

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure de la Recherche Scientifique
Université Dr MOULAY Tahar de Saïda



Faculté des Technologies
Département d'Electronique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Master en Réseaux & Télécommunication
Thème :

Data Mining Pour L'Etude Des Performances
Du Système OFDM à Acces Multiple.

Présenté par :

Sayah zohra

N°	Jury	Nom Et Prénom	Université
01	Président	Boudekhil Abdelkader	Université Dr Tahar Moulay de Saïda
02	Examineur	Meddah Ishak	Université Dr Tahar Moulay de Saïda
03	Rapporteur	Bouassria Fatima	Université Dr Tahar Moulay de Saïda

Année universitaire : 2019/2020

Remerciement

Nous remercions Dieu le Tout-Puissant qui nous a donné le courage pour élaborer ce modeste travail. Ce travail a été accompli à l'aide de plusieurs personnes que nous tenons à Remercier absolument.

Nous remercions tout d'abord notre encadreur Mme «BOUASERIA FATIMA » de nous avoir apporté leurs valeureux conseils judicieux, et pour ses remarques objectives ,ainsi que son soutien durant la réalisation de cet mémoire. Nous remercions également les membres de jury de nous avoir fait l'honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail

Mes remerciements vont aussi à tous mes professeurs, enseignants et toutes les personnes qui m'ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de me donner des conseils très importants en signe de reconnaissance

Enfin, Nous tenons à remercier nos familles de nous avoir soutenu, nous ne serons jamais assez reconnaissants envers nos parents qui ont toujours tout mis en œuvre pour qu'on s'épanouisse dans tous ce qu'on entreprend.

Et ou tous ceux qui ont participé de prêt ou de loin dans l'élaboration de ce travail avec un conseil ou autre.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, en première lieu, aux êtres qui me sont les plus chers ;

Mes parents qui ont toujours aimé me voir réussir

A mon père « KADDOUR » pour son soutien moral et financier, leur énormes sacrifices et leurs Encouragements qu'ils m'ont apporté

et A ma mère « LEILA » ange de l'âme, source de l'espoir et de le tendresse, pour ton amour, pour tous ce que tu as sacrifié pour moi, Tu es maman idéale .« Je prie Dieu vous donne une bonne santé et vous prête une longue et heureuse vie »

A mes frères et sœurs Ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont Chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la Vivacité

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de Succès.

Résumé

Avec les progrès récents des communications numérique sans fil, le besoin d'une grande vitesse de transmission de données s'impose. Dans ce travail, nous sommes collaboré deux domaines différents, le domaine de télécommunication et le domaine d'informatique, concernant le besoin de notre étude. Dans la première partie nous avons étudié le principe de l'OFDM qui est de transmettre les informations sur plusieurs porteuses orthogonales entre elles, ainsi le spectre du signal présente une occupation optimale de la bande allouée. Le multiplexage par division en fréquence orthogonale (OFDM) est une alternative due à sa robustesse contre les évanouissements sélectifs en fréquence et sa résistance aux interférences entre symboles (IES), qui est un problème commun dans la communication de données à grande vitesse. En deuxième partie nous étions intéressés par le data mining qui représente la partie d'informatique.

Les performances de ce système évaluées jour après l'autre, nous avons déposé un très grand nombre d'informations, pour ce la on n'a passé à la technologie de data mining qui a permis une certaine facilité pour notre étude, elle donne la possibilité de classifier et d'extraire les meilleures performances du système OFDM, avec ces différentes techniques qui dépendent de nombreux algorithmes, classifieur bayésien naïf, et l'arbre de décision.

Mots clés : OFDM (modulations multiporteuses), taux d'erreur binaire (BER), Data mining.

Abstract

With recent advancements in digital wireless communications, there is a need for high speed data transmission arises. In this work, where we have collaborated two different fields, the field of telecommunications and the field of computer science, concern the need for our study. In the first part we studied the principle of OFDM which is to transmit information on several orthogonal carriers between them, so the signal spectrum has an optimal occupation of the allocated band. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is an alternative due to its robustness against frequency selective fading and its resistance to inter-symbol interference (IES). which is a common problem in high speed data communication. In the second part, we were interested in data mining which represents the computer part.

The performances of this system evaluated day after another, or we deposited a very large amount of information, for this we did not pass to the technology of data mining which allowed a certain facility for our study, it gives the possibility of classifying and extracting the best performances of the OFDM system, with these different techniques which depend on numerous algorithms, classifier, naive bayesian, and the decision tree.

Key words:OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), Binary Error Rate (BER),Data mining.

ملخص

مع التطورات الحديثة في الاتصالات اللاسلكية الرقمية ، هناك حاجة لنقل البيانات بسرعة عالية. في هذا العمل ، حيث تعاوننا في مجالين مختلفين ، مجال الاتصالات السلكية واللاسلكية ومجال علوم الكمبيوتر ، يتعلقان بالحاجة إلى دراستنا. درسنا في الجزء الأول مبدأ تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) وهو نقل المعلومات عن عدة حوامل متعامدة فيما بينها ، وبالتالي فإن طيف الإشارة له شغل مثالي للنطاق المخصص. يعد تعدد الإرسال بتقسيم التردد المتعامد (OFDM) بديلاً بسبب متانته ضد الخبو الانتقائي للتردد ومقاومته للتداخل بين الرموز (IES). وهي مشكلة شائعة في اتصالات البيانات عالية السرعة. في الجزء الثاني كنا مهتمين بالتنقيب عن البيانات التي تمثل الجزء الحاسوبي.

تم تقييم أداء هذا النظام يومًا بعد آخر ، أو قمنا بإيداع كمية كبيرة جدًا من المعلومات ، لذلك لم نمرر إلى تقنية التنقيب عن البيانات التي سمحت لمنشأة معينة لدراستنا ، إنها تعطي إمكانية تصنيف واستخراج أفضل أداء لنظام OFDM ، بهذه التقنيات المختلفة التي تعتمد على العديد من الخوارزميات ، والمصنف ، و bayesian الساذج ، وشجرة القرار.

الكلمات المفتاحية: OFDM (التشكيلات متعددة الموجات) ، معدل خطأ البتات (BER) ، استخراج البيانات.

Introduction générale	01
 Chapitre I : Généralités sur les modulations numérique	
I.Introduction	03
I. 1 La Chaîne de transmission numérique.....	03
I. 2 Le canal de transmission	04
I.2.1 Caractéristiques du canal.....	05
I. 2.1.1 La propagation radio mobile	05
I. 2.1.2 L'évanouissement à large échelle	06
I. 2.1.3 L'évanouissement à petite échelle	06
I.2.2 Les multi trajets	06
I.2.2 .1 Effet des trajets multiples	06
I.2.2 .2 Les différents types de canaux	07
I.3 Distribution de Rayleigh	08
I.4 L'effet Doppler.....	09
I.5 Bande de cohérence	10
I.6 Temps de cohérence	11
I.7 Définition de modulation	11
I .8 Principe de Modulation	11
I.9 Les intérêts de modulation.....	12
I.10 La transmission en bande de base.....	13
I.11 Codage de l'information	13
I.11.1 Lecodage Manchester (Biphasé).....	14
I.11.2 Le codage Miller	14
I.11.3 Code binaire NRZ	14
I.11.4 Le codage Bipolaire.....	14
I.12 Les Modulations Numériques.....	14
I.12.1 Modulation mono porteuse	15
I.12.1.1 Système de Modulation numérique mono porteuse	15
I.12.1.2 Les types de modulation mono porteuse.....	16
I.12.2 Démodulation.....	22
I.12.3.Modulation multi porteuse.....	23
I.12.3.1 Principe	24
I.12.3.2 Formulation d'un signal multi-porteuse.....	25
I.12.3.3 Systèmes de modulation multi-porteuse.....	25
I.12.3.4 Application de la modulation multi-porteuse.....	25
I.12.3.5 Notion d'orthogonalité.....	26
I.13 Multiplexage.....	26
I.13.1Accès multiple par répartition en fréquence FDMA	27
I.13.2 L'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA).....	28
I.13.3 Code Division Multiple Access (CDMA) ..	30
I.13.4 L'accès multiple à division de longueur d'onde.....	30
Conclusion	32
 Chapitre II : Etude de La Technique de Transmission OFDM	
II. Introduction	33
II.1 Historique de l'OFDM	33

II.2 La technique OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	34
II.3 Principe.....	35
II.4 Modulation OFDM.....	36
II.4.1 Chaîne de transmission OFDM.....	36
II.4.2 Modulation de chaque sous-porteuse du signal OFDM.....	38
II.4.3 L'Orthogonalité.....	39
II.4.4 Conversion série en parallèle.....	40
II.5 Principes et fonctionnement de l'OFDM	41
II.6 Principe de la modulation/démodulation OFDM	41
II.7 Implémentation numérique.....	43
II.8 Les Caractéristiques du signal OFDM.....	45
II.8.1 Intervalle de garde	45
II.8.2 Implémentation numérique de la séquence de modulation.....	45
II.8.3 Comparaison des méthodes "Préfixe Cyclique" et "remplissage par des zéros".....	51
II.8.4 Bande de garde	52
II.8.5 Interférence entre symboles (ISI).....	52
II.8.6 L'interférence entre porteuses (IEP).....	53
II.8.7 Interférence entre sous porteuses (ICI).....	54
II.8.8 Synchronisation en OFDM	55
II.9 PAPR: Peak-to-Average Power Ratio.....	55
II.10 L'égaliseur ZF	56
II.11 Les pilotes	57
II.11.1 Les pilotes en bloc.....	57
II.11.2 Les pilotes en peigne.....	57
II.11.3 Les pilotes en treillis.....	58
II.12 Les différents types de technique OFDM	59
II.13 Avantages et inconvénients de l'OFDM	59
II.13 .1 Les avantages	60
II.13 .2 Les inconvénient.....	61
II.14 Les mesures de performances dans les systèmes de communications	61
II.14.1 Le rapport signal sur bruit	62
II.14.2 L'erreur quadratique moyenne	62
II.14.3 La probabilité d'erreur	62
II.14.4 Le taux d'erreur par bit	63
II.15 OFDMA (OFD-MULTIPLE ACCESS)	63
Conclusion	65

Chapitre III : data mining

III.	66
Introduction.....	66
III.1 Historique.....	67
III.2. Ils existent d'autres définitions.....	68
III.3 L'extraction de connaissances ou (processus d'ECD)	69
III.4 Les étapes du processus de data mining.....	70
III.5 Pourquoi la naissance du data mining	71
III .6 Les tâches du data mining	75
III.7 Évaluation du résultat	76
III .8 Techniques du data mininge.....	78
III .9 Avantages et inconvénients des arbres de décisions	78

III .9.1 Avantages	78
III .9.2 Inconvénients	79
III.10 Matrice de confusion	80
III.11 Définition de base de données.....	80
III.12 La précision	81
III.13 Le rappel	81
III.14 Cadre multi-classe	81
III.15 f-mesure	82
III.16 TP Rate	82
III.17 FP Rate	82
III.18 Domaines d’application du data mining	84
Conclusion	

Chapitre IV : Simulation du système OFDM et étude des performances

IV. Introduction	85
IV. 1 Le but de notre recherche	85
IV. 2 Taux d'erreur binaire (BER).....	85
IV. 3 Les résultats de simulation à l’aide le MATLAB	86
IV. 3.1 Effet de nombre des utilisateur K sur le taux d'erreur binaire (BER)	86
IV. 3.1.1 Interprétation des résultats	87
IV. 3.2 Effet de nombre de porteuse N_p sur le taux d'erreur binaire (BER)	88
IV. 3.2.1 Interprétation des résultats	89
IV. 3.3 Discussion	89
IV. 4 Outils et environnement de travail	90
IV. 4.1 Microsoft Exel	90
IV. 4.2 Logiciel weka	91
IV. 5 Définition de benchmark	92
IV. 6 Description data set	93
IV. 7 Les attributs	93
IV. 8 La classe	94
IV. 8.1 Interprétation des résultats	94
IV. 9 Résultats de l’algorithme de l’arbre de décision	95
IV. 9.1 Interprétation des résultats	95
IV. 10 Arbre de décision	96
IV. 10.1 Analyse des résultats	97
IV. 11 Sélection des meilleur valeur des attributs	97
IV. 12 environnement de développement.....	97
Conclusion	98
Conclusion générale	99

Liste des figures

- Figure I. 1:** Constituants de base d'une chaîne de transmission numérique.
- Figure I. 2:** Evolution des chaînes de transmission
- Figure I. 3 :** Propagation par multi-trajets dans un environnement « Outdoor
- Figure I. 4 :** Canal Linéaire à Temps Variable avec un Bruit Additif.
- Figure I. 5. :** Effet Doppler sur l'enveloppe de Rayleigh.
- Figure I. 6 :** Schéma d'une modulation
- Figure I.7 :** Transmission sur fréquence porteuse
- Figure I. 8:** format de modulation à porteuse unique.
- Figure I. 9:** modulation d'amplitude ASK.
- Figure I. 10 :** modulation de fréquence FSK
- Figure I. 11 :** modulation de fréquence FSK
- Figure I. 12 :** Constellation BPSK
- Figure I. 13 :** Modulations de Phase PSK
- Figure I. 14 :** constellation QPSK
- Figure I. 15 :** modulateur QAM
- Figure I. 16 :** constellation 16QAM
- Figure I. 17 :** Schéma d'une démodulation sur une seule porteuse
- Figure I. 18 :** Spectre de fréquences
- Figure I. 19 :** Exemple d'une base orthogonale
- Figure I. 20 :** Multiplexage des possibilités d'accès à un canal donné
- Figure I. 21 :** La technique de multiplexage FDM
- Figure I. 22 :** Répartition des périodes dans le cas d'un multiplexage TDM
- Figure I. 23 :** Représentation d'un multiplex TDM (4 voies vers 1) en fonction des données initiales
- Figure I. 24 :** L'accès CDMA
- Figure I. 25 :** Technologie WDM
- Figure I. 26 :** Répartition des sous-bandes dans le cas d'un multiplexage WDM.
- Figure I. 27 :** La technique de multiplexage WDM
- Figure II. 1 :** Interprétation temps-fréquence d'un signal OFDM
- Figure II. 2 :** Schéma de principe d'un modulateur OFDM.
- Figure II. 3 :** Schéma bloc d'un système de transmission OFDM

- Figure II. 4 :** Spectre en sortie du modulateur OFDM décomposé sur chaque porteuse.
- Figure II. 5 :** Réalisation possible d'un modulateur OFDM
- Figure II. 6 :** Construction d'un signal OFDM avec 5 sous-porteuses
- Figure II. 7 :** Schéma de concept d'un démodulateur OFDM
- Figure II. 8 :** la démodulation OFDM numérique
- Figure II. 9 :** Démodulateur utilisant la FFT
- Figure II. 10:** Effets du canal à trajets multiples sur des symboles reçus dans le cas (a) mono-porteuse et (b) multi-porteuses
- Figure II. 11 :** Effets Illustration de l'effet de l'intervalle de garde précédent chaque symbole OFDM
- Figure II. 12 :** Illustration de la protection contre les interférences entre symboles OFDM assurée par le CP
- Figure II. 13 :** Annulation de l'IES et de l'IEC grâce au préfixe cyclique dans le cas d'un canal multitrajet
- Figure II. 14 :** Symbole OFDM avec CP et CS.
- Figure II.15:** Annulation de l'IES et de l'IEC grâce au zéro padding dans le cas d'un canal multitrajets
- Figure II. 16 :** Les différents intervalles de garde
- Figure II. 17 :** Interférence inter-porteuse (ICI) en OFDM dans les domaines :
(a) temporel et (b) fréquentiel dans le cas d'un canal à deux trajets
- Figure II. 18 :** Sources d'erreurs de synchronisation
- Figure II. 19 :** Le PAPR et le gain d'amplification
- Figure II. 20 :** Pilotes en bloc
- Figure II. 21 :** Pilotes en peigne
- Figure II. 22 :** Pilotes en treillis
- Figure II. 23:** Différence entre OFDM et OFDMA.
- Figure III. 1 :** . Data Mining: union de disciplines variées
- Figure III. 2 :** Les étapes du processus d'ECD
- Figure III. 3:** Le processus de data mining
- Figure III. 4 :** Tâches du Data Mining
- Figure IV.1 :** présente le BER on fonction de SNR
- Figure IV.2 :** Variation de BER en fonction SNR
- Figure IV.3 :** présentation de benchmark
- Figure IV.4:** Architecture des données
- Figure IV.5:** l'algorithme de l'arbre de décision

Figure IV.6 : représentation de l'arbre de décision

Liste des tableaux

Tableau III.1 : Les algorithmes d'inductions des arbres de décision

Tableau III .2 : présente un exemple de matrice de confusion

Tableau IV. 1 : Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR (K=3)

Tableau IV. 2 : Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR (K=5)

Tableau IV. 3 : Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR (K=11)

Tableau IV .4 : Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR (Np=8)

Tableau IV. 5 : Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR (Np=16)

Tableau IV. 6 : Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR (Np=32)

Tableau IV . 7 : les intervalles des attributs

Tableau IV. 8 : matrice de confusion

Tableau IV. 9 : les meilleur valeur des attributs

Tableau IV.10 : environnement de développement

Liste des abréviations

A

ADSL : Asymmetric Digital Subscriber Line.

AWGN : Additive White Gaussian Noise

B

BER : Bit Error Rate

C

CDMA Code Division Multiple Access

D

DAB : Digital Audio Broadcasting

DFT : Discret Fourier Transform

DMT : Discrete Multi-Tone

DVB-T : Digital Video Broadcasting – Terrestrial

F

FDMA Fre-quency Division Multiple Access

FFT Fast Fourier Transform

F D M Multiplexage par division en fréquences

I

IDFT : Inverse Discret Fourier Transform

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IES Interférence Entre symboles

IEP L'interférence entre porteuses

ICI Interférence entre sous porteuses

ISI Interférence entre symboles

L

LTE Long Term Evolution

LOS : Line Of Sight.

M

MSE (Mean Square Error)

N

NLOS : Non Line Of Sight.

O

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OSI architecture standard des télécommunications numériques

P

PAPR : Peak to Average Power Ratio

P/S : parallel-to-serial conversion.

PSK : Phase Shift Keying.

Q

QAM Quadrature Amplitude

QPSK Quaternary Phase Shift Keying

R

RMS : Root-Mean-Square

S

SNR Signal-To-Noise Ratio

S/P : Serial-To-Parallel Conversion

T

TDMA Time Division Multiple Access

U

UFMC Universal Filtered Multi Carrier

Z

ZP : Zero Padding (remplissage par des zéros).

Introduction Générale

Introduction Générale

Les télécommunications font partie des technologies qui ont révolutionné notre mode de vie au vingtième siècle. Du télégraphe à l'Internet, les progrès établis en la matière sont spectaculaires. Les informations transmises étaient tout d'abord codées en morse, puis des techniques de modulation et de codages analogiques ont permis de transmettre du son, puis des images. Ensuite la venue des techniques numériques a considérablement augmenté le débit et la qualité des informations à transmettre d'un point à un autre. Parallèlement, le développement rapide de la microélectronique et des capacités de miniaturisation permet aujourd'hui la mise en œuvre de techniques complexes dans des appareils de taille réduite.

L'évolution des systèmes de communications numériques en particulier Les communications sans-fil sont devenues une partie intégrante de notre vie quotidienne. Cette technologie a contribué à l'augmentation de la production et le renforcement de la sécurité au travail La nature des applications de futures communications sans fil nécessite des débits de données élevés et croissants, le caractère mobile du terminal un contexte d'encombrement de la ressource spectrale et pour cette quête la technique OFDM (orthogonal fréquence division multiplexing) est utilisée, la transmission OFDM consiste à répartir l'information sur un grand nombre de sous porteuses, créant ainsi des sous-canaux très étroits. Elle convient à des types de propagation par trajets multiples. Les modulations à mono-porteuse ne permettent pas de répondre d'une manière optimale à ces besoins, en raison de la sélectivité en fréquence des canaux et des multiples trajets que peut emprunter un même signal. L'OFDM avec préfixe cyclique (CP-OFDM), qui utilise un ensemble orthogonal de sous-porteuses est de loin le cas le plus populaire des systèmes multi porteuses qui a été proposé dans le but de partager les différents sous-ensembles de ces sous-porteuses avec un orthogonalité qui permet une utilisation optimale des ressources spectrales. La répartition des symboles sur plusieurs sous porteuses est la propriété la plus importante de la transmission OFDM. C'est elle qui engendre la robustesse contre le délai d'étalement et par conséquent diminue le taux de transmission par sous-porteuse.

Introduction Générale

L'objectif de notre mémoire est d'optimiser une transmission à porteuses multiples d'une modulation OFDM du point de vue du taux d'erreur binaire. Dans ce mémoire, nous élaborons le processus de Data Mining en détails, présentons les principaux outils de Data Mining disponibles et illustrons ses possibilités par notre application des télécommunications.

Le data mining ou exploration des données identifie des tendances dans notre données grâce à diverses techniques prédictives. En raison de l'augmentation constante du volume d'information accessible électroniquement, la conception et la mise en œuvre d'outils efficaces, permettant notamment à l'utilisateur de n'avoir accès qu'à l'information qu'il juge pertinente, devient une nécessité absolue. Comme la plupart de ces outils sont destinés à être utilisés dans un cadre professionnel, les exigences de fiabilité et de convivialité sont très importantes. Les problèmes à résoudre pour satisfaire ces exigences sont nombreux et difficiles. Le premier cas relève du domaine de la préparation de données et le second du domaine de l'extraction d'information.

Le mémoire est constitué de quatre chapitres comme suite : Dans le premier chapitre nous avons décrit une présentation complète sur les principales notions relatives aux systèmes de communication numérique ainsi que leurs différentes caractéristiques. Par la suite, Nous avons expliqué le fonctionnement d'une chaîne de transmission numérique ; enfin nous avons introduit les types de modulation (mono-porteuse et multi porteuse).

Dans le deuxième chapitre, nous nous sommes concentrés sur l'étude de la modulation OFDM. On va parler de la modulation OFDM avec ces différents types à la suite en passant aux principes du fonctionnement et finalement par leur implémentation numérique.

