 \wedge N \in \{16,32,64,128\} \wedge \forall M \in \mathbb{N}^+ \rightarrow \text{BER} = 0$ , Bonne Configuration.
- Si  $N_0 = 0 \wedge \bar{P}^m = 0 \wedge N \in \{1,2,4,8\} \wedge \forall M \in \mathbb{N}^+ \rightarrow \text{BER} \approx 0$ , Bonne Configuration.

Selon cette conclusion, il s'avère que cette valeur est non discriminante, car elle a toujours le même résultat, quelles que soient les autres valeurs.

### **5.1. Les meilleurs résultats obtenus**

Après plusieurs tests expérimentales (**cf. tableau 4.4**) nous allons présenter dans ce qui suit les meilleurs résultats obtenus selon chaque catégorie :

1. Catégorie 1 :

La configuration qui a donné le meilleur résultat est la suivante :

Fading Channel	0.5 ; 1 ; 3
Taille de la population	400
Nombre d'itération	700
Taux de croisement	0.7
Taux du mutation	0.01
Type de croisement	Croisement a 1 point

**Tableau 4.7 : 1ère Configuration de l'AG.**

Ces paramètres ont donné 200 configurations optimales après un temps d'exécution égale à 00:00:18.26. Un extrait des résultats obtenus est présenté dans le tableau suivant :

Pm	N0	NU	NP	P0	FC	BER
0	-8	8904	4	8	0,5	0
0	-8	8904	32	8	0,5	0
0	-8	8904	1	8	0,5	0
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
0	-8	4716	4	8	0,5	0
0	-8	7486	4	8	1	0
0	-8	4349	4	8	0,5	0
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
-2	-8	2604	64	8	0,5	0
0	-8	8904	1	-16	3	0
15	-8	2139	4	8	0,5	0
La moyenne résultent de <b>BERs</b> : 0						

**Tableau 4.8 : Extrait de résultats de La 1ère configuration de l'AG dans la 1ère Catégorie.**

2. Catégorie 2 :

La configuration qui a donné le meilleur résultat est la suivante :

Fading Channel	0.5 ; 1 ; 3
Taille de la population	200
Nombre d'itération	500
Taux de croisement	0.5
Taux du mutation	0.01
Type de croisement	Croisement a 1 point

**Tableau 4.9 : 2ème Configuration de l'AG.**

Ces paramètres ont donné 100 configurations optimales après un temps d'exécution égale à 00:00:09.88. Un extrait des résultats obtenus est présenté dans le tableau suivant :

Pm	N0	NU	NP	P0	FC	BER
0	-2	40000	1	3	3	0
0	-2	40000	1	12	3	0
0	-2	34005	1	3	3	0
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
0	-2	86693	1	3	3	0
0	-2	52917	1	3	3	0
0	-2	49353	1	3	3	0
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
0	-5	46034	1	3	3	0
0	-2	33265	1	3	3	0
0	-11	40000	2	3	3	0
La moyenne résultent de <b>BERs</b> : 0						

**Tableau 4.10 : Extrait de résultats de La 2ème configuration de l'AG dans la 2ème Catégorie.**

3. Catégorie 3 :

La configuration qui a donné le meilleur résultat est la suivante :

Fading Channel	0.5 ; 1 ; 3
Taille de la population	800
Nombre d'itération	1500
Taux de croisement	0.3
Taux du mutation	0.01
Type de croisement	Croisement a 1 point

**Tableau 4.11 : 3ème Configuration de l'AG.**

Ces paramètres ont donné 400 configurations optimales après un temps d'exécution égale à 00:01:47.66. Un extrait des résultats obtenus est présenté dans le tableau suivant :

Pm	N0	NU	NP	P0	FC	BER
0	-2	800000	1	3	3	0
0	-2	800000	1	2	3	0
0	-10	800000	2	10	1	0
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
-5	-8	800000	1	2	0,5	0
0	-10	576449	1	10	0,5	0
0	-10	576449	4	-12	0,5	0
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
0	15	800000	8	16	0,5	0
0	-18	512265	16	8	0,5	0
0	-17	800000	8	2	0,5	0
La moyenne résultent de <b>BERs</b> : 0						