Le chapitre suivant introduit l'exploration des données ou Le data mining avec ces différents tâches et Techniques, finalement leur Domaines d'application.

Dans le dernier chapitre nous avons fait des simulations sur MATLAB et weka. Sur MATLAB une simulation pour la modulation OFDM et pour le weka pour notre base de données.

Chapitre I :
Les principales notions des systèmes
de communication numérique

I. Introduction

Les systèmes de transmission véhiculent de l'information (son, image, texte, ...) entre une source et un destinataire. Cette opération est réalisée essentiellement grâce aux techniques numériques car ils garantissent un bon stockage des informations et une meilleure immunité aux bruits. Dans ce chapitre, nous présenterons les éléments de la chaîne de transmission depuis la source jusqu'à la destination. Ainsi que quelques notions de base qui serviront à la bonne compréhension de ce mémoire. Nous allons décrire dans un premier temps le fonctionnement d'une chaîne de transmission numérique. [1]

I. 1 La Chaîne de transmission numérique

Le rôle d'une chaîne de transmission est de transmettre une information d'un émetteur à un récepteur à travers un canal de communication entre une source et un destinataire en utilisant un support physique comme le câble, la fibre optique ou encore, la propagation sur un canal radioélectrique. Les signaux transportés peuvent être soit directement d'origine numérique, comme dans les réseaux de données, soit d'origine analogique (parole, image...) mais convertis sous une forme numérique. L'information transmise est passée par plusieurs étapes de la source vers le destinataire. Le principe du système de transmission est alors d'acheminer l'information de la source vers le destinataire avec le plus de fiabilité possible. Comme illustrées par le schéma bloc ci-dessous. [1]

Une chaîne de transmission comprend trois éléments essentiels :

- ❖ Une source.
- ❖ Un canal de transmission.
- ❖ Un destinataire.

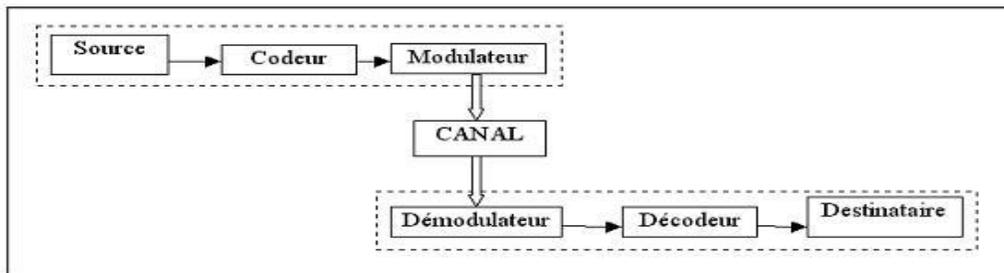


Figure I. 1 : Constituants de base d'une chaîne de transmission numérique.

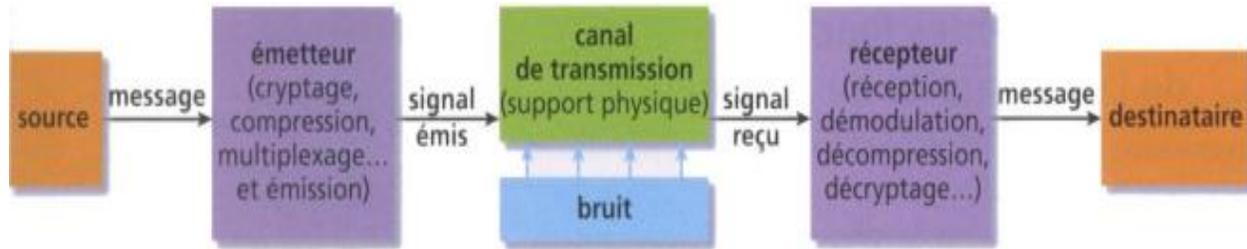


Figure I. 2 : Evolution des chaînes de transmission

- ❖ **La source** : Émet un message numérique sous la forme d'une suite d'éléments binaires. La source peut être une voix, une image, un texte, ou des données informatiques. La sortie d'une source n'est pas connue à priori par le destinataire elle est par nature aléatoire. Néanmoins certains messages déterministes, telles que les séquences pilotes, générées par l'émetteur pour servir au bon fonctionnement du récepteur.
- ❖ **Le codeur** : Supprimer des éléments binaires non significatifs (compression de données ou codage de source), ou au contraire introduire de la redondance dans l'information en vue de la protéger contre le bruit et les perturbations
- ❖ **Canal de transmission** : Le canal de transmission est le dispositif qui assure le transport de l'information (signal) entre l'émetteur et le récepteur. A cause des obstacles dans ce parcours, le signal émis subit un phénomène appelé, phénomène de multi trajets (multi-paths) sélectif en fréquence dans la bande passante du signal
- ❖ **La modulation** : c'est la partie de la chaîne que nous allons étudié le plus en détail. Le rôle de la modulation est de convertir une séquence, en un signal qui soit suffisamment robuste pour lutter contre les perturbations (évanouissements, réflexions, bruit . . .) du canal de communication. La mise en forme du signal est réalisée par des formes d'ondes appropriées à un type de modulation.

I. 2 Le canal de transmission [2]

La performance de n'importe quel système de communication sans fil est affectée par le milieu de propagation, à savoir les caractéristiques du canal. Par conséquent. Il est impératif de comprendre ce qui se passe dans le canal de sorte que le signal original puisse être reconstruit avec le moins d'erreurs possible. On distingue deux types de fluctuations de l'enveloppe du signal

reçu : les évanouissements sévères, qui sont causés par l'addition des différents trajets provenant des diffuseurs à proximité du récepteur, et les évanouissements lents, qui sont causés par les variations à grande échelle du milieu de propagation [2].

I.2.1 Caractéristiques du canal [2]

I. 2.1.1 La propagation radio mobile :

La propagation des ondes radio de l'émetteur vers le récepteur est affectée par trois phénomènes physiques : réflexion, diffraction et dispersion

La réflexion : se produit quand la propagation de l'onde électromagnétique touche une surface lisse avec des dimensions qui sont plus grandes que la longueur d'onde du signal (λ), (terre, bâtiment, ...). La puissance du signal est renvoyée à l'émetteur et ne parvient pas au récepteur.

La diffraction : se produit quand le trajet de propagation entre l'émetteur et le récepteur est obstrué par un corps dense avec de grandes dimensions comparées au λ , causant la formation d'ondes secondaires après le passage par corps d'obstruction. La diffraction est un phénomène qui explique l'énergie RF voyageant de l'émetteur au récepteur sans trajet direct entre les deux.

La dispersion (Scattering) : C'est le phénomène de la déviation du trajet direct, elle se produit quand l'onde radio touche approximativement une grande surface ou n'importe quelle surface dont les dimensions sont de l'ordre de λ ou moins, causant l'étalement de l'énergie réfléchi dans toutes les directions.

Ces phénomènes génèrent l'évanouissement du signal (fading) et l'apparition de zones d'ombre (Shadowing).

Le phénomène d'évanouissement, qui est la variation de l'amplitude du signal en fonction du temps et de la fréquence, peut être classé en deux types. L'évanouissement à large échelle et l'évanouissement à petite échelle :

I.2.1.2 L'évanouissement à large échelle

L'évanouissement à large échelle est caractérisé par l'atténuation du signal en fonction de la distance et par le shadowing (zone d'ombre causée par les grands obstacles comme les bâtiments, les arbres...).[3]

I.2.1.3 L'évanouissement à petite échelle :

L'évanouissement à petite échelle est la variation rapide du niveau du signal, due aux interférences constructives ou destructives des trajets multiples du signal, quand la station mobile se déplace sur de petites distances. Il en résulte une atténuation sélective ou non sélective en fréquence. Dépendant de la variation temporelle du canal, due au déplacement du mobile (phénomène Doppler).[3]

I.2.2 Les multi trajets

I.2.2.1 Effet des trajets multiples :

La propagation des ondes dans un canal se fait par voie directe, mais plus souvent par réflexion, réfraction et diffusion des ondes par les obstacles artificiels et naturels qui entourent le récepteur. Les trajets multiples sont le résultat des répliques du signal original qui arrivent au récepteur à des instants différents. Ainsi, le signal reçu sera composé d'une somme de plusieurs répliques. Ces derniers suivront des trajets différents, de ce fait chaque trajet sera affecté d'une atténuation, d'un retard et d'un déphasage différent [2].

Un canal multi-trajet est dit sélectif en fréquence lorsque la bande disponible couvre une partie du spectre comportant des évanouissements, ce qui engendre la perte de l'information transmise pour la fréquence correspondante.

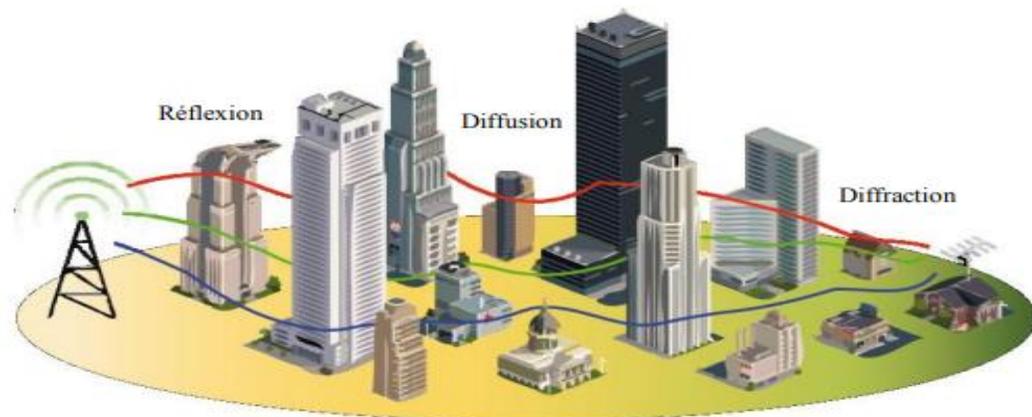


Figure I. 3 : Propagation par multi-trajets dans un environnement « Outdoor »

I.2.2 .2 Les différents types de canaux : [2]

- **Canaux dispersifs en temps mais non sélectifs en temps**

Dans un environnement non variable (le récepteur ne se déplace pas par rapport à l'émetteur, les obstacles ne bougent pas, . . . , etc.), on peut considérer que le canal de transmission est invariant dans le temps, et si l'on ne considère que l'effet des réflexions de l'onde émise sur les obstacles entre l'émetteur et le récepteur, on peut modéliser le canal comme un filtre linéaire invariant dans le temps, c'est-à-dire que le canal est dispersif en temps, mais non sélectif en temps [4] :

$$r(t) = h(t) * s(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) s(t - \tau) d\tau \Leftrightarrow R(f) = H(f)s(f) \quad (\text{I.1})$$

Avec :

$h(t)$: la réponse impulsionnelle du canal.

- un canal dispersif en temps mais non sélectif en temps est aussi sélectif en fréquence mais non dispersif en fréquence.

- **Canaux sélectifs en temps mais non dispersifs en temps :**

À l'opposé, si l'environnement est variable (le récepteur se déplace par rapport à

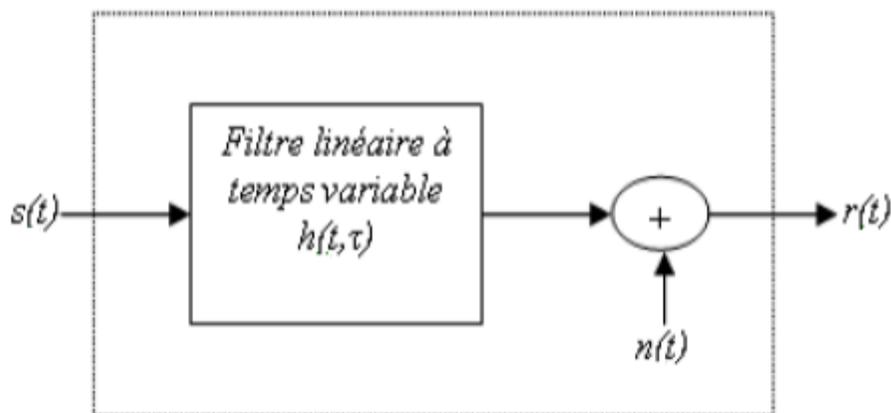


Figure I.4 : Canal Linéaire à Temps Variable avec un Bruit Additif.

L'émetteur, etc.) mais qu'il n'existe qu'un macro-trajet principal, le canal peut être modélisé comme une simple variation de l'amplitude du signal transmis qui varie en fonction du temps. Alors, le canal est dit sélectif en temps, mais non dispersif en temps et le signal reçu s'écrit :

$$r(t) = h(t)s(t) \Leftrightarrow R(f) = H(f) * S(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} H(v)S(t-v)dv \quad (\text{I.2})$$

➤ ce type de canal est donc dispersif en fréquence mais non sélectif en fréquence.

▪ **Canaux doublements dispersifs :**

D'une manière plus générale, on peut modéliser le canal de transmission comme un filtre linéaire à temps variable $h(t, \tau)$. On dit alors que le canal de transmission est doublement dispersif. De plus, on peut assimiler les bruits divers à un bruit additif blanc gaussien centré $n(t)$ de densité spectrale de puissance $\sigma^2 = N_0/2$

$$r(t) = \sum_{i=0}^{L-1} h_i S(t - \tau_i) e^{j\theta_i} \quad (\text{I.3})$$

On suppose :

$$r(t) = s(t) * h(t) \quad (\text{I.4})$$

Et la réponse impulsionnelle du canal est égale à :

$$h(t) = \sum_{i=0}^{L-1} h_i \delta(t - \tau_i) \quad (\text{I.5})$$

Avec τ_i : Les retards ($0 = \tau_0 \leq \tau_1 \leq \dots \leq \tau_{L-1}$)

L : Le nombre de trajets multiples.

I.3 Distribution de Rayleigh [6]

La distribution de Rayleigh correspond à un cas idéal. Dans ce cas, le signal complexe reçu est constitué d'un grand nombre de trajets indirects, ayant des amplitudes et phases aléatoires, indépendants et uniformément distribués. L'enveloppe de ce signal suit une loi de Rayleigh définie par l'équation, ou La fonction de densité de probabilité suivante :

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), r \geq 0 \quad (\text{I.6})$$

- σ est l'écart type de la partie réelle (x) ou la partie imaginaire (y), il représente la valeur la plus probable

- r est l'enveloppe du signal complexe reçu, $r = x + iy$

Notant d'autres propriétés utiles sont données par :

- La valeur quadratique moyenne : $E\{r^2\} = 2\sigma^2$
- La valeur moyenne : $E\{r\} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}$.
- La variance : $E\{r^2\} - E\{r\}^2 = \sigma^2 \left(\frac{4-\pi}{2}\right)$

I.4 L'effet Doppler [2]

Dans un environnement radio mobile, le récepteur est souvent en mouvement par rapport à l'émetteur. Ce mouvement introduit un décalage de fréquence dans le contenu spectral du signal reçu. Ce décalage de fréquence, appelé effet Doppler, dépend de la vitesse du mobile, de la longueur d'onde (fréquence porteuse) et de l'angle d'incidence du trajet par rapport à la trajectoire de déplacement.

$$f_D = \frac{f_c}{c} |\vec{v}| \cos(\alpha) = \frac{|\vec{v}|}{\lambda_c} \quad (I.7)$$

- f_D Fréquence Doppler
- Vitesse de déplacement du récepteur $|\vec{v}|$

f_c et λ_c sont respectivement la fréquence de la porteuse et la longueur d'onde associée. L'angle α est pris entre la direction de $|\vec{v}|$ et celle suivie par l'onde électromagnétique émise. f_D est positif lorsque le récepteur s'éloigne de l'émetteur et négatif s'il s'en approche.

L'effet Doppler peut poser des problèmes significatifs si la technique de transmission est sensible aux décalages de fréquences (qui est le cas des systèmes OFDM). L'influence du changement de la vitesse de déplacement sur la vitesse de variation de l'amplitude d'un canal à évanouissement de Rayleigh.

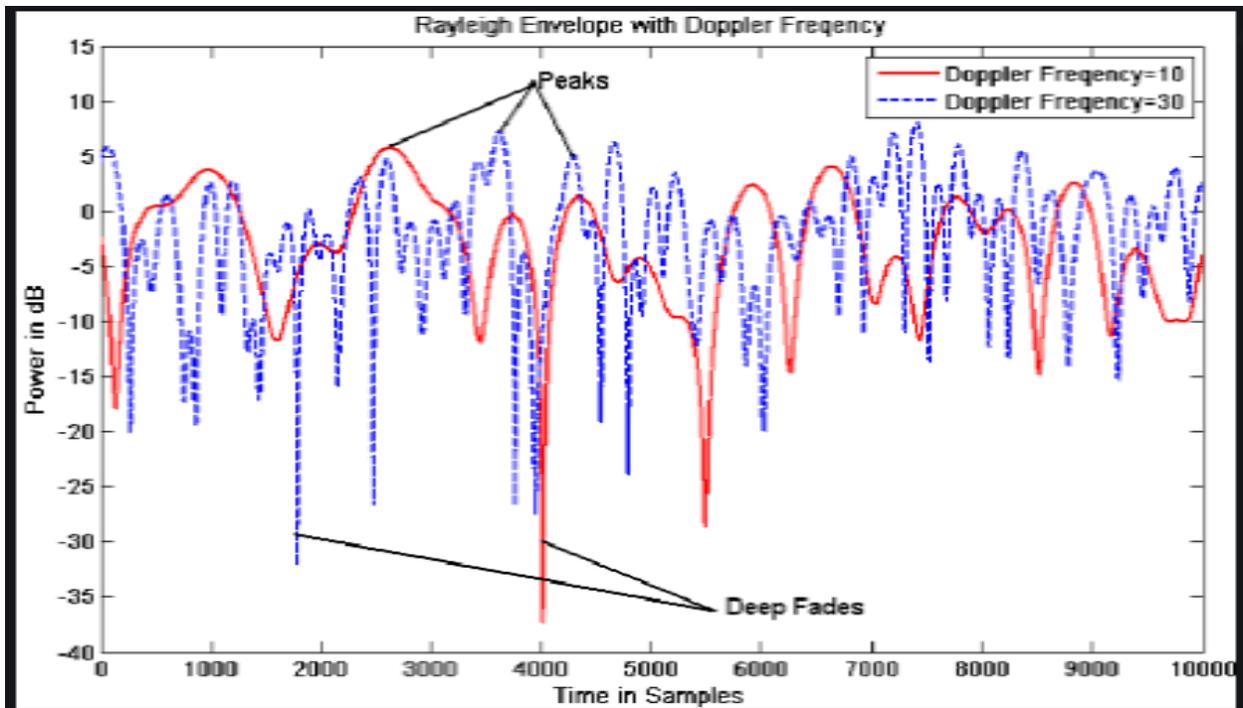


Figure I.5 : Effet Doppler sur l'enveloppe de Rayleigh.

I.5 Bande de cohérence : [2.3]

La bande de cohérence est une mesure statistique qui quantifie la sélectivité en fréquence du canal. Elle permet de déterminer la bande à l'intérieur de laquelle le canal est considéré non sélectif en fréquence et laisse passer tous les composants spectraux avec approximativement le même gain et une phase linéaire. Noter que B_c et τ_m sont réciproquement reliés (avec une constante multiplicative). Comme approximation, il est possible de dire que :

$$B_c = \frac{1}{\tau_m} \quad (I.8)$$

Où :

τ_m est le délai maximal de la réponse impulsionnelle du canal.

I.6 Temps de cohérence :

Le temps de cohérence est une mesure de la vitesse à laquelle le canal fluctue. Avec la connaissance de l'étalement Doppler maximal, il est possible d'approximer le temps de cohérence du canal par la relation suivante, qui indique que le temps de cohérence est approximativement l'inverse de la fréquence Doppler maximale [2.3] :

$$T_c \approx \frac{1}{F_m} \quad (\text{I.9})$$

I.7 Définition de modulation :

La modulation est un processus d'encodage de l'information à partir d'une source d'une manière convenant à la transmission. Il implique de traduire un signal de message de bande de base à un signal de bande passante. Le signal de bande de base s'appelle le signal de modulation et le signal de bande passante s'appelle le signal modulé.

La modulation peut être faite en modifiant certaines caractéristiques des ondes porteuses selon le signal de message.

Le dispositif qui effectue cette modulation, en général électronique, est un modulateur. L'opération inverse permettant d'extraire le signal de la porteuse est la démodulation [4.7.38].

I.8 Principe de Modulation [7]

La modulation et la démodulation sont deux étapes dans la communication d'une information entre deux utilisateurs. Par exemple, pour faire communiquer deux utilisateurs de courriels par une ligne téléphonique, des logiciels, un ordinateur, des protocoles, un modulateur et un démodulateur sont nécessaires. La ligne téléphonique est le canal de transmission, sa bande passante est réduite, il est affecté d'atténuation et de distorsions.

La modulation convertit les informations binaires issues des protocoles et des logiciels, en tension et courant dans la ligne. Le type de modulation employé doit être adapté d'une part au signal (dans ce cas numérique), aux performances demandées (taux d'erreur), et aux caractéristiques de la ligne.

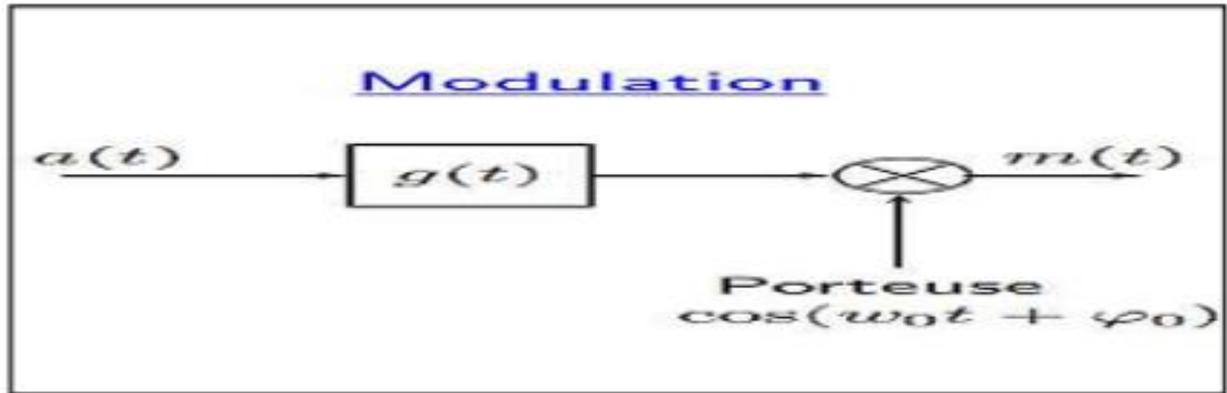


Figure I.6 : Schéma d'une modulation

La modulation permet donc de traduire le spectre du message dans un domaine de fréquences qui est plus adapté au moyen de propagation et d'assurer après démodulation la qualité requise par les autres couches du système.

Le but des modulations analogiques est d'assurer la qualité suffisante de transmission d'une information analogique (voix, musique, image) dans les limites du canal utilisé et de l'application.

Le but des modulations numériques est d'assurer un débit maximum de données binaires, avec un taux d'erreur acceptable par les protocoles et correcteurs amont et aval.

Dans l'empilement des protocoles OSI (architecture standard des télécommunications numériques), la modulation est l'élément principal de la couche physique [8].

I.9 Les intérêts de modulation [4.41] :

- ❖ **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 à une bande de fréquence plus élevée se traduit par une longue distance de transmission.
- ❖ **Facilite l'accès multiple** : en traduisant le spectre en bande de base des signaux provenant de différents utilisateurs pour différentes bandes de fréquence, de

multiples utilisateurs peuvent être logés à l'intérieur d'une bande du spectre électromagnétique.

- ❖ **Réduction de la taille de l'antenne** : La hauteur de l'antenne est inversement proportionnelle à la fréquence de signal rayonné et donc le rayonnement du signal haut fréquence diminue la taille de l'antenne.

I.10 La transmission en bande de base:

La transmission en bande de base consiste à transmettre les informations sur le support de transmission sans transformation du signal numérique en un signal analogique. Cette définition n'exclut nullement des modifications du signal pour mieux l'adapter aux caractéristiques du support de transmission. Les principales difficultés rencontrées dans la transmission en bande de base sont dues essentiellement à la limitation de la bande passante dans les basses et hautes fréquences.

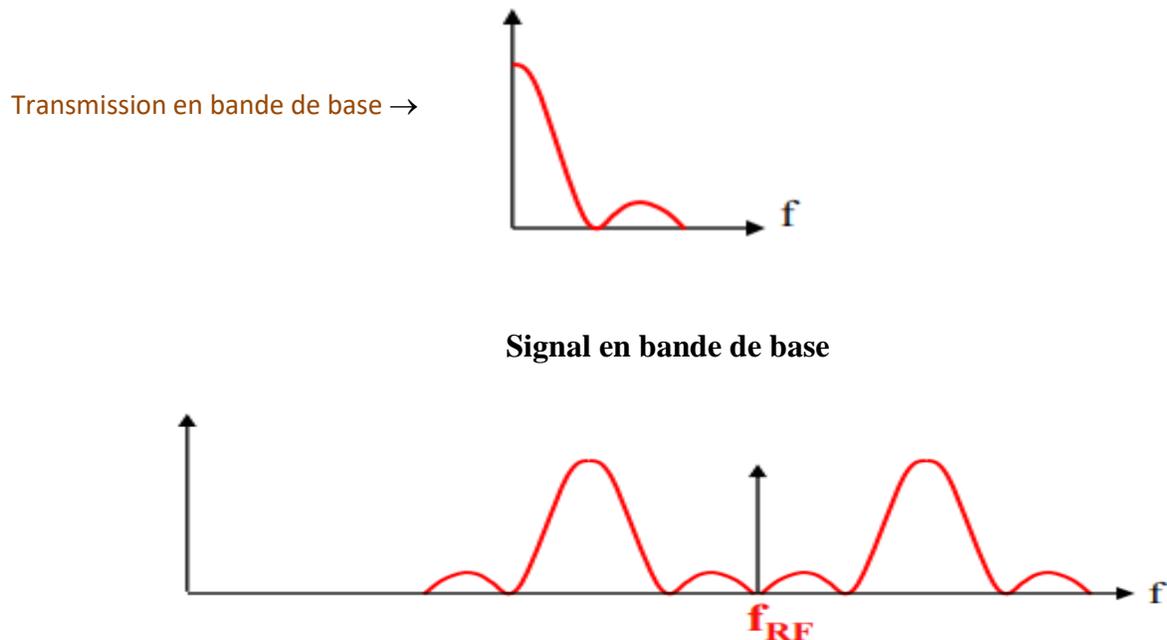


Figure I.7 : Transmission sur fréquence porteuse

I.11 Codage de l'information :

Le codage est une étape primordiale, il consiste à faire correspondre une forme de signal électrique ou optique à un ou plusieurs éléments binaires de la source. Il permet d'adapter la

forme du signal à la ligne ou plus généralement au milieu de propagation. On fait donc correspondre à chaque niveau logique bas et haut l'état 0 ou l'état 1; la différence de tension entre deux fils et la présence/absence de courant dans un fil sont des exemples fréquents [10].

Les codes principaux utilisés sont [4.9] :

I.11.1 Le codage Manchester (Biphase)

Il consiste à faire une transition au milieu de chaque temps bit. La transition positive est codée un état logique 1 et la transition négative par un état logique 0.

I.11.2 Le codage Miller

Dans le code Miller les états (1) a une transition au milieu du temps bit et les états (0) n'ont pas de transition. Mais un 0 suivi d'un 0 a une transition en fin du temps bit.

I.11.3 Code binaire NRZ

(Non Return to Zéro) Le codage NRZ est simple on a un état zéro (0) pour une tension négative et un état (1) pour une tension positive.

I.11.4 Le codage Bipolaire

ce type ne code qu'un type de bit (par exemple les 1) et en alternant leur polarité.

I.12 Les Modulations Numériques:

La modulation a pour objectif d'adapter le signal à émettre au canal de transmission. Cette opération consiste à modifier un ou plusieurs paramètres d'une onde porteuse. Les paramètres modifiables sont : L'amplitude, la fréquence et la phase. Dans les procédés de modulation binaire, l'information est transmise à l'aide d'un paramètre qui prend deux valeurs possibles. Dans les procédés de modulation M-aire, le paramètre prend M valeurs. Ceci permet d'associer à un état de modulation un mot de n digits, ce qui correspond à un nombre d'états de $M=2^n$, Ces n digits proviennent du découpage en paquets de n digits du train binaire issu du codeur [10].

- Un symbole est un élément d'un alphabet. Si M est la taille de l'alphabet, le symbole est alors dit M-aire. Lorsque $M=2$, le symbole est dit binaire.

- Le débit binaire D se définit comme étant le nombre de bits transmis par seconde. $D = nR = 1/T_b$ (durée d'un bit).
- L'efficacité spectrale d'une modulation se définit par le paramètre $\eta = D/B$. B est la largeur de la bande occupée par le signal modulé. Pour un signal utilisant des symboles M -aires, on aura $\eta = 1/T \cdot B \log_2(M)$.
- Pour B et T donnés, l'efficacité spectrale augmente, comme on pouvait s'y attendre, avec le nombre de bit/symbole $n = \log_2(M)$. C'est en effet la raison de la modulation M -aire.
- Le message à transmettre est issu d'une source binaire. Le signal modulant, obtenu après codage, est un signal en bande de base, éventuellement complexe, qui s'écrit sous la forme :

$$C(t) = \sum_k C_k \cdot g(t - kT) \text{ avec } C_k = a_k + b_k \quad (\text{I.10})$$

- la modulation transforme ce signal $c(t)$ en un signal modulé $m(t)$ tel que :

$$M(t) = \text{Re} \left[\sum_k C_k(t) \cdot e^{j(\omega_0 t + \varphi_0)} \right] \quad (\text{I.11})$$

$\omega_0 t, \varphi_0$: pulsation et phase de la porteuse.

Dans la suite on va présenter les principaux types de modulations numériques.

I.12.1 Modulation mono porteuse

I.12.1.1 Système de Modulation numérique mono porteuse

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

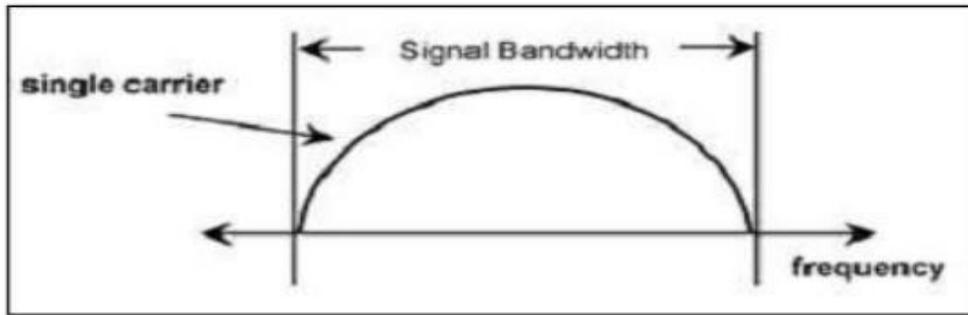


Figure I.8 : format de modulation à porteuse unique.

Les systèmes de transmission mono porteuse sont des systèmes qui transmettent les données de façon séquentielle sur une seule bande de fréquence ou canal physique, autour d'une seule porteuse, Figure I.8. Cette technique est certes très simple à mettre en œuvre mais présente des inconvénients majeurs lorsque nous sommes en présence de canaux multi trajets très sélectifs. En effet les multiples trajets du canal introduisent une interférence entre symboles (IES) qui affecte la qualité de transmission.

Ce phénomène est d'autant plus accentué que le temps symbole du système 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. [4.11.41]

I.12.1.2 Les types de modulation mono porteuse [4.11.12]

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 dans les caractéristiques du signal porteur. Trois caractéristiques du signal qui peuvent être modifiées au fil du temps sont l'amplitude, la phase et la fréquence. Les trois techniques fondamentales de modulation numérique sont :

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

➤ **La Modulation Amplitude Shift Keying (ASK) :**

Est La technique de modulation numérique la plus simple. Dans ce type de modulation le signal d'information binaire directement module l'amplitude d'une porteuse analogique. On dit aussi que la source est l'enveloppe de la porteuse. Cette modulation est surtout utilisée en radio - ondes moyennes (AM ou MW d'environ 500 à 2000 kHz)

La modulation d'amplitude est très sensible aux perturbations électromagnétiques qui peuvent modifier l'amplitude de la porteuse et donc du signal source lors de la démodulation.

Lorsque l'on parle de modulation ASK, on peut voir les choses de la façon suivante, sans forcément passé par l'étude mathématique :

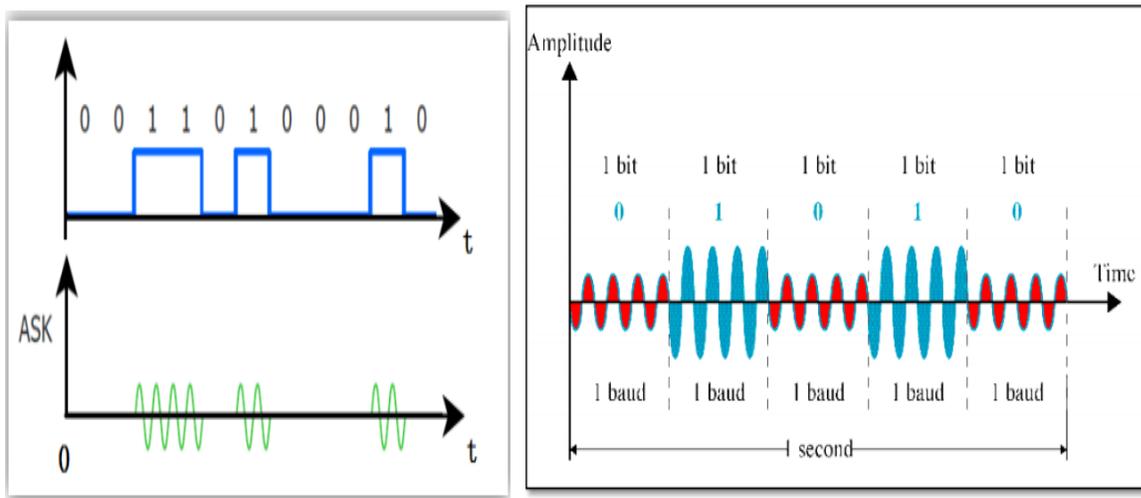


Figure I.9 : modulation d'amplitude ASK.

$$\mathbf{v_{ask}(t) = [1 + v_{m(t)}] \left[\frac{A}{2} \cos(\omega ct) \right]} \quad \text{(I.12)}$$

Où :

$\mathbf{v_{ask}(t)}$ = onde du signal modulé.

$\mathbf{v_{m}(t)}$ = signal d'information numérique (modulant) (volts)

$\frac{A}{2}$ = amplitude de la porteuse non modulée (volts)

ωc = fréquence radian porteuse analogique.

le signal de modulation $v_{m(t)}$ est un forme d'onde binaire normalisée, où + 1 V = 1 logique et - 1 V = 0 logique. Par conséquent, pour une entrée logique 1

$v_{m(t)} = +1$ V, Equation 1.3 réduit à :

$$\begin{aligned} v_{ask(t)} &= [1 + v_{m(t)}] \left[\frac{A}{2} \cos(\omega ct) \right] \\ &= A \cos(\omega ct) \end{aligned} \quad (\text{I.13})$$

➤ **La Modulation FSK (Frequency Shift Keying) :**

La modulation par déplacement de fréquence est une forme de modulation d'angle à amplitude constante similaire à la modulation de fréquence standard (FM) sauf le signal modulant est un signal binaire qui varie entre deux niveaux de tension discrets plutôt que d'un changement continu forme d'onde analogique [5]. La modulation de fréquences peut être sensible aux perturbations électromagnétiques, car ces dernières provoquent des variations d'amplitude du signal mais pas de sa fréquence. Le signal démodulé est donc identique à celui de la source. FSK est parfois appelé FSK binaire (BFSK). L'expression générale pour FSK est :

$$v_{fsk(t)} = v_{c(t)} \cdot \cos(\omega ct) \{ 2\pi [fc + v_{m(t)} \Delta f] t \} \quad (\text{I.14})$$

$v_{ask(t)}$ = forme d'onde FSK binaire

$v_{c(t)}$ = amplitude porteuse analogique maximale (volts)

fc = fréquence centrale porteuse analogique (hertz)

Δf = changement de crête (décalage) dans la fréquence porteuse analogique

$v_{m(t)}$ = signal d'entrée binaire (modulant) (volts)

À partir de l'équation 1.5, on peut voir que le changement de la fréquence porteuse (Δf) est proportionnel à l'amplitude de signal d'entrée binaire $v_{m(t)}$ et la direction du décalage est déterminée par la polarité. Le signal de modulation est une forme d'onde binaire normalisée logique 1 = + 1 V et une logique 0 = -1 V. Ainsi, pour une entrée logique $v_{m(t)} = +1$ l'équation (1.5) peut être réécrite comme :

$$v_{FSK}(t) = v_c(t) \cdot \cos(\omega t) \{2\pi[f_c + \Delta f]t\} \quad (I.15)$$

Pour une entrée logique 0, $v_m(t) = -1$, l'équation 1.5 devient :

$$v_{FSK}(t) = v_c(t) \cdot \cos(\omega t) \{2\pi[f_c + \Delta f]t\} \quad (I.16)$$

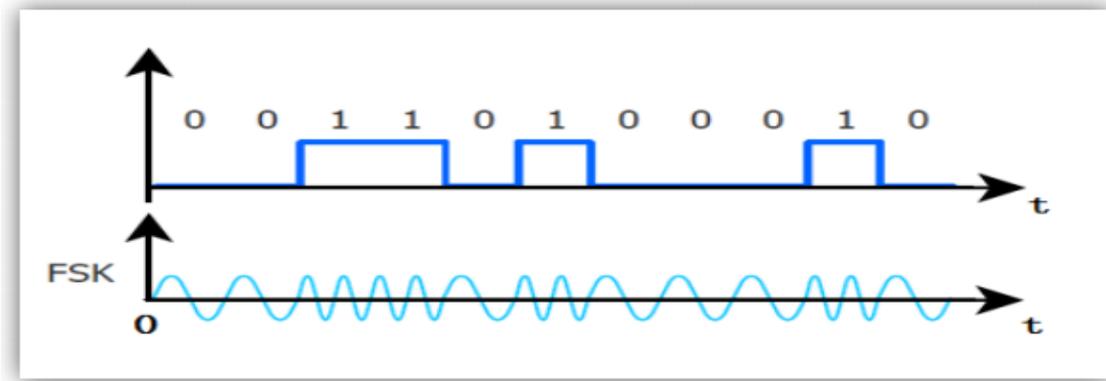


Figure I.10 : modulation de fréquence FSK

On peut voir les choses de la façon suivante :

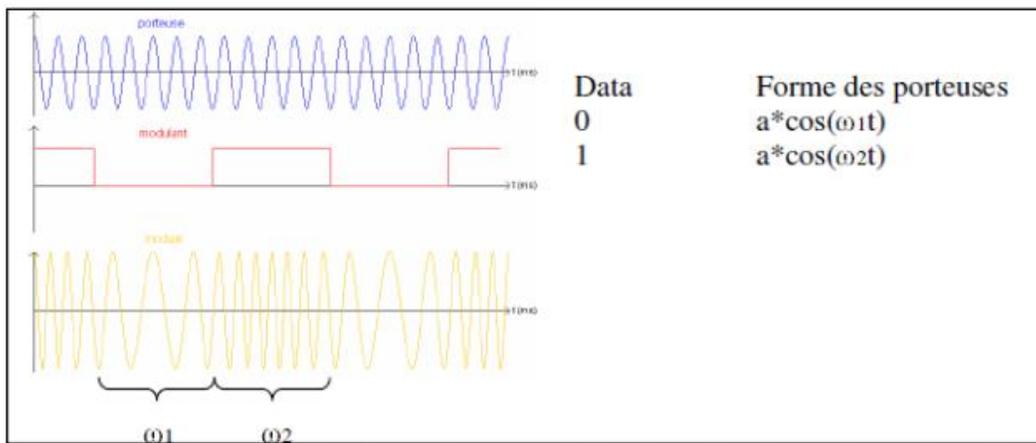


Figure I. 11 : modulation de fréquence FSK

➤ La modulation Shift Keying (PSK) :

Cette modulation est principalement utilisée pour des transmissions de valeurs binaires dite BPSK (Binary Phase Shift Keying). c'est une modulation de phase à 2 états 0 et π . Dans la constellation, il n'y a que 2 points, un à 0° qui correspond au niveau logique 1 et un autre à 180° qui correspond au niveau logique 0 [13].

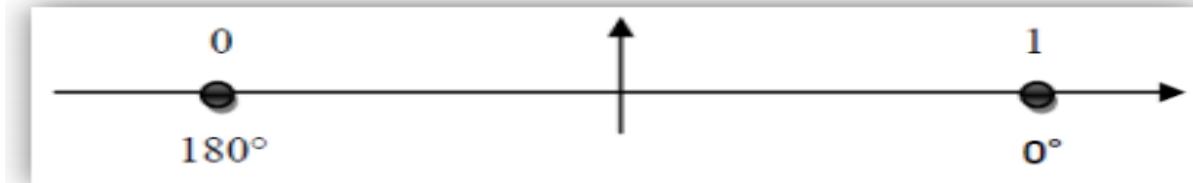


Figure I.12: Constellation BPSK

On peut également définir 4 déphasages différents (tous les 90 degrés) pour transmettre les valeurs binaires "00", "01", "10", "11". Dès lors le débit binaire sera 2 fois plus grand que le débit exprimé en Bauds (bit/sec). Lorsque l'on parle de modulation PSK, on peut voir les choses de la façon suivante :

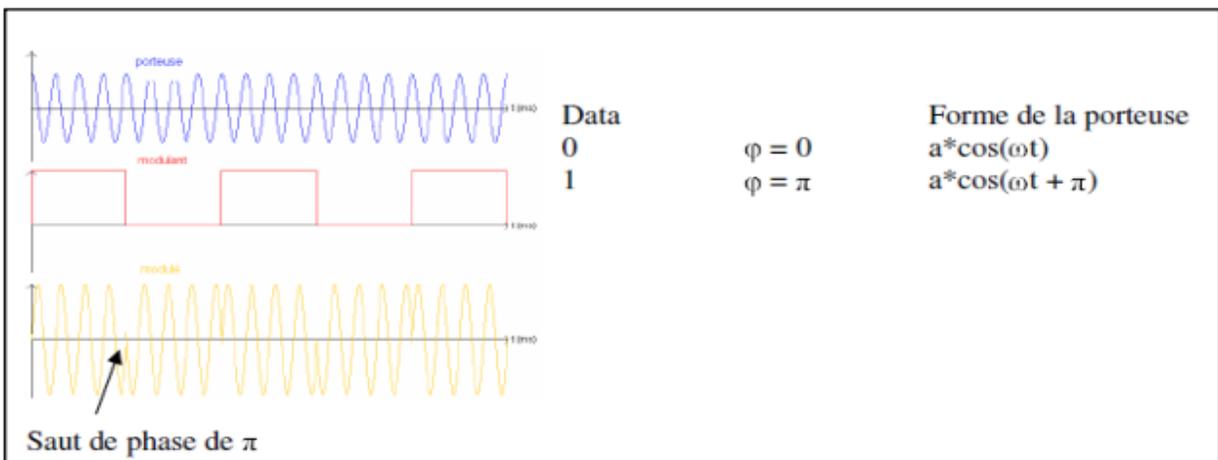


Figure I.13 : Modulations de Phase PSK

Un autre type de modulation numérique de phase est la PSK en quadrature ou (QPSK). Le train de donnée binaire est séparé en deux "sous trains" appelés le composant cosinus (I ou In-phase) et le composant sinus (Q ou Quadrature). La paire de valeur (ou doublet) constitue ce que l'on appelle un symbole. Pour des considérations électroniques, les signaux I et Q sont centrés

sur 0V. On peut donc considérer que I et Q prennent symboliquement deux niveaux +1, -1 correspondant aux états binaires [13].