**Tableau 4.12 : Extrait de résultats de La 3ème configuration de l'AG dans la 3ème Catégorie.**

## **6. Conclusion**

À travers ce chapitre, nous avons présenté nos différentes expérimentations effectuées. Comme nous avons déjà mentionné, l'étape initiale de cette partie était la création du corpus ensuite nous avons utilisé les arbres de décision pour étudier l'importance des paramètres et enfin nous avons démontré à travers plusieurs expérimentations l'intérêt des algorithmes génétique dans l'évaluation de performance des techniques d'accès multiples.

L'application des AG pour ce problème nous a permis d'obtenir plusieurs configurations assurant un BER minimale (0 absolu) avec un temps d'exécution réduit.

---

# CONCLUSION GÉNÉRALE

Les performances et la flexibilité des systèmes radio mobiles dépendent essentiellement du choix du schéma d'accès multiple. Le nouveau schéma MC-CDMA qui est le sujet de cette thèse est une alternative prometteuse aux schémas FDMA, TDMA et CDMA conventionnels. Avec MC-CDMA, chaque puce de modulation de symbole de données du code d'étalement spécifique à l'utilisateur est mappée sur une sous-porteuse distincte, de sorte que les puces du code d'étalement et, par conséquent, le symbole de données sont transmises en parallèle sur plusieurs sous-porteuses.

Après une étude théorique nous avons constaté que là plus part (voir tous) les travaux d'évaluation de performance utilisent la simulation avec MATLAB avec des intervalles limités, par exemple le nombre d'utilisateurs ne dépasse pas 500 user. Par conséquence ; l'objectif de ce travail est d'utiliser les techniques de data Mining pour évaluer les performances de MC-CDMA.

Nous dressons dans cette partie un bilan des travaux de ce mémoire ainsi que les perspectives.

1. **Création du Data set** : Pour construire le corpus, nous avons utilisée l'équation théorique du calcul du taux d'erreur binaire (BER) dans le cas de la liaison montante « Up Link ». Chaque ligne du corpus (configuration) est présentée par sept paramètres : nombre d'utilisateurs, nombre de porteuses, Symbol duration, Fading Factor(Channel), La puissance moyenne, La puissance totale, Le Dsp



## Conclusion Générale

---

monolatérale. Nous avons ajouté l'attribut classe qui donne le type de la configuration (bonne ou mauvaise).

2. **Etude de l'importance des paramètres** : à l'aide des Arbres de décisions, nous avons étudié l'importance des différents paramètres de l'équation cité ci-dessus.
3. **Optimisation** : l'objectif de cette partie est d'optimiser la fonction de calcul BER pour trouver les meilleures configurations possibles. Pour cela nous avons deviser notre data set en trois catégories :
  - a. Catégorie 1 ( $0 \leq \text{Nombre des user} < 10\ 000$ ),
  - b. Catégorie 2 ( $10\ 000 \leq \text{Nombre des user} < 100\ 000$ ),
  - c. Catégorie 3 ( $100\ 000 \leq \text{Nombre des user} < 1\ 000\ 000$ ).

Après plusieurs expérimentations, nous avons constaté que L'application des AG pour l'évaluation de performance de la technique d'accès multiple MC-CDMA est très importante. Nous avons pu obtenir plusieurs configurations assurant un BER minimale (0 absolu) avec un temps d'exécution réduit.

Comme perspectives nous envisageons de valider les résultats obtenus par une simulation pratique (Comparer avec le BER pratique), et étudier les autres techniques d'accès multiples comme MC-DS-CDMA, MT-CDMA...