L'état de phases du signal modulé se représentent en coordonnées polaires dans le plan I, Q. Suivant les combinaisons de I et Q, on obtient alors un diagramme que l'on appelle communément constellation. Le schéma ci-dessous montre les constellations de la modulation QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)[13].

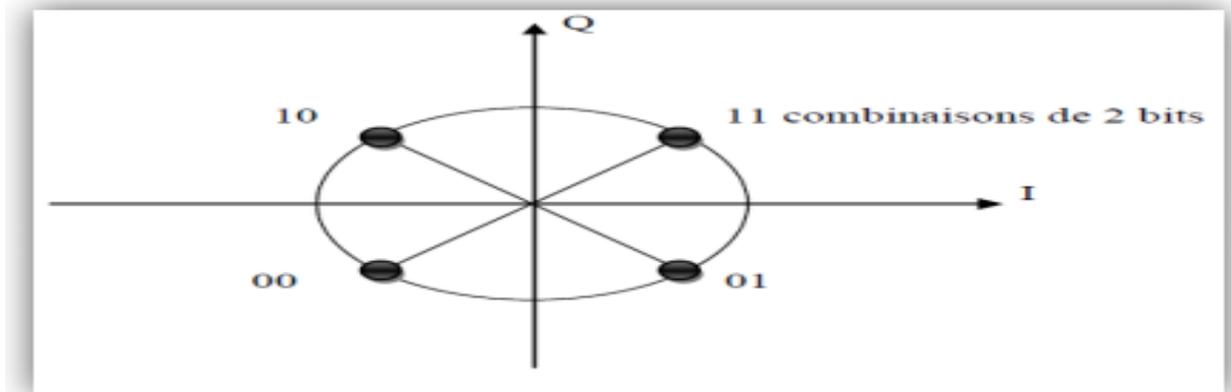


Figure I.14 : constellation QPSK

➤ **La modulation QAM :**

La QAM ou Modulation d'amplitude en quadrature résulte de la combinaison de deux fréquences porteuses sinusoïdales déphasées l'une de l'autre de 90° (d'où le nom de quadrature). Elle peut aussi être vue comme une modulation de phase et d'amplitude, elle permet des débits élevés [14].

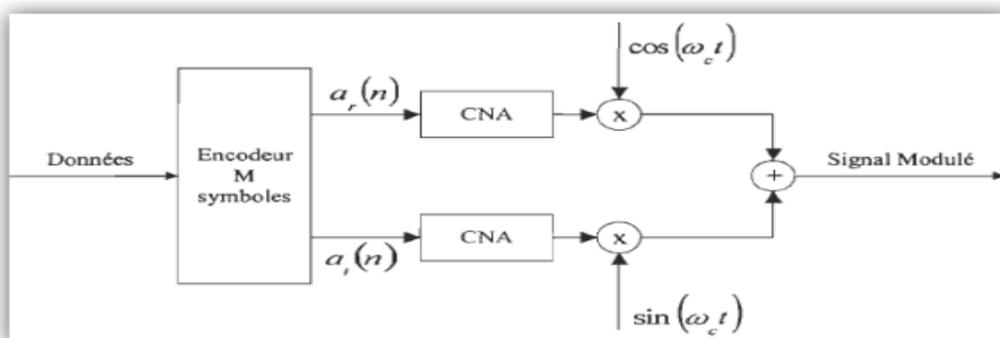


Figure I.15: modulateur QAM

Un exemple de la modulation QAM est la modulation QAM à seize états. La 16 QAM utilise 4 bits par symbole, 2 bits sur I et deux bits sur Q. La valeur de I peut être une des 4 amplitudes possibles. Il en est de même pour la valeur de Q. La constellation comporte 16 points ($2^4=16$) [13].

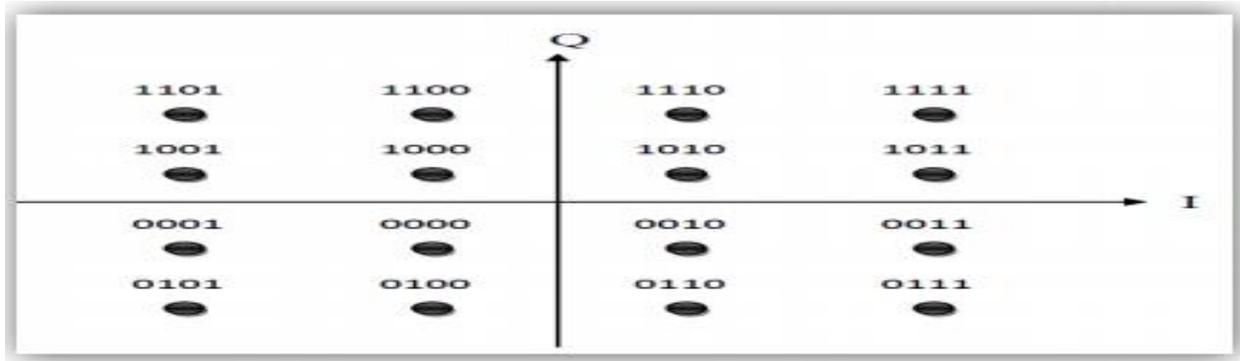


Figure I.16 : constellation 16QAM

L'intérêt majeur des techniques de modulations numériques, réside dans la possibilité de leur insertion harmonieuse dans les réseaux intégrés numériques qui se développent de jour en jour. Un autre avantage réside dans la possibilité de conserver l'intégrité de l'information à transmettre, ce qui est tout à fait impossible avec une transmission analogique. Les systèmes modernes de communication numérique sont complexes et requièrent des circuits de modulation et de démodulation de plus en plus sophistiqués.

I.6.3. Démodulation [16] :

Le but de toute démodulation est de récupérer le message transmis par modulation. Il faut donc éliminer le signal de la porteuse en modifiant le moins possible le message transmis.

❖ Détection d'enveloppe :

La démodulation par détection d'enveloppe (ou de crête) est très utilisée dans les montages électroniques de moyenne qualité, car elle utilise très peu de composants, et son coût est donc très faible par rapport à d'autres démodulateurs plus précis. Le principe consiste à détecter les maxima du signal modulé de façon à restituer l'enveloppe du signal modulé, qui est bien sûr le message transmis. On utilise pour cela un montage détecteur de crête.

❖ **Détection synchrone :**

La démodulation synchrone est la plus utilisée dans les montages actuels, car elle permet une meilleure restitution du message que la détection d'enveloppe. Le principe consiste à multiplier le signal modulé $S(t)$ par un signal généré par un oscillateur local de même fréquence et de même phase que la porteuse. Le filtre Passe-bas permet ensuite d'éliminer les raies créés par la multiplication, autour des fréquences f_0 et $2f_0$: le signal BF $m(t)$ est restitué.

❖ **Détection quadratique :**

La démodulation par détection quadratique est utilisée dans les montages fonctionnant à très haute fréquence (VHF-UHF). Le principe consiste à appliquer le signal modulé $S(t)$ sur un élément non linéaire (par ex. : une diode). Pour une bonne démodulation, il faut un taux de modulation très faible.

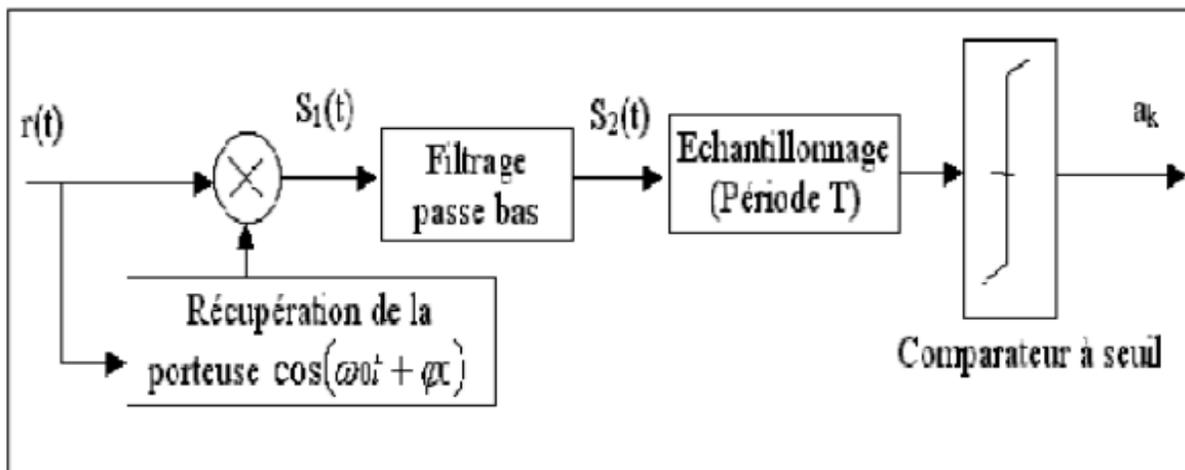


Figure I. 17: Schéma d'une démodulation sur une seule porteuse

I.12.2. Modulation multi porteuse [17.41] :

Les techniques qu'on appelle multi-porteuses consistent à transmettre des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses en même temps. Ce sont des techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps. Le regain d'intérêt actuel réside dans l'amélioration apportée pour augmenter l'efficacité spectrale en orthogonalisant

les porteuses ce qui permet, L'implémentation de la modulation et de la démodulation se fait à l'aide de la transformée de Fourier rapide FFT (Fast Fourier Transform) .

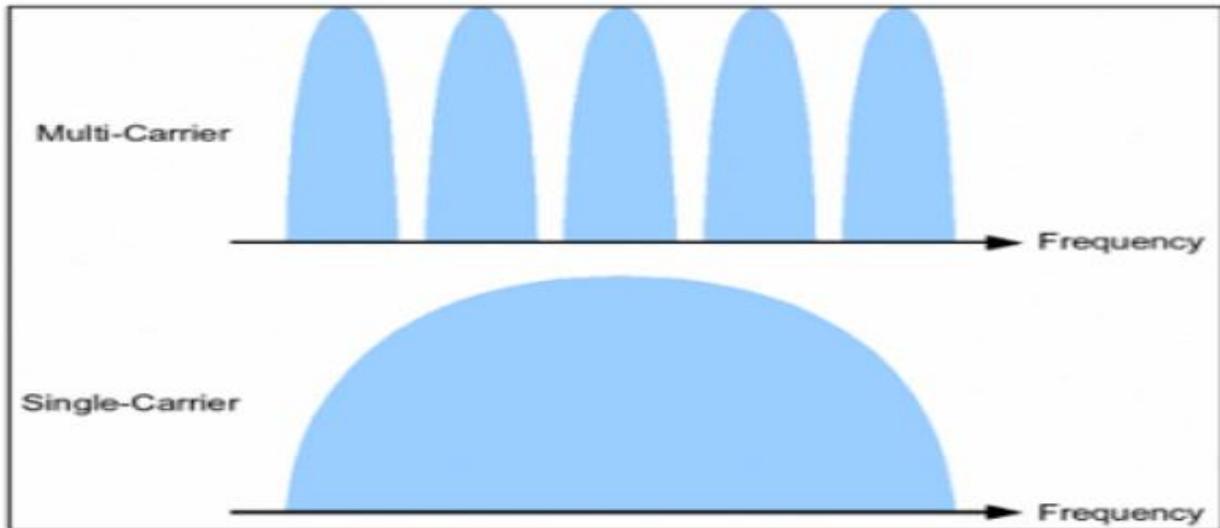


Figure I.18 : Spectre de fréquences.

I.12.2.1 Principe :

Contrairement aux systèmes mono porteuses qui modulent sur une porteuse unique à un débit de R_s , le principe de la modulation multi porteuse de type OFDM consiste à transmettre les données de manière simultanée sur N porteuses modulées à un débit de $R_s N$. Le débit global reste inchangé mais chaque porteuse est moins sensible à l'étalement des trajets sur le canal de propagation.

Dans un système conventionnel de transmission de données mono-porteuse, les symboles sont transmis séquentiellement : le spectre de chaque donnée est autorisé à occuper toute la bande passante allouée à la transmission.

Le principe d'un système MCM 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 choisit 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. [4.17]

I.12.2.2 Formulation d'un signal multi-porteuse [18] :

La formulation d'un signal multi-porteur est réalisée par l'équation (I.10) :

En notant: $[n] = [m + nm]$

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \sum_{m=0}^{M-1} x_m[n] \psi_{m,n}(t) \quad (\text{I.17})$$

Base de formes d'onde modulantes $\{\psi_{m,n}(t), (m, n) \in \mathbb{Z}^2\}$

M : le nombre de fréquences porteuses.

TS : Durée d'un symbole.

I.12.2.3 Systèmes de modulation multi-porteuse [19]

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.

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

I.12.2.3 Application de la modulation multi-porteuse [20]

La modulation multi-porteuse est retenue pour plusieurs applications telles que la norme de diffusion de son numérique DAB (Digital Audio Broad casting) et de télévision numérique terrestre DVB-T (Digital Vidéo Broad casting Terrestrial), pour ses propriétés de robustesse vis-à-vis de la sélectivité en temps et en fréquence des canaux à trajets multiples et pour son efficacité spectrale. Il y a aussi d'autres applications 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** : Le système Hiperlan 2 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.

I.12.2.4 Notion d'orthogonalité [17]

L'orthogonalité est la propriété fondamentale qui permet de transmettre des signaux d'informations multiples dans un même canal et de les détecter sans interférence. Mathématiquement, l'orthogonalité de deux fonctions $f(t)$ et $g(t)$ dans l'intervalle $[a, b]$ est définie par la relation suivante:

$$\int_a^b f(t)g(t)dt = 0 \quad (\text{I.18})$$

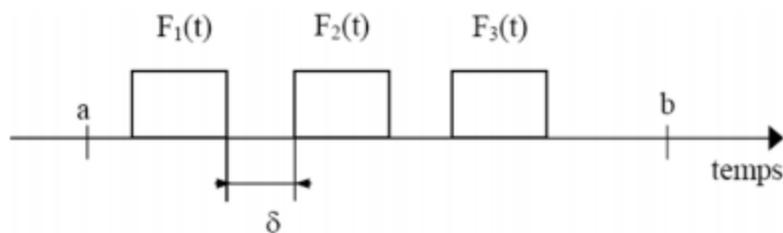


Figure I.19 : Exemple d'une base orthogonale

Il y a deux types d'orthogonalité :

- Orthogonalité fréquentielle.
- Orthogonalité temporelle.

I.13 Multiplexage [21]

Afin de limiter les risques d'engorgement des canaux de transmission utilisés, il convient de rendre multiples, ou "multiplexer", les possibilités d'accès à un canal donné (Figure I.13.19). Le multiplexage est l'opération qui consiste à grouper plusieurs voies, attribuées chacune à une communication, de façon à les transmettre simultanément sur le même support physique (câble, fréquence porteuse d'une liaison radioélectrique, satellite, ...) sans qu'elles se mélangent ou se

perturbent mutuellement. A la réception, un démultiplexage aussi parfait que possible doit permettre de séparer ces voies et de les restituer sous leur forme originale. Ce partage des ressources disponibles nécessite que chacune d'entre elles soit isolée des autres, il faut donc s'assurer de l'orthogonalité des ressources.

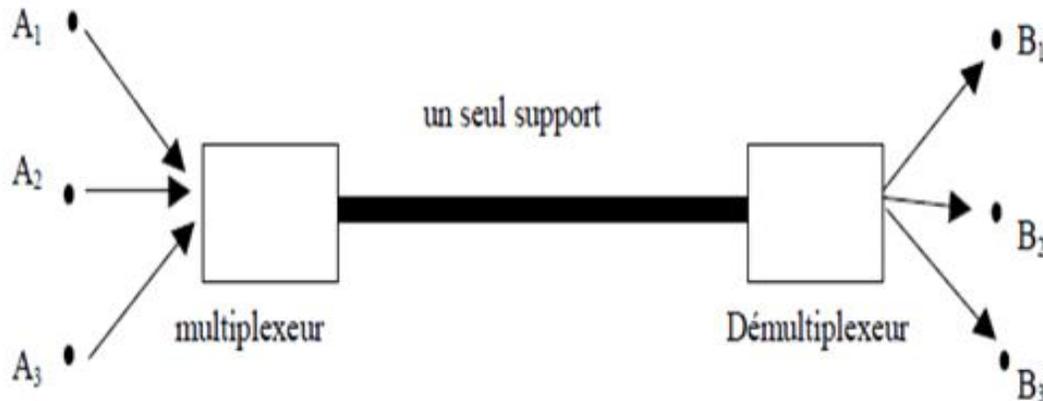


Figure I.20 : Multiplexage des possibilités d'accès à un canal donné.

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) et le multiplexage de code (CDM, Code Division Multiplex, ou CDMA).

Enfin, une nouvelle forme de multiplexage, spécifique à la propagation sur des fibres optiques, s'est récemment développée : le WDM (Wavelength Division Multiplex). On partage alors des "fenêtres" optiques disponibles sur une même fibre.

I.13.1 Accès multiple par répartition en fréquence FDMA [22] :

Le multiplexage fréquentiel est un multiplexage dans lequel des signaux indépendants occupent des bandes de fréquences distinctes dans le signal composite. La figure 2.13 donne un exemple de multiplexage fréquentiel 4 vers 1.

MULTIPLEXAGE : Le multiplexage est l'action d'assembler des signaux indépendants en un seul signal composite à partir duquel ils peuvent être restitués. On commence par générer N

porteuses espacées fréquentielle-ment de 2 fois la bande utile des signaux à multiplexer (au moins). On multiplie ensuite une porteuse avec un signal, afin de transposer tous les signaux à des fréquences différentes. On somme le tout pour obtenir le composite. Il est intéressant de remarquer que les opérateurs sont les mêmes que pour le multiplexage temporel.

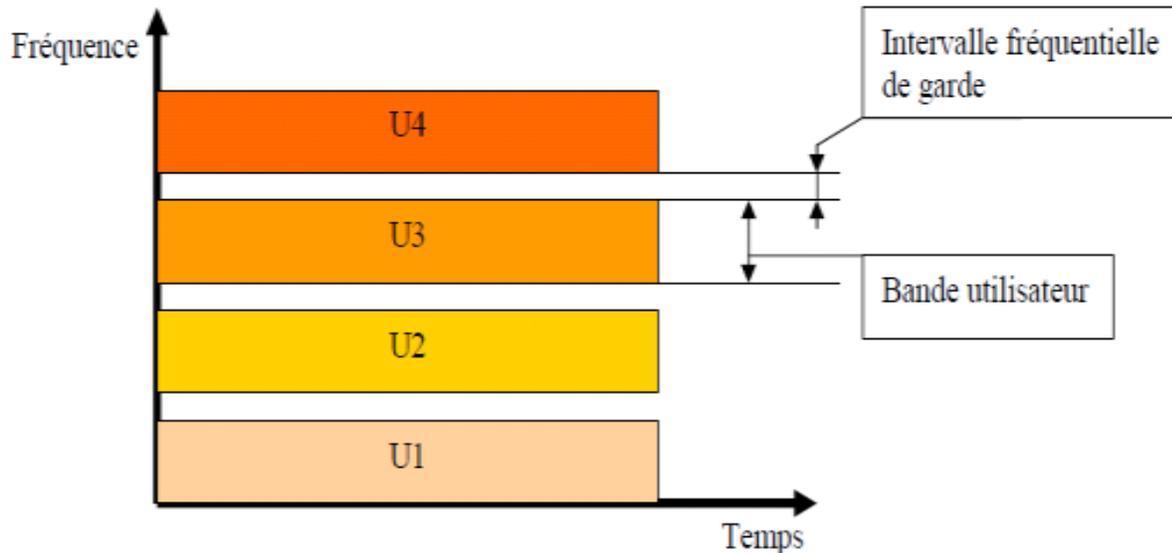


Figure I.21 : La technique de multiplexage FDM

DEMULTIPLEXAGE : On multiplie chaque porteuse par le signal composite, puis on filtre passe bas autour de la bande utile pour retrouver le signal dé-multiplexé. Avant ce filtrage, la représentation temporelle du signal dé-multiplexé ne permet pas de reconnaître le signal d'origine (figure I.21). Le signal dé-multiplexé est atténué d'un facteur 2 car il a été multiplié deux fois par une sinusoïde d'amplitude efficace $\sqrt{2}$. Les éléments essentiels de la FDM sont la génération précise des porteuses et la modulation.

I.13.2 L'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) [23]

Le multiplexage TDM consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un court instant, ceci à tour de rôle pour chaque utilisateur. L'allocation de cette bande passante se fait en divisant l'axe du temps en périodes de durée fixe, et chaque utilisateur ne va transmettre que pendant une de ces périodes déterminée. Un intervalle de temps fixe (IT) est successivement assigné à une source.

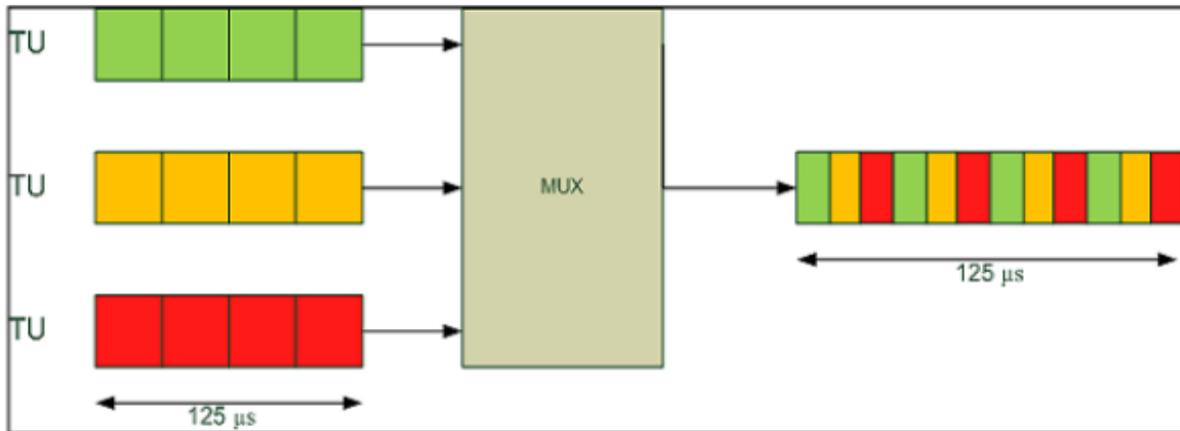


Figure I.22 : Répartition des périodes dans le cas d'un multiplexage TDM

Le multiplexage TDM permet alors de regrouper plusieurs canaux de communications à bas débits sur un seul canal à débit plus élevé (par exemple, conception d'un débit 40 Gbits/s, à partir de 4 séquences à 10Gbits/s).

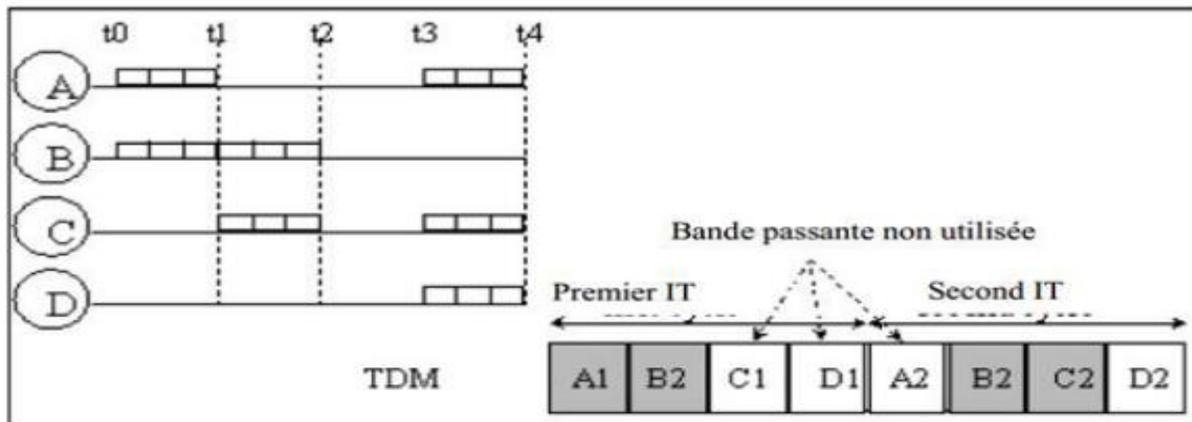


Figure I.23: Représentation d'un multiplex TDM (4 voies vers 1) en fonction des données initiales.

En outre, dans la plupart des cas, l'ensemble du système de bande passante pour un créneau horaire n'est pas assignée à une seule station, mais la fréquence système est subdivisée en sous bandes, et TDMA est employée pour accès multiples à chaque sous bande. Les sous bandes sont connues comme fréquences porteuse et le système mobile à l'aide de la technique sont désignés comme les systèmes d'opérateurs multiples.

I.13.3 Code Division Multiple Access (CDMA) [24] :

Le principe de base du CDMA est que différents codes sont utilisés pour faire la distinction entre les différents utilisateurs. Généralement utilisé des formes de modulation d'étalement du spectre en séquence directe (DS-CDMA). Ici, un signal est généré qui s'étale sur une large bande passante. Un code connu sous le nom de code d'étalement est utilisée pour exécuter cette action. En utilisant un groupe de codes, qui sont orthogonales les unes aux autres, il est possible de choisir un signal avec un code donné en la présence de nombreux autres signaux avec différents codes orthogonaux, comme illustré dans la (figureI.24)

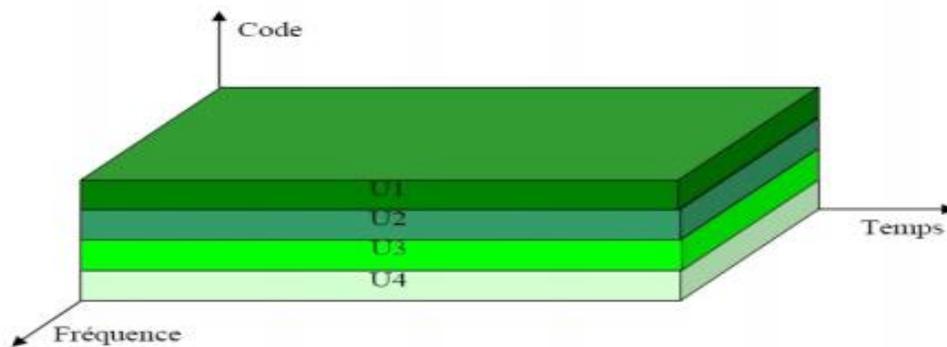


Figure I.24 : L'accès CDMA

I.13.4 L'accès multiple à division de longueur d'onde [25] :

La technologie WDM repose sur le principe du multiplexage optique. Le principe consiste à transporter plusieurs signaux sur un brin de fibre optique. Chaque signal est coloré, c'est-à-dire placé sur une longueur donnée grâce à un transpondeur. Puis via un multiplexeur optique, toutes les longueurs d'onde sont envoyées sur le même brin de fibre optique. A l'autre extrémité, un démultiplexeur va séparer les longueurs d'onde les unes des autres, puis un transpondeur va reconvertir le signal en canal gris.

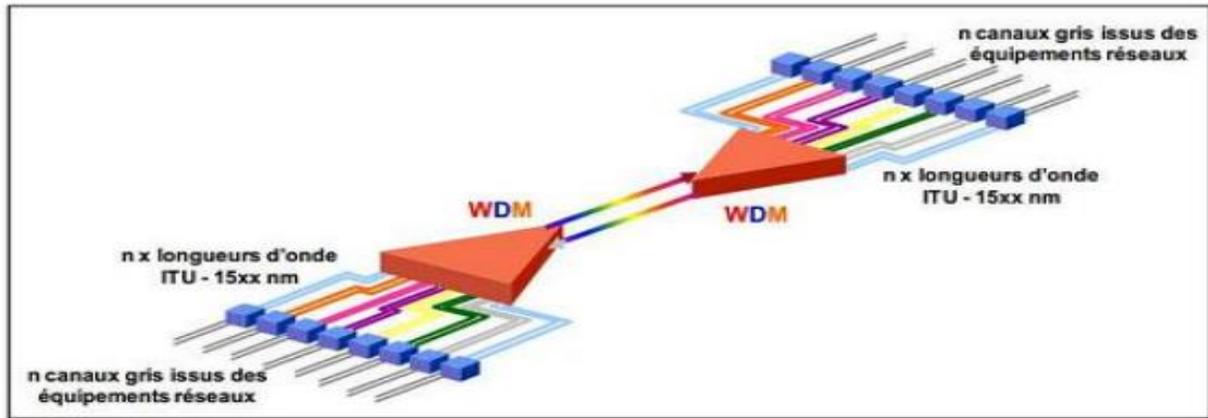


Figure I.25 : Technologie WDM

Les ondes sont ensuite multiplexées par des systèmes optiques passifs. L'avantage de la technique WDM est qu'elle n'est pas tributaire de la vitesse des équipements électroniques. Cependant le nombre de longueurs d'onde qu'une fibre peut transporter est limité : d'une dizaine de longueurs d'ondes il y a quelques années, on est passé à plusieurs centaines aujourd'hui.

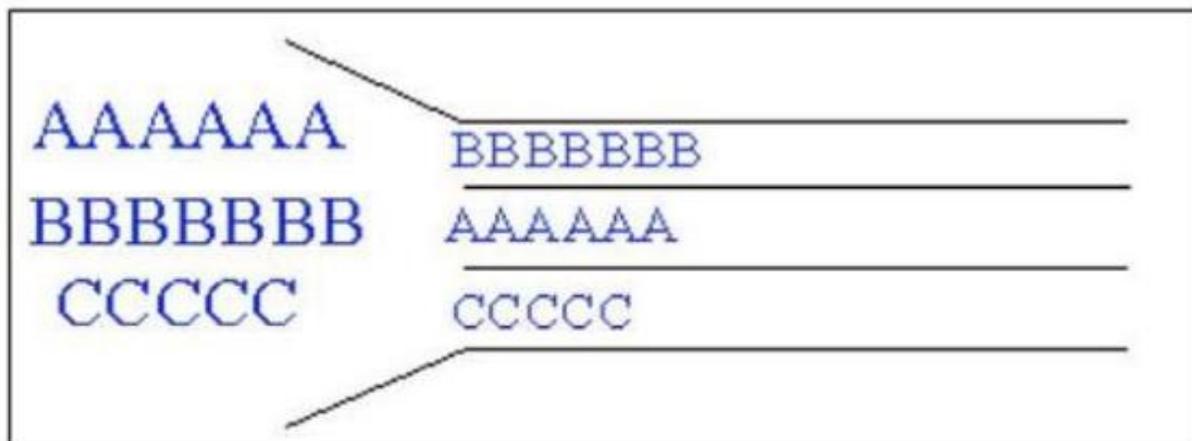


Figure I.26 : Répartition des sous-bandes dans le cas d'un multiplexage WDM.

De plus, en WDM, un seul amplificateur optique se substitue aux N régénérateurs en chaque site de ligne, procurant ainsi une économie d'équipements croissante avec la longueur de liaison et le nombre de canaux [26].

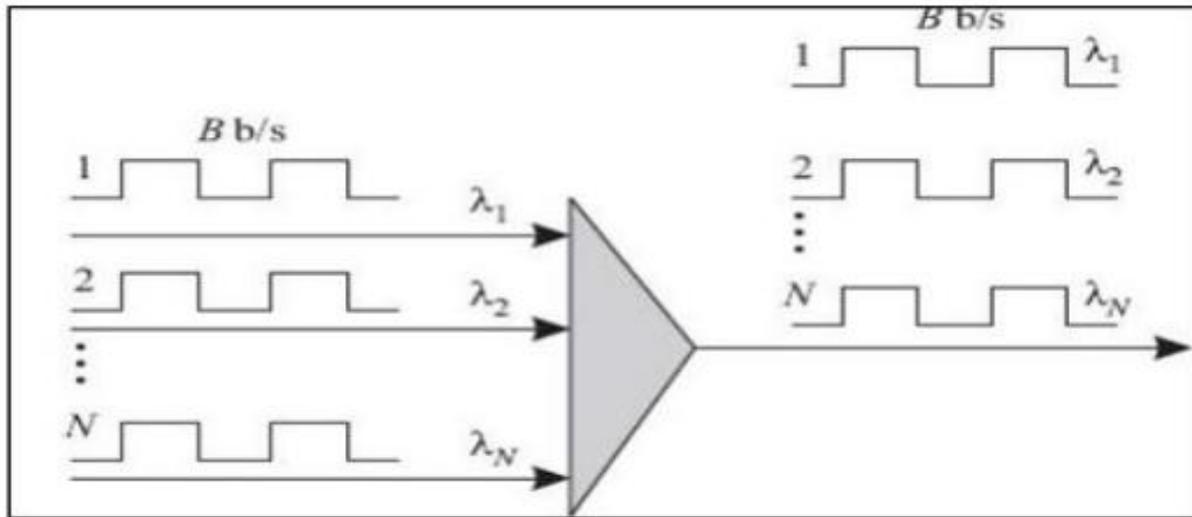


Figure I.27 : La technique de multiplexage WDM

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la chaîne représentative d'une transmission numérique l'intérêt de la modulation dans la transmission d'un signal sur un canal de transmission, une définition sur la modulation on générale avec leurs différents types. à la suite, nous sommes brièvement décrit la technique de multiplexage et leurs trois types on particulier nous intéresse, plus à la technique FDM qui fait une partie importante dans la technique OFDM. Cette dernière va être expliquée dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II :
Etude de La Technique de Transmission
OFDM

II.Introduction

Dans ce chapitre nous avons présenté la chaîne de transmission complète des systèmes OFDM. Pour des applications sans-fils. La première partie de ce chapitre s'intéresse en une bref historique des modulations multiporteuses, nous présentons l'idée maîtresse de l'OFDM qui est l'occupation spectrale optimale grâce au principe d'orthogonalité entre les sous porteuses. Puis on définit la modulation/démodulation OFDM et les principales fonctions des systèmes OFDM seront ensuite succinctement décrites et finalement nous présenterons les principaux avantages et inconvénients des systèmes OFDM.

Les techniques qu'on appelle multi porteuses OFDM consistent à transmettre des données numériques simultanément en les modulant sur un grand nombre de porteuses. Ce sont des techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps. Le regain d'intérêt actuel réside dans l'amélioration apportée pour augmenter l'efficacité spectrale en « orthogonalisant » les porteuses, ce qui permet d'obtenir un meilleur recouvrement spectral. L'implémentation de la modulation et de la démodulation s'effectue à l'aide de circuits performants basée sur la transformée de Fourier rapide (FFT).[4.45]

II.1 Historique de l'OFDM :

Le concept de diviser une bande fréquentielle du signal transmis en un groupe de bandes adjacentes remonte à la fin des années 50 avec la société Collins Radio Co. Kineplex system, sa première utilisation était dans des systèmes de communications hautes fréquences militaires. Quelques années plus tard elle a été améliorée avec l'apparition du concept des signaux orthogonaux à bande limitée, concept que l'on appellera par la suite "Orthogonal Frequency Division Multiplexing" (OFDM). La mise en œuvre de l'OFDM à l'époque consistait à utiliser des filtres de Nyquist [29]. Du fait de la complexité à générer des bancs de filtres de sinusoides, l'OFDM n'a pas tout de suite intéressé les industriels civils. 20 ans plus tard le schéma de modulation-démodulation a été simplifié avec l'utilisation de la Transformée de Fourier Discrète Inverse (TFDI) à l'émission et de la TFD au niveau du récepteur, ce qui rend facile son implémentation numérique. Dans le milieu des années 1980, la technique OFDM a été développée dans les domaines industriels civils tels que le projet de radiodiffusion numérique DAB.

La technique de modulation OFDM est robuste contre la sélectivité en fréquence et au bruit impulsif du canal de propagation ce qui permet d'atteindre des débits élevés. Mais elle nécessite une bonne synchronisation temporelle et fréquentielle ce qui explique son utilisation dans des standards de diffusion

Plusieurs standards ont adopté l'OFDM. Il est utilisé dans le projet européen pour la diffusion de radio numérique (Digital Audio Broadcasting DAB), la diffusion de télévision numérique (Digital Video Broadcasting DVB) et le réseau local sans fil à haut débit (High Performance Radio Local Area Network type 2 HiperLAN2) ou 802.11a, dans la transmission de données sous le nom de Discrete Multi-Tone DMT utilisé dans les xDSL [45]

II.2 La technique OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [28]

Dans la technique OFDM, la bande de fréquence disponible est divisée en plusieurs sous-canaux orthogonaux, porteurs de symboles indépendants. Le signal OFDM est la somme de tous ces symboles de données portés par les sous porteuses. Comme chacune des porteuses occupe une bande très étroite, les distorsions d'amplitude et de retard introduites par le canal sont quasi plates et peuvent être facilement égalisées. Chang a montré dans [29] qu'un certain nombre de porteuses portant chacune un débit b et qui sont espacées en fréquence de $b/2$ pourraient être transmises sans interférences entre symboles (ISI) et entre porteuses (ICI) et que le taux de transmission peut atteindre la limite de Nyquist [30] lorsque le nombre de sous-canaux est très grand.

Saltzberg [31] a analysé les performances des systèmes OFDM et conclut que l'efficacité d'un système OFDM doit s'appuyer sur la réduction de l'interférence entre les porteuses adjacentes. Afin de réaliser simplement le multiplex fréquentiel orthogonal, Saltzberg et Weinstein [32] ont montré que l'utilisation de la transformée de Fourier discrète (Discrete Fourier Transform (DFT)) permet de produire facilement le symbole OFDM porté par N_{sc} de sous-porteuses orthogonales. Par ailleurs, les perturbations du canal de propagation induisent, entre autres, la perte d'orthogonalité entre les sous-porteuses et l'apparition d'interférences entre symboles OFDM, ou ISI, dues aux trajets multiples. Pour éliminer celles-ci, une solution consiste à accroître le nombre N_{sc} de sous-porteuses pour augmenter la durée symbole T_s .

Cependant cette technique se heurte à différentes contraintes technologiques ou environnementales.

L'OFDM 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. Ce chapitre montre comment une telle transmission se fait simplement à partir de transformées de Fourier et comment est obtenue l'orthogonalité entre sous-porteuses. Et Une autre technique consiste à l'insertion d'un intervalle de garde [17] ou préfixe cyclique (CP). Il aborde les avantages, mais aussi les problèmes posés par l'OFDM dans les systèmes radios et les techniques permettant de les compenser.

II.3 Principe [34]

Le principe de l'OFDM consiste à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique que l'on veut 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. Pour que les fréquences des sous-porteuses soient les plus proches possibles et ainsi transmettre le maximum d'information sur une portion de fréquences donnée, l'OFDM utilise des sous-porteuses orthogonales entre elles. Les signaux des différentes sous-porteuses se chevauchent mais grâce à l'orthogonalité n'interfèrent pas entre eux. Comme le montre la (Figure II.1).

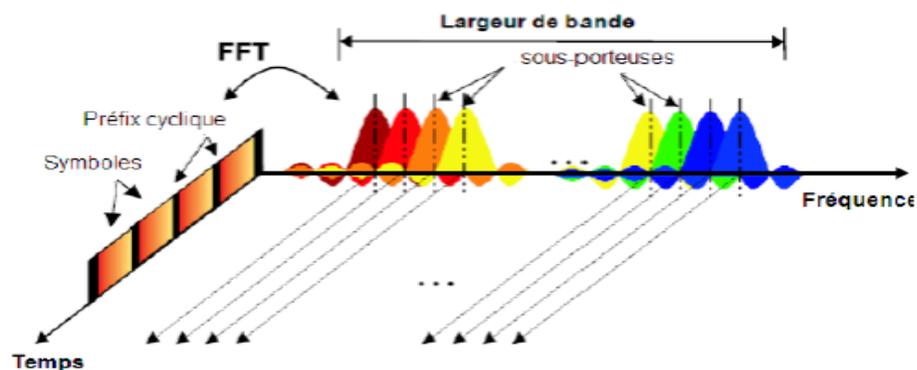


Figure II.1: Interprétation temps-fréquence d'un signal OFDM

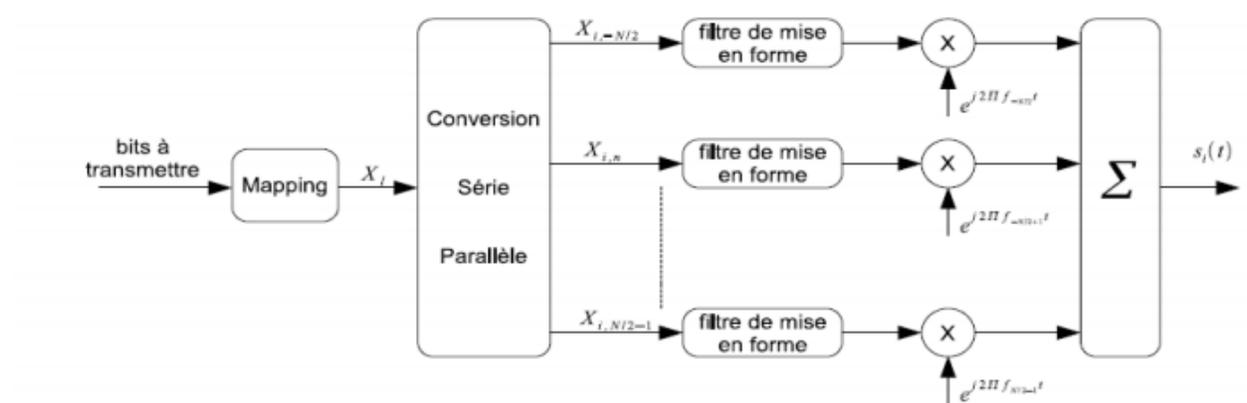


Figure II.2 : Schéma de principe d'un modulateur OFDM.

II.4 Modulation OFDM :

II.4.1 Chaîne de transmission OFDM [28]

La chaîne de transmission dans les systèmes OFDM se divise en deux parties, l'émetteur et le récepteur. A l'émission, les bits de la source binaire sont modulés et génèrent des symboles complexes prenant leurs valeurs dans un alphabet fini correspondant à une modulation numérique donnée comme la modulation d'amplitude en quadrature (Quadrature Amplitude Modulation (QAM)) ou la modulation par sauts de phase (Phase-shift keying (PSK)). On peut augmenter le débit binaire en augmentant le nombre d'états dans une constellation, entraînant une diminution de distance entre les points de la constellation, ce qui accroît la sensibilité du système au bruit. Ces symboles x_k sont répartis sur les N_{sc} sous-porteuses. Les sous-porteuses dans le domaine fréquentiel sont espacées de $\Delta f = \frac{1}{T_s}$

La transformée de Fourier discrète inverse (Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) ou Inverse Discrete Fourier Transform (IDFT)) permet de générer le signal dans le domaine temporel constitué de N_{sc} échantillons. En général, toutes les N_{sc} sous-porteuses sont modulées en utilisant les symboles de données, mais certaines sous-porteuses sont des porteuses pilotes. Les pilotes (Estimation Pilots (EP)) sont connus au niveau des émetteurs et des récepteurs et sont utilisés pour l'estimation du canal. Le nombre de pilotes insérés entre les données dépend du canal et de la précision requise pour l'estimation de canal. Les symboles pilotes peuvent être

répartis sur plusieurs symboles OFDM consécutifs. Après la fonction IDFT, le préfixe cyclique (CP) de longueur T_g est ajouté pour éliminer l'interférence entre symboles tout en gardant l'orthogonalité entre les sous-porteuses. Le symbole OFDM est alors transmis à l'étage radio-fréquence comportant la conversion numérique-analogique et la translation sous fréquence porteuse. La figure II.3 représente le schéma général d'un système de transmission OFDM en bande de base.