---

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] Andy Valdar, « **Understanding Telecommunication System** ». IET Télécommunication séries vol. 52, pp. 21-22, March 2006.
- [2] Merriam webster, « **Définition de l'information** ». Récupéré 20/07/2020.  
<https://www.merriam-webster.com/dictionary/information>
- [3] thoughtCo, « **Définition de message** ». Récupéré 16/07/2020.  
<https://www.thoughtco.com/message-communication-term-1691309>
- [4] Pragnan Chakravorty. « **What Is a Signal?** », IEEE Signal Processing Magazine, vol. 35, no. 5, pp. 175-177, Sept. 2018.
- [5] IEEE Transactions on Signal Processing. IEEE. 2012-04-17
- [6] Cong Ling, « **Communication System** ». Département de génie électrique et électronique Imperial London université, 2012.  
[http://www.commsp.ee.ic.ac.uk/~cling/com/comm2\\_2012.pdf](http://www.commsp.ee.ic.ac.uk/~cling/com/comm2_2012.pdf)
- [7] Arnaud Bournel «**Systemes de Télécommunications**»  
[http://www.ief.u-psud.fr/~bournel/pdf\\_enseignement/intro-sus-telecom.pdf](http://www.ief.u-psud.fr/~bournel/pdf_enseignement/intro-sus-telecom.pdf)
- [8] Techopedia « **Modulation** » Récupéré 20/07/2020.  
<https://www.techopedia.com/definition/8409/modulation>
- [9] Tutorials point, « **Principes de communication - Modulation**» Récupéré 17/07/2020.  
[https://www.tutorialspoint.com/principles\\_of\\_communication/principles\\_of\\_communication\\_modulation.htm](https://www.tutorialspoint.com/principles_of_communication/principles_of_communication_modulation.htm)

## Bibliographie

---

- [10] Jack Browne, **Basics of Modulation and Demodulation**, janvier 30, 2017.  
<https://www.mwrf.com/technologies/systems/article/21847080/basics-of-modulation-and-demodulation>
- [11] Yvon Sosthène Yameogo. **Etudes de nouvelles techniques d'estimation et d'égalisation de canal adaptées au système SC-FDMA. Traitement du signal et de l'image.** Université Rennes 1, 2011.  
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00657895v2/document>
- [12] ARINERO Richard. Avec l'aide de : SABOUNI Salah, BINEAU Jean Michel, RIGAIL François, IBRAHIMA Farid. « **Traitement Numérique** ». DU. MASTER STPI  
[http://www.meea.univmontp2.fr/phpmyFormation/user/doc\\_ue/tp\\_37\\_.pdf](http://www.meea.univmontp2.fr/phpmyFormation/user/doc_ue/tp_37_.pdf)
- [13] Université de Tunis El Manar « **étude comparative des canal WSSUS en standard DVBT** »  
<https://www.scribd.com/document/67439060/Rap-Master-7-8>
- [14] Jiri Vodrazka «**Multi-Carrier Modulation and MIMO Principle application on Subscriber Lines** »  
[https://www.radioeng.cz/fulltexts/2007/07\\_04\\_033\\_037.pdf](https://www.radioeng.cz/fulltexts/2007/07_04_033_037.pdf)
- [15] elprocus «**Modulation SSB et ses applications** » Récupéré 17/07/2020.  
<https://translate.google.com/#view=home&op=translate&sl=en&tl=fr&text=SSB%20Modulation%20and%20Its%20Applications>
- [16] **Systèmes de radiodiffusion numérique destinés à être exploités dans les bandes MA**  
[https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BS.2004-1995-PDF-F.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BS.2004-1995-PDF-F.pdf)
- [17] [17]PEREIRA (J. M.), **A personal perspective of fourth generation.** *Telektronikk, Wireless future*, 97, N°1 - 2001, pp. 20- 30, (1 - 2001).  
[https://www.telenor.com/wp-content/uploads/2012/05/T01\\_1.pdf](https://www.telenor.com/wp-content/uploads/2012/05/T01_1.pdf).
- [18] L. Vandendorpe, **Multitone Direct Sequence CDMA System in an Indoor Wireless Environment**, Proc. First IEEE Benelux Symp. on Comm. & Vehic. Techn., pp. 4.1.1-4.1.8, October 1993, Delft.
- [19] M. R. Karim, M. Sarraf, **W-CDMA and cdma2000 for 3G Mobile Networks**, McGraw-Hill Telecom Professional, 2002.