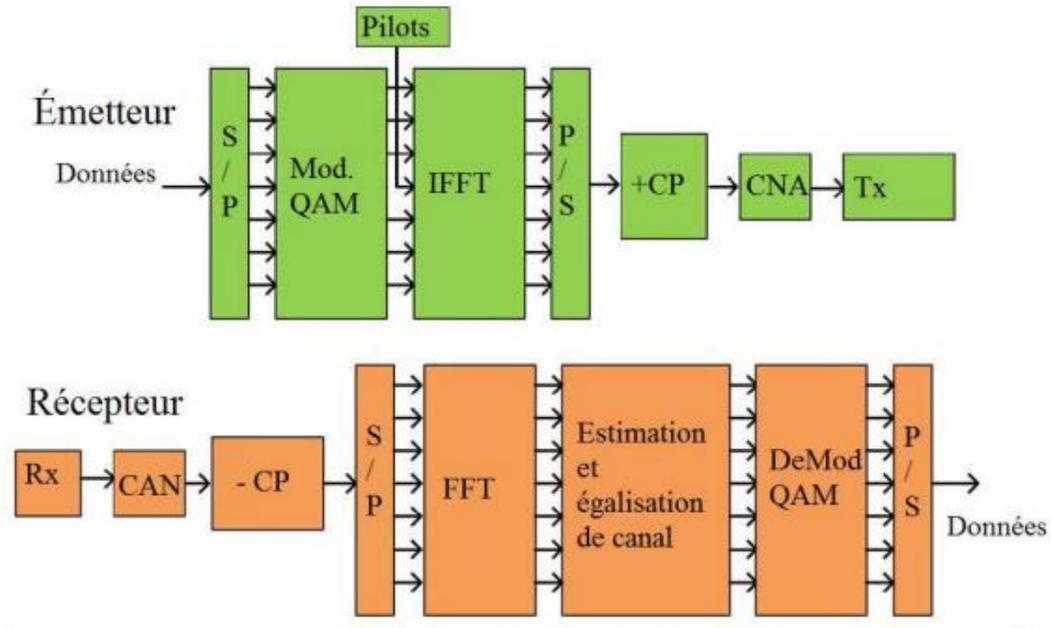


Figure II.3 : Schéma bloc d'un système de transmission OFDM

En réception, le CP qui peut présenter de l'interférence avec des symboles adjacents est enlevé le symbole OFDM est remis au démodulateur. Celui-ci réalise une transformée de Fourier (FFT) qui transpose les symboles OFDM, porteurs de données utiles et/ou de pilotes, du domaine temporel au domaine fréquentiel.

En raison des distorsions induites par le canal de transmission, la correction de celui-ci consiste en une pondération sur chaque sous-porteuse. Les coefficients de pondération sont obtenus grâce aux symboles pilotes, dont la valeur est connue au niveau du récepteur.

Les étapes suivantes décrivent Le principe d'un modulateur OFDM [10] :

- Considérons une séquence de N données s_0, s_1, \dots, s_{N-1} .
- Chaque donnée c_k (nombre complexe) module un signal à la fréquence f_k .
- Le signal individuel s'écrit sous forme complexe : $c_k e^{2j\pi f_k t}$
- Appelons T_s la durée symbole c'est-à-dire le temps qui sépare 2 séquences de N données.
- Le signal $S(t)$ total correspondant à toutes les données d'un symbole OFDM est la somme des signaux individuels :

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi f_k t} \quad (\text{II.1})$$

- Le multiplexage est orthogonal si l'espace entre les fréquences est $1/T_s$, Alors :

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_s} t \quad s(t) = e^{2j\pi f_0 t} \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{2j\pi \frac{kt}{T_s}} \quad (\text{II.2})$$

- $\{f_k\}$ l'ensemble des fréquences porteuses
- représente la durée allouée à un symbole T_s
- N le nombre de sous-porteuses. Après un codage bit/symboles.
- C_k est un ensemble de nombres complexes prenant ses valeurs dans un alphabet fini, correspondant à une modulation donnée .
- les symboles C_k groupé par paquets de N (conversion série/parallèle).

II.4.2 Modulation de chaque sous-porteuse du signal OFDM :

Dans un système OFDM, les bits d'informations pour chaque sous-porteuse sont modulés par la modulation QPSK (Quaternary Phase Shift Keying), ou QAM. On peut augmenter le débit binaire en augmentant le nombre d'états dans une constellation, entraînant une diminution de distance entre les points de la constellation, ce qui accroît la sensibilité du système au bruit.

En général, la constellation de chaque sous-porteuse montre un changement aléatoire d'amplitude et de phase provoqué par l'environnement par trajets multiples. Parmi les modulations utilisées dans un système OFDM, la plus robuste est la modulation QPSK qui Code 2 bits par symbole. [36]

II.4.3 L'Orthogonalité[37.41]

La technique de modulation OFDM autorise un fort recouvrement spectral entre les sous porteuses. Cependant, les porteuses doivent respecter une contrainte d'orthogonalité dans les domaines temporel et fréquentiel au même temps pour un bon fonctionnement. L'orthogonalité se réalise si l'espace entre deux fréquences adjacentes $f_n=1/T_n$. le choix de l'écartement entre les porteuses va influencer sur cette efficacité spectrale.

Plus l'espace entre porteuses est grand, plus nous avons besoin de bande passante pour transmettre un même débit, plus l'efficacité spectrale diminue.

En effet chaque symbole modulé par une porteuse pendant une fenêtre rectangulaire de durée temporelle, sinus cardinal représente son spectre en fréquence.

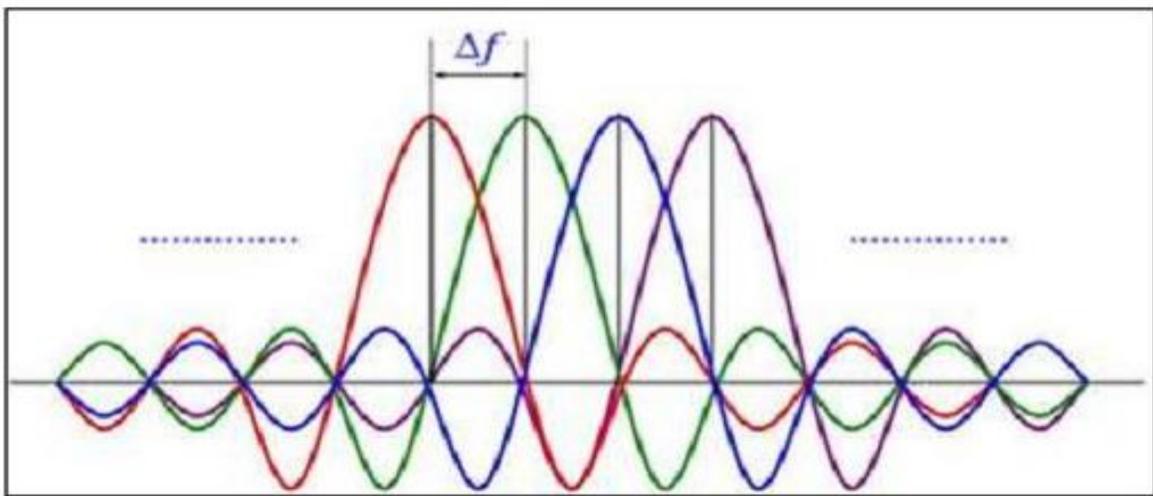


Figure II.4: Spectre en sortie du modulateur OFDM décomposé sur chaque porteuse.

Ainsi, il n'existe pas des interférences avec les autres sous porteuses, c'est ce qui permet recouvrement de spectre des différentes porteuses et une occupation optimale du spectre

En doit choisir le nombre de sous porteuse N a fin qui remplit les deux conditions primordiales $T_s \gg T_m$ afin de pouvoir considérer le canal plat, et $T_s \ll 1/Bd$.

II.4.4 Conversion série en parallèle [41]

Les données à transmettre sont typiquement sous une forme de flux de données périodique. Dans un système OFDM une conversion série en parallèle est nécessaire pour convertir le train binaire périodique en données parallèles.

Les données à transmettre sont typiquement sous une forme de flux de données périodique. Dans un système OFDM une conversion série en parallèle est nécessaire pour convertir le train binaire périodique en données parallèles.

Pour une transmission OFDM dans un environnement radio à trajets multiples la sélectivité fréquentielle des canaux de propagation peut avoir comme conséquence les groupes de sous-porteuses fortement atténués entraînant la dégradation considérable du système. Il convient donc de prendre des mesures préventives avant modulation pour permettre la détection et la correction dans le récepteur de la plupart des erreurs apportées par le canal de transmission. Ces mesures, dont la principale consiste toujours à réintroduire une redondance dans le signal, sont appelées un codage de protection d'erreurs ou F.E.C (Forward Error Correction) et constituent l'essentiel du codage. Pour que le récepteur sache où est le bit altéré, il faut que l'émetteur envoie des informations supplémentaires pour localiser l'erreur. Le signal est ensuite modulé.

La partie du traitement qui concerne la dispersion d'énergie n'est pas à proprement parler destinée à la correction des erreurs, mais elle est spécifiée à l'émission pour uniformiser le spectre RF. Afin d'éviter les longues suites de 0 ou de 1 qui créeraient une raie à forte énergie dans le spectre, le signal doit être rendu quasi aléatoire pour assurer la répartition uniforme de l'énergie dans le canal d'émission. Ceci est obtenu au moyen d'un brouillage des données par une séquence pseudo aléatoire. Pour un décodage correct, le récepteur doit être équipé du même générateur pseudo-aléatoire, qui délivre la même séquence et Qui démarre au même moment.

II.5 Principes et fonctionnement de l'OFDM [42]

Soit $\{f_k\}$ l'ensemble des fréquences porteuses considérées avec

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_u} = f_0 + k \cdot \Delta f, \quad 0 \leq k \leq N - 1 \quad (\text{II.3})$$

Où

T_u représente la durée allouée à un symbole, f_0 est la fréquence porteuse origine, Δf représente l'écart entre deux sous-porteuses consécutives et N le nombre de sous-porteuses. Après un codage bit/symboles des données à transmettre, $\{C_k\}$ est un ensemble de nombres complexes prenant ses valeurs dans un alphabet fini, correspondant à une modulation donnée par exemple modulation de phase ou QAM (Quadrature Amplitude Modulation).

II.6 Principe de la modulation/démodulation OFDM [42]

Le signal résultant $s(t)$ correspondant à l'ensemble des N sous porteuses réassemblés en un symbole OFDM :

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi f_k t}, \quad 0 \leq k \leq N - 1 \quad (\text{II.4})$$

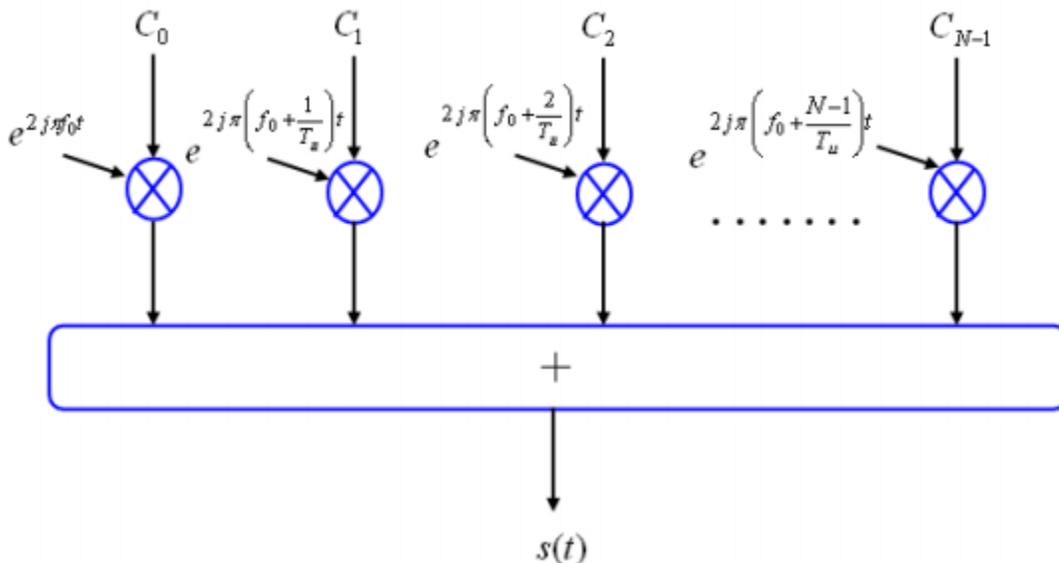


Figure II.5: Réalisation possible d'un modulateur OFDM

La figure II.6 illustre un signal OFDM résultant correspondant à l'ensemble des $N = 5$ sous

porteuses réassemblés en un symbole OFDM :

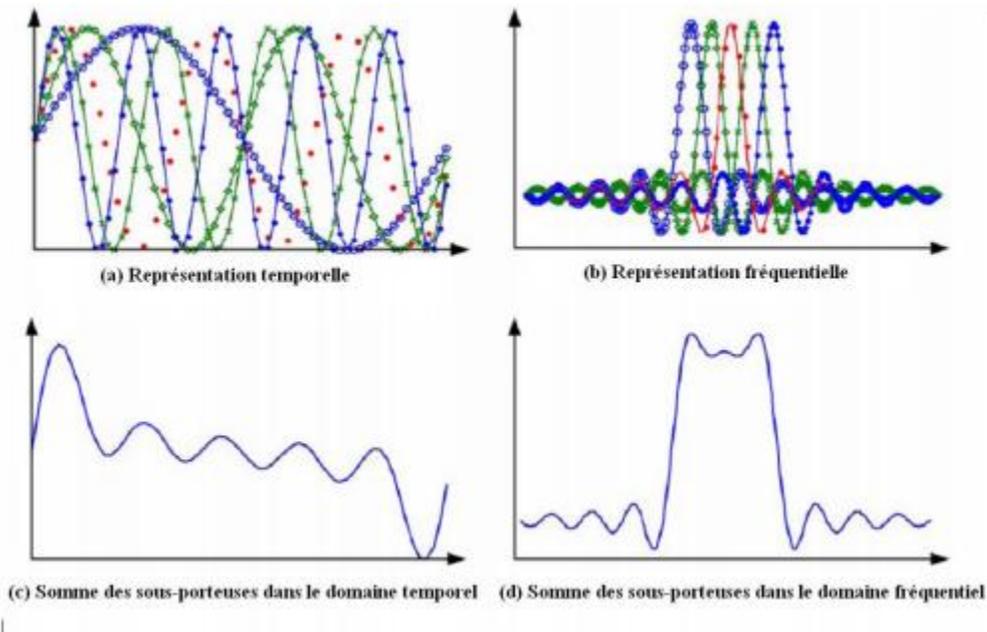


Figure II.6: Construction d'un signal OFDM avec 5 sous-porteuses [43]

Ainsi, lorsque l'échantillonnage est effectué précisément à la fréquence kf d'une sous porteuse, il n'y a aucune interférence avec les autres sous-porteuses. C'est ce qui permet de redécouvrir les spectres des différentes sous porteuses et d'obtenir ainsi une occupation optimale du spectre.

Au récepteur, le signal obtenu s'écrit sur une durée symbole T_s :

$$y(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k H_k(t) e^{j2\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t} \quad (\text{II.5})$$

Où :

$H_k(t)$: est la fonction de transfert du canal autour de la fréquence kf et à l'instant T .

La démodulation classique consisterait à démoduler le signal suivant les N sous-porteuses suivant le schéma classique montré par la figure II.7

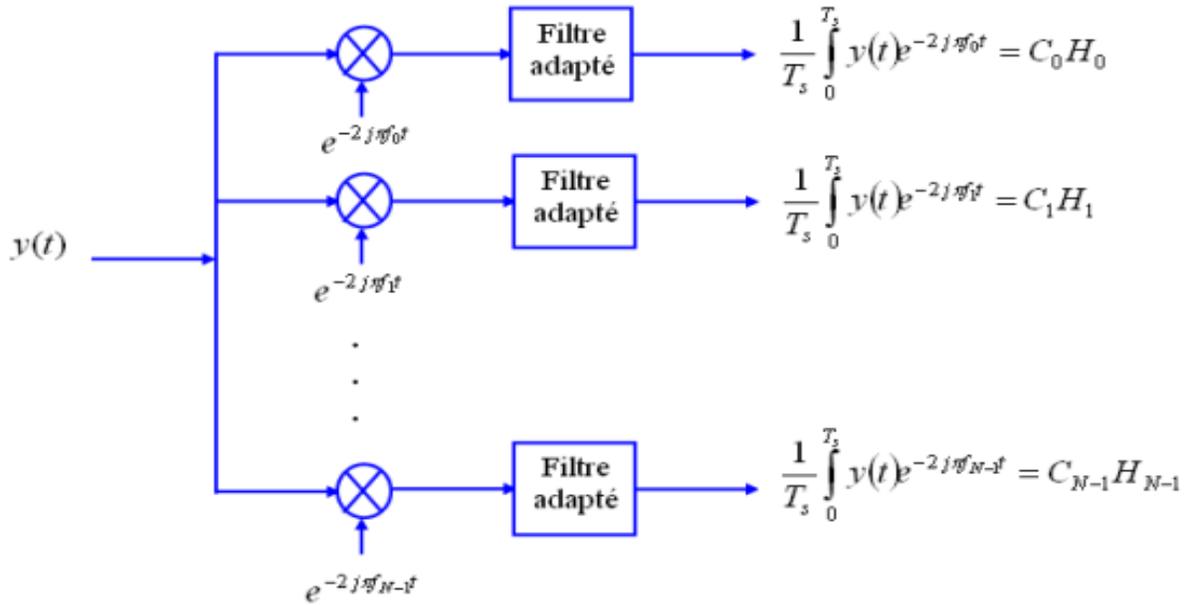


Figure II.7: Schéma de concept d'un démodulateur OFDM

En pratique, comme pour la modulation, on remarque que la démodulation peut être réalisée par une transformée de Fourier.

II.7 Implémentation numérique :

Dans les communications à haut débit, les débits sont limités par des contraintes physiques : Le bruit dû aux imperfections des systèmes et la nature physique des composants affectent la transmission du signal émis.

On réduit dans ce cas les erreurs de transmission en numérisant les informations. De plus l'implémentation numérique offre aussi l'opportunité d'ajouter des codes correcteurs d'erreurs afin de protéger le signal des perturbations engendrées par le canal de transmission.[41]

$$s(t) = e^{2j\pi f_0 t} \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{2j\pi \frac{k t}{T_s}} \quad (\text{II.6})$$

En discrétisant le signal à la sortie du modulateur OFDM et en le ramenant en bande de base pour l'étude numérique on obtient s_n défini par :

$$s_n = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{2j\pi \frac{k n}{N}} \quad (\text{II.7})$$

Les S_n sont donc obtenus par une transformée de Fourier inverse discrète des C_k . En choisissant le nombre de sous-porteuses N tel que $N = 2^n$, le calcul de la transformée de Fourier inverse se simplifie et peut se calculer par une simple IFFT, nous conduisant au schéma numérique suivant :

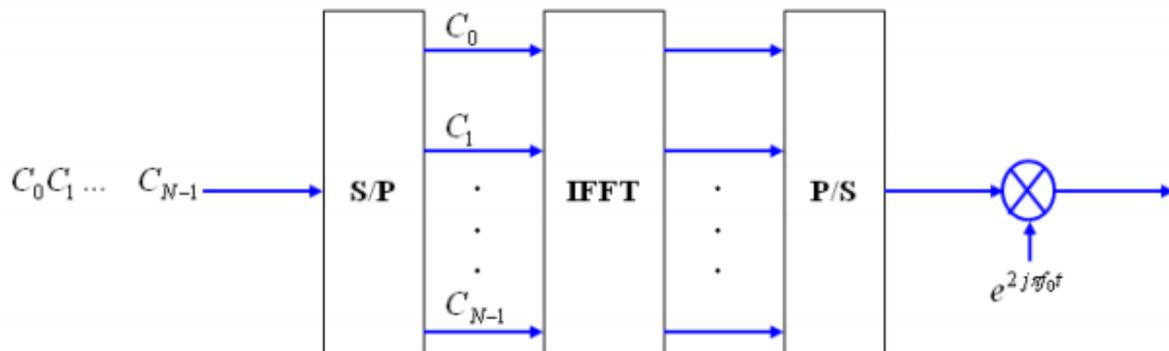


Figure II.8 : la démodulation OFDM numérique

Autrement s'exprimer [4]

Le signal reçu en bande de base après le décalage en fréquence de $f_0+B/2$ s'écrit alors :

$$Z(t) = y(t)e^{-2j\pi\left(f_0+\frac{N}{2T_S}\right)t} = \sum_{K=0}^{N-1} C_k H_k e^{2j\pi\left(\frac{K}{N}\right)t} \quad (\text{II.8})$$

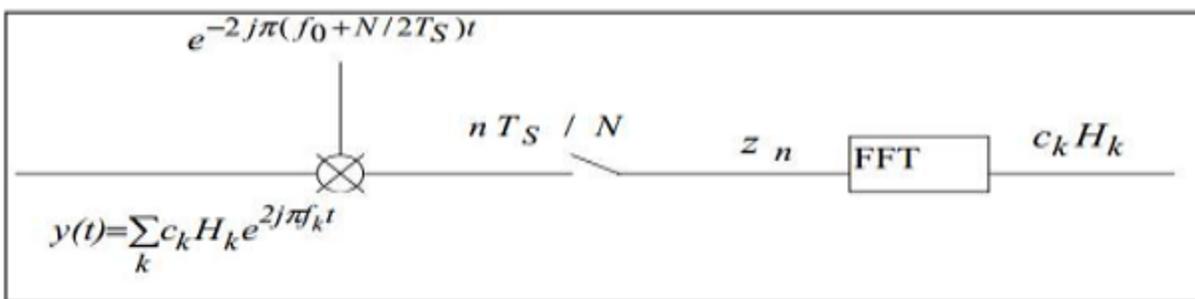


Figure II.9 : Démodulateur utilisant la FFT

II.8 Les Caractéristiques du signal OFDM :

II.8.1 Intervalle de garde [4.42]

Une des raisons importantes pour lesquelles on utilise la modulation OFDM est sa robustesse face aux problèmes de transmission dans un environnement à trajets multiples. Pour éliminer les interférences inter symboles (ISI). Les techniques de modulation classiques transmettant sur de tels canaux sont très sensibles à ce type d'interférences qui sont d'ailleurs d'autant plus importantes que la durée d'un symbole est petite par rapport à l'étalement des retards du canal (Fig.II.10 (a)). En d'autres termes, la fiabilité de la transmission est favorisée si la durée des symboles utiles transmis est grande par rapport à l'étalement maximum des retards du canal (Fig. II.10 (b)). On choisit la durée de l'intervalle de garde de telle sorte qu'elle soit supérieure par rapport à une durée de retard maximal causé par les phénomènes de propagation à trajets multiples et qu'un symbole ne puisse pas interférer avec le prochain symbole. Il existe donc un compromis à trouver entre le débit lié à la durée du symbole et la fiabilité de la liaison liée à l'interférence ISI. Les modulations à porteuses multiples apportent une solution intéressante à l'optimisation de ce compromis

II.7.1 Implémentation numérique de la séquence de modulation :

L'analyse algébrique indique que le signal de sortie $s(t)$ est sous la forme :

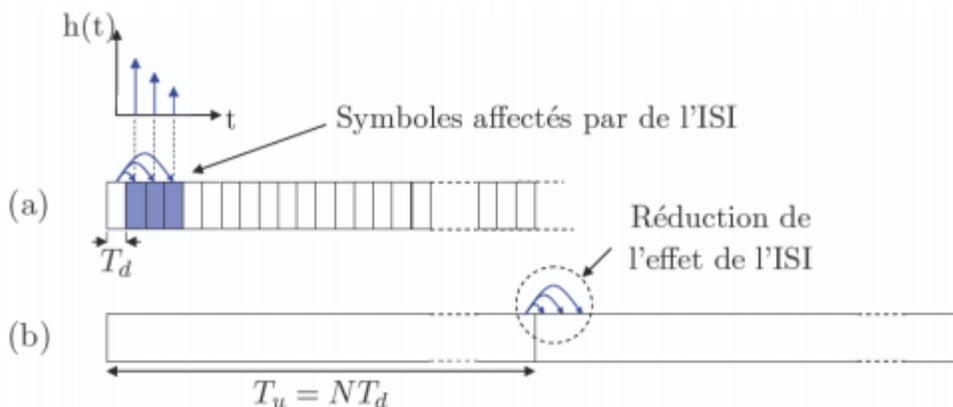


Figure II.10: Effets du canal à trajets multiples sur des symboles reçus dans le cas

(a) mono-porteuse et (b) multi-porteuses [44]

Avec :

T_u : la durée de la partie utile de chaque symbole OFDM qui n'est pas affectée par l'ISI.

$1/T_d$: le débit de la modulation monoporteuse initiale.

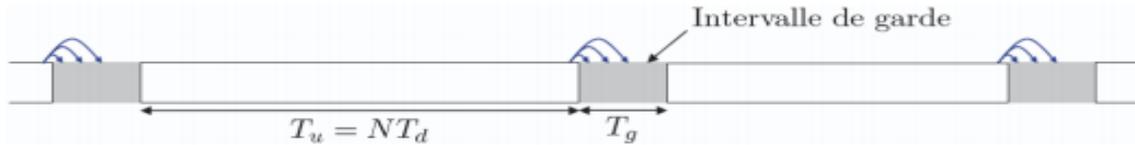


Figure II.11: Effets Illustration de l'effet de l'intervalle de garde précédant chaque symbole OFDM [44]

Avec :

T_g : la durée de l'intervalle de garde.

$T_s = T_u + T_g$: la durée de chaque symbole OFDM

Il y'a Trois types d'intervalle de garde :

❖ La méthode du "Préfixe Cyclique"

Dans le cas des systèmes OFDM avec préfixe cyclique, l'annulation de l'IES est réalisée en ajoutant un intervalle entre chaque symbole OFDM utile à la sortie de l'émetteur. Le préfixe cyclique est une copie de la fin du symbole OFDM qui est placée dans cet intervalle. Pour éliminer complètement les interférences entre symboles, la taille du CP doit être plus grande que le délai maximum (T_{max}) de propagation dans un canal à trajets multiples soit $T_g \geq T_{max}$.

Notons qu'après son insertion, l'espacement entre les sous-porteuses est toujours $\Delta f = 1/T_s$, alors que la durée des symboles OFDM est $T_{tot} = T_s + T_g$, ce qui entraîne la perte d'orthogonalité entre les sous-porteuses. Au niveau du récepteur, la condition d'orthogonalité entre les sous-porteuses sera restaurée si durant la fenêtre rectangulaire de durée T_s , chacune des composantes sinusoïdales du symbole OFDM comprend un nombre entier de périodes même en présence d'un canal dispersif en temps. La suppression de l'intervalle de garde permet de restituer l'orthogonalité entre les sous-porteuses. De plus, l'intervalle de garde est la recopie des

échantillons de fin de symbole OFDM, cet intervalle peut être exploité pour la synchronisation temporelle du signal OFDM. A la réception, le préfixe cyclique est supprimé avant d'effectuer la DFT. On constate que si la durée du préfixe cyclique T_{pc} est supérieure à la dispersion du canal τ_{canal} alors l'IES est complètement supprimée. Le canal de propagation sera modélisé par sa réponse impulsionnelle $h(t)$. Le signal reçu est le signal transmis convolué avec la réponse impulsionnelle du canal auquel se rajoute du bruit. Soit $r(t)$ le signal OFDM reçu, ce signal est présenté dans l'équation II.9 : [28.45]

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(t) &= \mathbf{s}(t) * \mathbf{h}(\tau) + \mathbf{n}(t) & \text{(II.9)} \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{h}(\tau) \mathbf{s}(t - \tau) d\tau + \mathbf{n}(t) \\ &= \int_0^{\tau_{max}} \mathbf{h}(\tau) \mathbf{s}(t - \tau) d\tau + \mathbf{n}(t) \end{aligned}$$

où $\mathbf{n}(t)$ est le bruit blanc additif gaussien (AWGN).

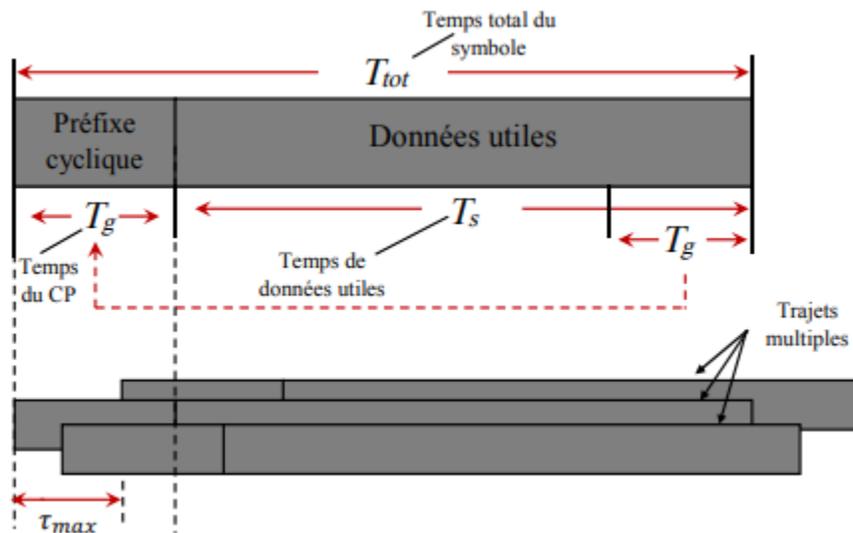


Figure II.12 : Illustration de la protection contre les interférences entre symboles OFDM assurée par le CP

De plus, les symboles OFDM reçus ne sont plus affectés par l'IEC car ils possèdent la propriété de convolution circulaire. La figure 3.3 correspond au cas limite où la durée du préfixe cyclique

est égale à la durée de la réponse impulsionnelle du canal ($T_{pc} = \tau_{canal}$) T_{pc} , T_u et T_{OFDM} correspondent respectivement à la durée du préfixe cyclique, du symbole OFDM utile, et du symbole OFDM complet comprenant le préfixe cyclique. Pendant intervalle de bloc OFDM utile, la forme d'onde est :

$$s(t) = \sum_{K=0}^{N-1} C_K e^{j2\pi f_k t}, 0 \leq t \leq T_u \quad (\text{II.10})$$

Avec :

- C_K se sont les symboles
- $e^{j2\pi f_k t}$ sont les sous-porteuses
- N est le nombre total de sous-porteuses
- $f_K = k/T_u$ est la fréquence médiane du kth sous-porteuse

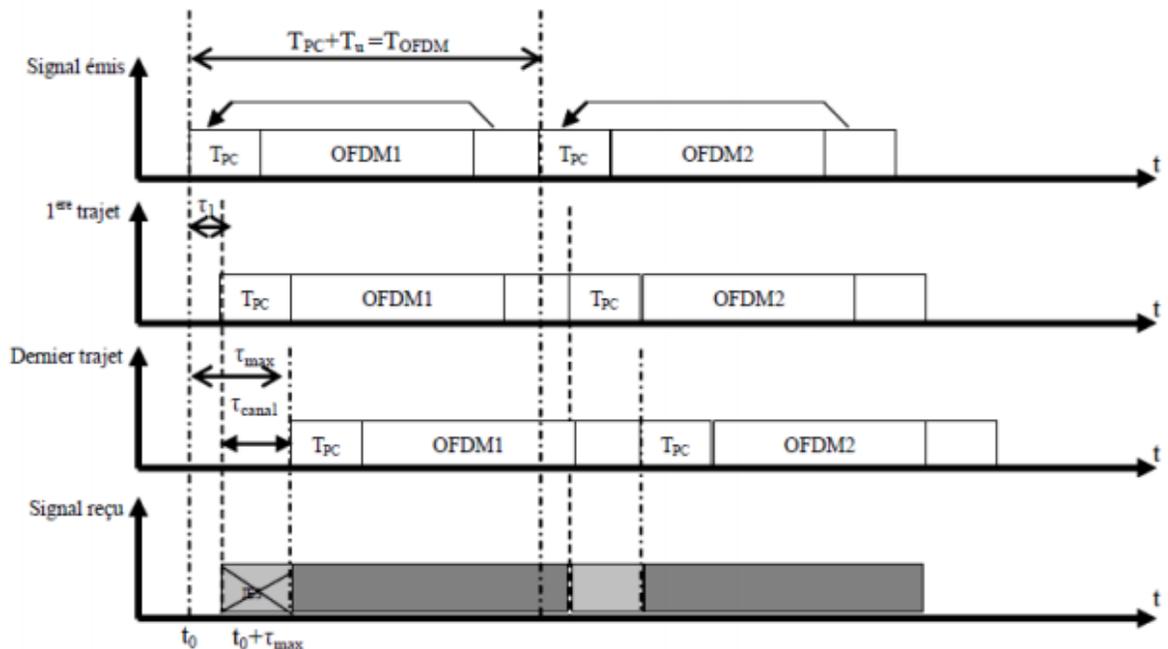


Figure II.13 : Annulation de l'IES et de l'IEC grâce au préfixe cyclique dans le cas d'un canal multitrajet

❖ **Suffixe Cyclique [45]**

Le suffixe cyclique (CS) consiste à étendre le symbole OFDM en copiant le début du symbole et en l'insérant à la fin du symbole OFDM. Le CS est généralement utilisé pour prévenir l'interférence entre la voie montante (Upstream) et la voie descendante (Downstream).

Le CP et le CS peuvent être utilisés ensemble, comme dans le système VDSL, le premier pour prévenir l'IES et le second pour garantir l'orthogonalité entre les signaux Upstream et Downstream .

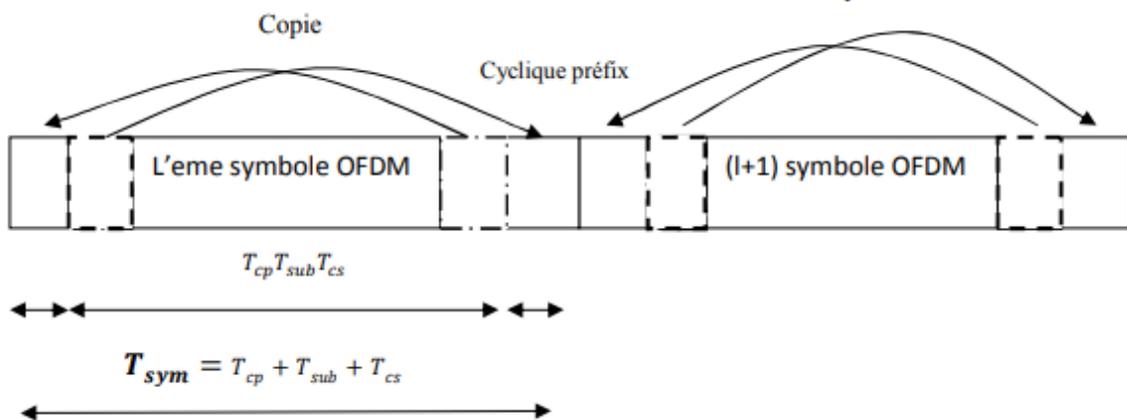


Figure II.14: Symbole OFDM avec CP et CS.

❖ **La méthode du “remplissage par des zéros” :**

Dans le cas des systèmes OFDM avec remplissage par des zéros, l'annulation de l'IES est réalisée en ajoutant à la fin de chaque symbole OFDM des zéros (figure II.15). On constate que si la durée du remplissage par des zéros T_{zp} est supérieure à la dispersion du canal , alors il n'y a pas de phénomène d'IES. Afin de retrouver la propriété de circularité présente avec le préfixe cyclique, et donc de supprimer l'IEC, il a été proposé une méthode qui consiste à couper le remplissage par des zéros ajouté par l'émetteur contenant le reste du symbole OFDM diffusé par le canal et à l'ajouter avec le début du symbole OFDM. Une fois cette opération effectuée, la fin du symbole OFDM reçu correspondant à l'ajout du remplissage par des zéros à la réception peut être supprimée [45.28.3].

Cette approche particulier est adoptée pour la technique multi-bande OFDM (MB-OFDM) dans les systèmes ultra large bande (UWB)[11]. Cependant, même si la longueur du ZP est supérieure au retard maximal du canal, un petit décalage (STO: Shift Time Offset) du symbole OFDM cause une discontinuité dans la fenêtre FFT. C'est pourquoi l'intervalle de garde du symbole OFDM suivant est copié et ajouté au début du symbole OFDM courant pour prévenir l'IES.

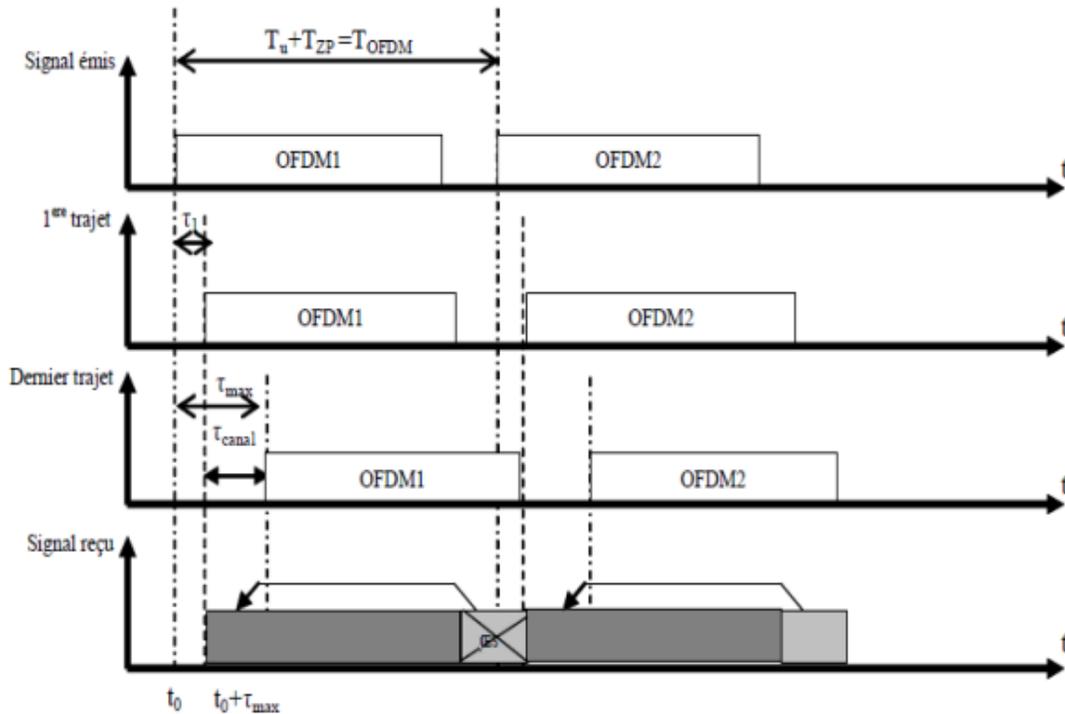


Figure II.15: Annulation de l'IES et de l'IEC grâce au zéro padding dans le cas d'un canal multitrajets.

❖ La méthode du KSP

Où l'intervalle de garde est constitué de symboles pilotes, cette technique d'intervalle de garde peut être utile pour résoudre l'ambiguïté de synchronisation temporelle qui se produit avec d'autres techniques d'intervalle de garde (figure II.16) [47].

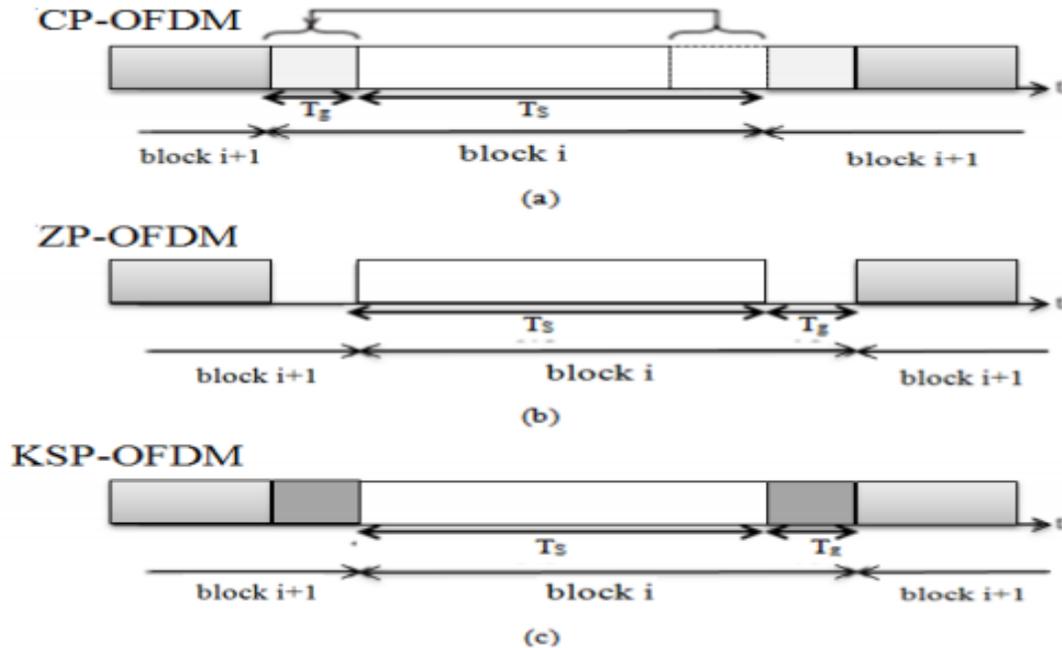


Figure II.16 : Les différents intervalles de garde

II.8.2 Comparaison des méthodes "Préfixe Cyclique" et "remplissage par des zéros"[45]

Les méthodes du préfixe cyclique et du remplissage par des zéros permettent d'avoir les mêmes modèles simples de signaux reçus : le symbole reçu sur chacune des sous porteuses est un simple produit scalaire entre le symbole émis et la réponse en fréquence du canal à la fréquence correspondante. Nous expliciterons dans la suite de ce chapitre la comparaison entre les deux méthodes.

Les organismes de contrôle des télécommunications fixent la Densité Spectrale de Puissance (DSP) émise dans une bande fréquence donnée (en général en dBm/MHz) à ne pas dépasser pour les systèmes de communication sans-fils. La redondance apportée par le préfixe cyclique impose que la DSP du signal OFDM à émettre ait des ondulations pouvant atteindre 1.5 dB. Il est alors nécessaire de prendre 1.5 dB de marge sur la puissance émise afin de respecter les normes. En revanche, le remplissage par des zéros n'apporte aucune redondance temporelle, et la DSP du signal émis est donc plate. La méthode du remplissage par des zéros a l'avantage de s'affranchir de la marge de gain nécessaire dans le cas de la méthode du préfixe cyclique, et permet ainsi de pouvoir émettre plus de puissance à l'émission.

L'apport majeur du remplissage par des zéros par rapport au préfixe cyclique concerne la consommation de l'amplificateur de puissance. En effet, puisque le remplissage par des zéros consiste à ajouter des échantillons de valeur nulle à la fin de chaque symbole OFDM, l'amplificateur de puissance n'a pas besoin d'amplifier de signal pendant cette période-là. La durée du zéro padding vaut typiquement le quart de la durée d'un symbole OFDM utile, le gain en consommation de l'amplificateur de puissance est dans ce cas d'1/5 par rapport aux systèmes avec préfixe cyclique. Cette caractéristique est très importante car la puissance consommée par les émetteurs OFDM est principalement due à la puissance consommée par l'amplificateur de puissance. La méthode du zéro padding semble donc être la plus adaptée pour réaliser des émetteurs/récepteurs hautement intégrés et faibles consommation.