## Bibliographie

---

- [20] V. K. Garg, **IS-95 CDMA and cdma2000. Cellular/PCS Systems Implementation**, Prentice Hall, 2000.
- [21] Ni « **Understanding Spread Spectrum for Communications** » Récupéré 04/08/2020.  
<https://www.ni.com/en-lb/innovations/white-papers/06/understanding-spread-spectrum-for-communications.html>
- [22] L. Hanzo et al., **OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications**, Wiley, 2003.
- [23] N.Yee, J.P. Linnarz, and G. Fettweis, **Multi-carrier CDMA in indoor wireless radio networks**, in indoor wireless radio networks, in Proceedings International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC'93), Yokohama, Sept 1993, pp. 109-113.
- [24] N. Yee and J. P. Linnartz, **Controlled equalization of multicarrier CDMA in an indoor rician fading channel**," in in Proceedings IEEE vehicular Technology Conference, VTC'94, Stockholm, Sweden, June 1994, pp. 1665-1669.
- [25] N. Yee and J. P. Linnartz, **Wiener ltering of multicarrier CDMA in an rayleigh fading channel**, in in Proceedings IEEE Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication (PIMRC'94), The Hague, The Netherlands, Sept 1994, pp. 1344-1347.
- [26] Y. Nasser, **Sensibilité des systèmes OFDM-CDMA aux erreurs de synchronisation en réception radio mobile**.Thèse de Doctorat, université de Grenoble, Octobre 2006.  
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00214147/document>
- [27] A. C. McCormick and E. A. Al-Susa, **Multicarrier CDMA for future generation mobile communication** Electronics & Communication Engineering Journal, pp. 52-60, Apr. 2002.  
<http://www.ece.rice.edu/~rpredrag/4G/multicarrier%20CDMA.pdf>
- [28] P. Mary, **Etude analytique des performances des systèmes radio mobiles en présence D'évanouissements et d'effet de masque**, Thèse de Doctorat, Institut

## Bibliographie

---

- National des Sciences Appliquées, Lyon, Février 2008.  
<http://theses.insa-lyon.fr/publication/2008ISAL0008/these.pdf>
- [29] Bernhard Ömer, «**Principles of Genetic Algorithms**». Récupéré 17/07/2020.  
<http://tph.tuwien.ac.at/~oemer/doc/neurogen/node5.html>
- [30] Gisèle Legault, **Un algorithme génétique pour la conception topologique de réseaux téléinformatiques à commutation de paquets**, Mémoire de maîtrise en mathématique, Université du Québec à Montréal, Décembre 2004.
- [31] Naziha Ali Saoucha, **Paramétrage des algorithmes génétiques pour l'optimisation de la QoS dans les réseaux radios cognitifs**, Université de M'sila Faculté des mathématique et l'informatique, 2009/2010.
- [32] Merabti Youcef, **Optimisation des réseaux de neurones MLP par l'algorithme hybride AG-RT pour le contrôle d'un système non linéaire**, Université LARBI BEN M'HIDI D'OUM EL BOUAGHI Faculté des science et science appliquées, département de génie électrique, 2014/2015.
- [33] <https://docs.microsoft.com/fr-fr/dotnet/csharp/getting-started/introduction-to-the-csharp-language-and-the-net-framework> /10 Juillet 2020/
- [34] [https://fr.wikipedia.org/wiki/C\\_sharp#Histoire](https://fr.wikipedia.org/wiki/C_sharp#Histoire) /10 Juillet 2020/
- [35] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Visual\\_Studio](https://fr.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio) /10 Juillet 2020/
- [36] **Thèse Doctorat F. HAMDI** : Apprentissage en distributions déséquilibrées, Université Paris 13. Récupéré /06/12/2012