II.8.3 Bande de garde :

Le spectre du signal sur chaque sous porteuse est une fonction sinus cardinal avec une bande de $2/T_{sub}$. La densité spectrale puissance d'un signal OFDM est alors la somme de plusieurs fonctions sinus cardinal décalées. Par conséquent, la puissance hors bande devient significative. Cette puissance provoque l'apparition de l'interférence entre canal adjacents (ACI: Adjacent Channel Interference). Par conséquent, une bande de garde est nécessaire pour réduire l'effet de l'ACI dans un système OFDM. Deux techniques peuvent être utilisées pour réduire la puissance hors bande

Une autre mesure, est l'utilisation des porteuses virtuelles (VC: Virtuel Carriers) qui sont des sous porteuses non utilisées placées aux deux bouts de la bande de transmission. Cependant, l'efficacité spectrale sera réduite de $\frac{N_{used}}{N}$ fois à cause des sous porteuses non utilisées, (N_{used} est le nombre de sous porteuses utilisées pour la transmission).

II.8.4 Interférence entre symboles (ISI) [42]

Plusieurs mécanismes sont donc présents dans une transmission OFDM pour réduire les erreurs. L'intervalle de garde réduit les interférences entre deux symboles OFDM, dues aux trajets multiples. L'intervalle de garde est un délai introduit entre la transmission de deux symboles OFDM consécutifs afin d'absorber l'étalement des retards dus aux trajets multiple,

dont la durée T_g doit être supérieure au retard maximum des signaux issus des trajets indirects. La partie utile de durée T_u de chaque symbole OFDM ne sera alors pas affectée par l'ISI.

Après l'insertion de l'intervalle de garde, l'espacement entre les sous-porteuses reste égal à $\Delta_f = 1/T_u$ alors que la durée des symboles OFDM est augmentée à $T_s = T_u + T_g$ entraînant une perte d'orthogonalité entre les sous-porteuses. Cette orthogonalité peut être restaurée en réception sous réserve que durant le fenêtrage rectangulaire de durée T_u sur laquelle est appliquée la FFT, le nombre de périodes de chacun des signaux sinusoïdaux composant le signal OFDM soit entier.

Il existe deux techniques permettant de restaurer l'orthogonalité entre les sous-porteuses en réception.

La première, appelée (préfixe cyclique : CP-OFDM) consiste à ajouter de la redondance au signal temporel à émettre, on place dans cet intervalle de garde une copie de la fin du symbole OFDM à transmettre et la seconde, appelée (Zero Padding : ZP-OFDM) consiste quant à elle à insérer des échantillons de valeur nulle entre les symboles OFDM

En pratique on choisit pour la taille de cet intervalle de garde une durée de l'ordre du quart de celle d'un symbole OFDM, ce qui représente un bon compromis entre diminution des erreurs et perte de débit utile.

II.8.5 L'interférence entre porteuses (IEP)

Dans les systèmes OFDM, les spectres des sous-porteuses se recouvrent mais demeurent orthogonaux entre eux. Ceci signifie qu'au maximum de chaque spectre de sous-porteuses, tous les spectres des autres sous-porteuses sont nuls. L'interférence entre porteuses (IEP) est causée par la présence des symboles de données d'une sous porteuse sur les sous-porteuses adjacentes

L'IEP se produit aussi quand le canal à trajets multiples change pendant la durée d'un symbole OFDM. Quand ceci se produit, les effets Doppler sur chaque trajet causent un décalage de fréquence, ayant pour résultat la perte d'orthogonalité.[2]

II.8.6 Interférence entre sous porteuses (ICI) [42]

Si le préfixe inséré au début d'une trame OFDM est muet (sans aucun signal), des interférences inter porteuses vont se produire. Pour expliquer ce phénomène, il est beaucoup plus facile de raisonner dans le domaine fréquentiel plutôt que dans le domaine temporel, non échantillonné. Prenons donc l'exemple d'une transmission OFDM à N sous-porteuses à travers un canal à deux trajets, dont le retard du trajet indirect est δ , inférieur à la longueur du préfixe T_g . La durée d'une trame OFDM sans son préfixe est, comme précédemment, notée T_u . Observons sur la figure II.17 les chronogrammes de deux "voies" particulières, correspondant aux sous-porteuses de fréquences respectives f_k et f_{k+1} .

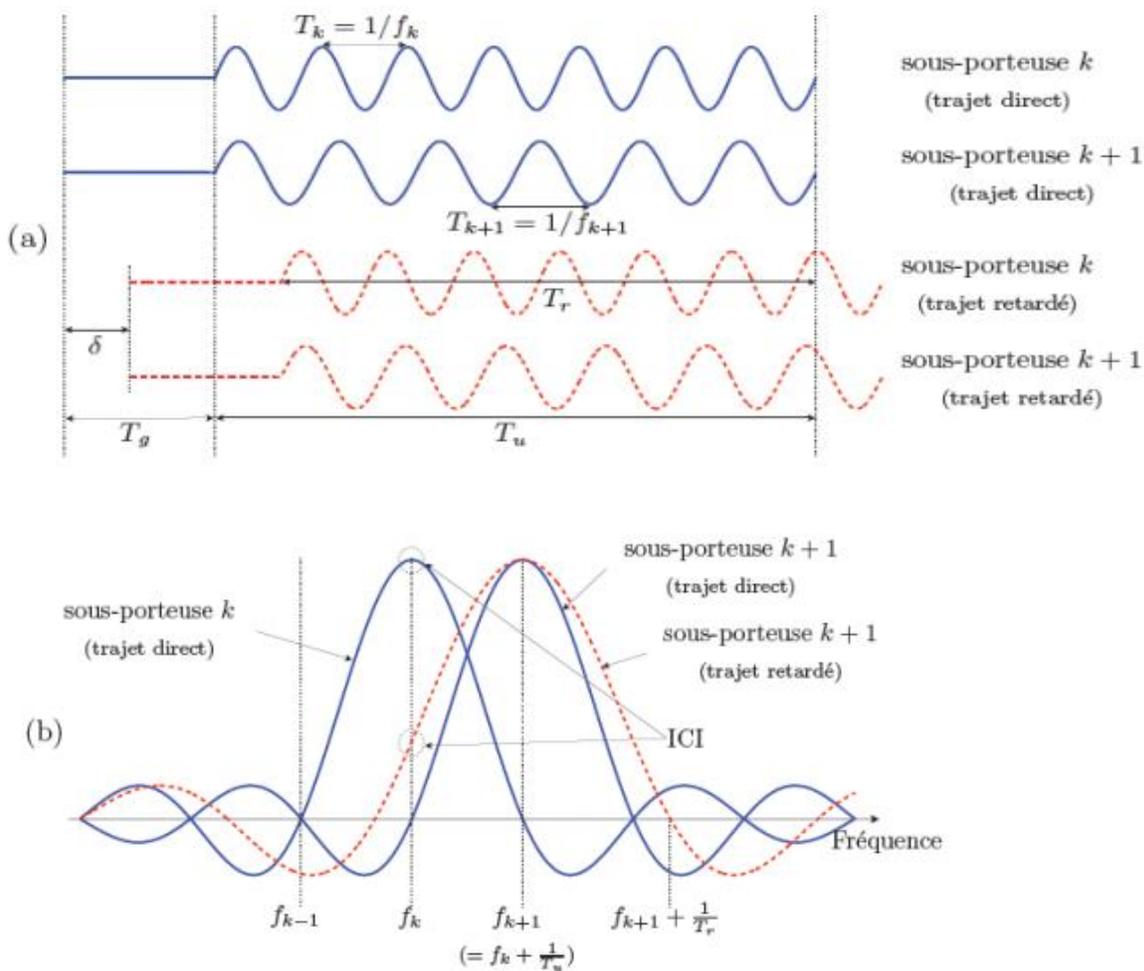


Figure II.17 : Interférence inter-porteuse (ICI) en OFDM dans les domaines :

(a) temporel et (b) fréquentiel dans le cas d'un canal à deux trajets [44, 48]

II.8.7 Synchronisation en OFDM

dans un système OFDM Les erreurs de synchronisation présentées par la figure II.18, dues aux décalages en temps et en fréquence entre le signal reçu à l'entrée du récepteur et les horloges et oscillateurs locaux en réception.[42]

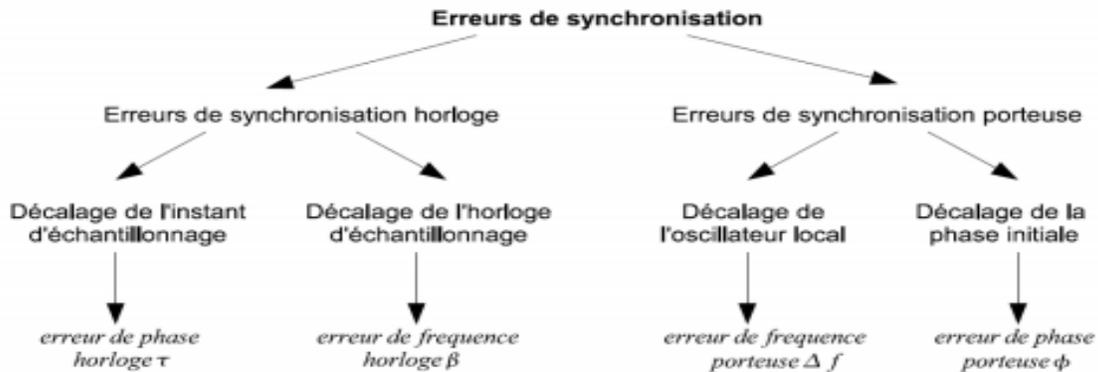


Figure II.18 : Sources d'erreurs de synchronisation [49]

Ces erreurs de synchronisation perturbent le signal reçu et conduisent à des dégradations plus ou moins importantes des performances des systèmes. Afin de corriger ces erreurs plusieurs algorithmes desynchronisation sont proposés dans la littérature tel que :

- Algorithmes exploitant l'intervalle de garde.
- Algorithmes utilisant des symboles pilotes.
- Algorithmes de type aveugle.

II.9 PAPR: Peak-to-Average Power Ratio

Le fait que le signal OFDM temporel soit une somme de N sous-porteuses implique que les variations de l'amplitude de ce signal peuvent être très grandes. Une propriété importante du signal OFDM est qu'il a une large dynamique. Cette forte fluctuation d'enveloppe qui est caractérisée par un "facteur de crête" élevé. Le "facteur de crête" est la racine carrée du PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) qui est l'appellation couramment utilisée dans la littérature. Cette caractéristique (PAPR élevé) rend les signaux OFDM très sensibles aux non-linéarités des composants analogiques, en particulier celles de l'amplificateur de puissance . Le PAPR est

défini comme étant le rapport de la puissance crête (ou puissance instantanée maximale) d'un signal sur la puissance moyenne de ce signal [42.50].

$$PAPR = \frac{\text{MAX}_{0(t,T_s)} |S(t)|^2}{\text{mean}_{0(t,T_s)} |S(t)|^2}$$

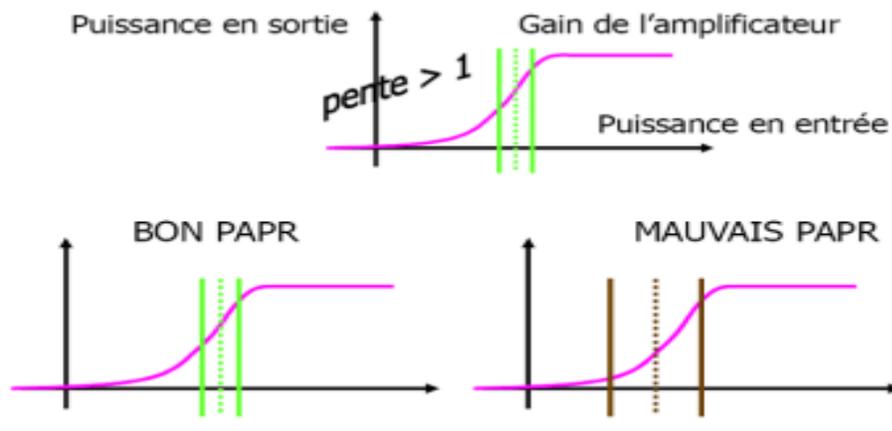


Figure II.19 : Le PAPR et le gain d'amplification

- avant saturation pour avoir le meilleur gain, Plus le PAPR est grand, plus le gain moyen de l'ampli diminue.

L'entrelacement (ou interleaving) est une solution efficace au problème de PAPR, elle consiste à mélanger les données de façon à ce que toutes les sous-porteuses transmettent la même puissance tout le temps.

II.10 L'égaliseur ZF :

Il est clair que l'égalisation dans les systèmes OFDM est très simple. C'est l'un des avantages principaux de l'utilisation de l'OFDM au lieu des systèmes à simple porteuse. L'égalisation de canal dans les systèmes OFDM peut être faite par juste une simple division dans le domaine fréquentiel.

Dans l'OFDM, tant que le préfixe cyclique demeure assez long par rapport à la réponse impulsionnelle du canal pour maintenir l'orthogonalité entre les sous-porteuses, l'égalisation peut être réalisée simplement par l'égaliseur ZF. L'égaliseur ZF minimise la distorsion maximale entre les symboles à la sortie de l'égaliseur [2]

II.11 Les pilotes [27]

Les pilotes sont utilisés dans les systèmes OFDM pour estimer le canal radio. Ils peuvent être classés, selon leurs arrangements, en trois catégories :

II.11.1 Les pilotes en bloc

Dans le cas des pilotes en bloc la transmission des symboles OFDM sera sur toutes les sous – porteuses de façon périodique .Ce type de pilote est utile dans le cas d’un canal sélectif en fréquence .cependant, dans le cas d’un canal qui varie rapidement dans le temps, ce type de pilotes perd son efficacité. La figure II.20 illustre l’envoi des pilotes en bloc.

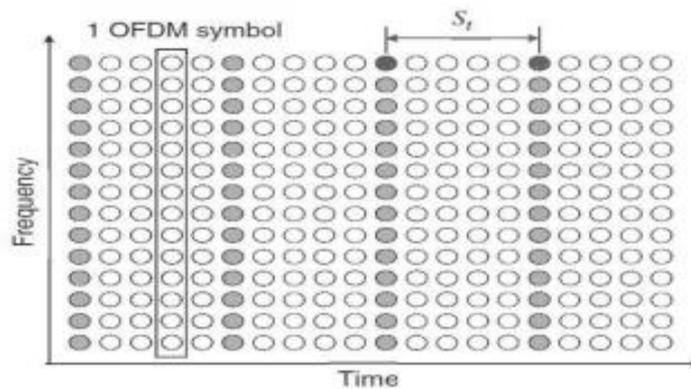


Figure II.20 : Pilotes en bloc .

II.11.2 Les pilotes en peigne

Dans ce cas, sur chaque symbole OFDM transmis un nombre fixe de pilotes est envoyé. Les pilotes sont insérés entre les sous-porteuses avec une certaine périodicité. Contrairement au type de pilotes en bloc, ce type de pilote convient plus dans le cas d'un canal à variation rapide dans le temps et perd son efficacité dans le cas d'un canal sélectif en fréquence. La figure II.21 illustre le type de pilote en peigne.

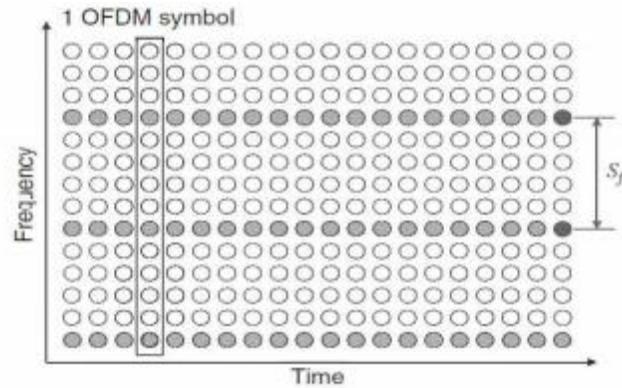


Figure II.21 : Pilotes en peigne

II.11.3 Les pilotes en treillis

Dans ce cas, les pilotes sont insérés dans le domaine temporel et dans le domaine fréquentiel. Ceci permet de suivre les variations du canal dans les deux domaines. La figure II.22 illustre le cas du type de pilotes en treillis.

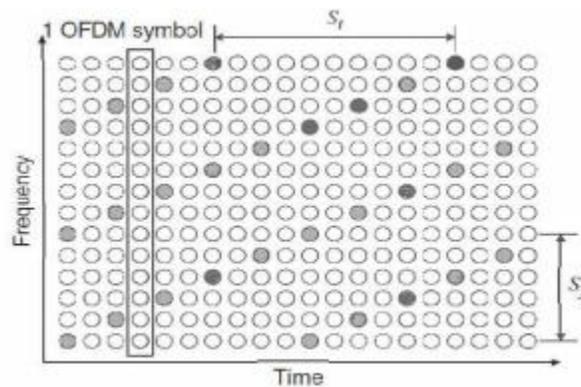


Figure II.22 : Pilotes en treillis

Ce type de pilote est utile dans le cas d'un canal sélectif en fréquence et variant dans le temps. Ceci reste valable tant que, la période d'insertion des pilotes dans le temps est inférieure ou égale au temps de cohérence. De même, la période d'insertion des pilotes dans le domaine fréquentielle devrait être inférieure ou égale à la bande de cohérence.[27]

II.12 Les différents types de technique OFDM [4]

V-OFDM (Vector -OFDM) :

- Développé par CISCO.
- Emploie la fréquence et la diversité spatiale.
- Réduit le coût de provisionnement et le déploiement des infrastructures.
- Augmente la couverture de l'abonné
- Crée une technique de traitement robuste pour trajets multiples et les interférences à bande étroite.

W-OFDM (Wideband OFDM) :

- Grand écart entre les transporteurs.
- Inventé par Wi-LAN.

MIMO-OFDM (Multiple Inputs, Multiple Outputs-OFDM)

- Utilise plusieurs antennes pour transmettre et recevoir des signaux radio.
- multiplexage spatial.

C-OFDM (Coded - OFDM)

- C-OFDM consiste en l'ajout d'un code correcteur d'erreurs en amont du modulateur OFDM, offre un réel avantage en la présence de signaux d'interférence à bande étroite isolées

Flash-OFDM

- La technologie à étalement de spectre large bande.
- Évite les compromis inhérents à d'autres systèmes de données mobiles.
- Capacité de contourner les signaux parasites.

II.13 Avantages et inconvénients de l'OFDM

OFDM a été utilisé dans de nombreux systèmes sans fil haut débit en raison des nombreux avantages qu'elle offre.

II.13 .1 Les avantages [2.4.281

Les avantages de l'OFDM sont nombreux :

- ❖ **L'immunité à la décoloration sélective :** l'un des principaux avantages de l'OFDM est qui est plus résistant à la décoloration à fréquence sélective que les systèmes opérateur unique parce qu'elle divise le canal global en plusieurs signaux à bande étroite qui sont affectés individuellement comme plate fading sous-canaux.
- ❖ **Résistance aux interférences :** interférence apparaissant sur un canal peut être limitée de la bande passante et de cette façon n'affecteront pas toutes les sous-chaînes. Cela signifie que toutes les données sont perdues.
- ❖ **L'efficacité du spectre :** un important avantage OFDM est qu'elle permet d'utiliser efficacement le spectre disponible.
- ❖ **La technique OFDM** dispose d'une très grande flexibilité tant dans l'allocation de bits par sous-porteuse que dans l'allocation de débit dans un contexte multi-utilisateurs.

- ❖ **Utilisation optimale de la bande passante,** en comparaison avec le multiplexage fréquentiel classique. Ceci est dû à l'orthogonalité entre les porteuses qui leur permet de se chevaucher sans interférer entre elles.
- ❖ **La modulation** est basée sur un algorithme bien connu et peu complexe : la FFT
- ❖ **Résistant à l'ISI :** Un autre avantage de l'OFDM est qu'il est très résistant à l'inter-symbole du au retard de propagation multi trajets et interférences inter-images. Cela résulte du faible taux de données sur chacun des sous-canaux. Résistantes aux effets à bande étroite : en utilisant l'entrelacement et codage de canal adéquat, il est possible de recouvrer des symboles perdues en raison de la sélectivité du canal et de l'interférence à bande étroite cela peuvent être évitées à l'émission et corrigées en réception . Pas toutes les données ne sont perdues.
- ❖ **Les canaux** deviennent non sélectifs en fréquence, car on divise la bande passante du signal OFDM en plusieurs sous-bandes de largeur petite et donc la réponse du canal est considérée plate sur chaque sous-bande [21].
- ❖ **L'égalisation du canal plus simple:** l'un des problèmes avec les systèmes CDMA était la complexité de l'égalisation du canal qui de varient être appliqués dans l'ensemble du

canal. Un avantage de l'OFDM est que le recours à de multiples sous-canaux, l'égalisation du canal devient plus simple grâce à l'ajout du "préfixe cyclique" ou du "remplissage par des zéros", même en présence de canaux multi trajets. La bande passante de chaque sous-porteuses est petite devant la totalité de la bande passante du signal OFDM. Nous pouvons, alors, considérer que la réponse fréquentielle du canal de transmission est plate au niveau de chaque sous-porteuse

II.13 .2 Les inconvénient [9]

Le système utilisant la technique d'OFDM n'est pas parfait, il a des inconvénients qu'il faut prendre en considération en faisant la conception et surtout au niveau de sa mise en œuvre matérielle. Ces problèmes limitent la simplicité et l'efficacité de la technique de modulation OFDM.

- ❖ **Problèmes du facteur de crête** : l'enveloppe du signal OFDM présente de grands pics ce qui sature rapidement l'amplificateur de puissance.
- ❖ **Problèmes de synchronisation** : le processus de démodulation, et en particulier l'opération de décodage, nécessite une synchronisation très précise. On doit être capable de trouver l'instant du début et la fin de chaque symbole OFDM, et la fréquence du récepteur doit être synchronisée avec celle de l'émetteur. Les systèmes OFDM sont sensibles aux erreurs de synchronisation. Les sources et les conséquences de ces erreurs peuvent être classées comme suit :
 - Décalage en phase et en fréquence entre la porteuse générée par l'oscillateur local et celle du signal reçu. Ceci cause des interférences entre porteuses (ICI), des atténuations et des déphasages du signal utile.
 - Décalage entre l'instant et la période d'échantillonnage considérés par l'horloge du récepteur et ceux du signal reçu. Ceci engendre des ISI.

II.14 Les mesures de performances dans les systèmes de communications

Les performances d'une transmission numérique dépend de la fidélité avec laquelle les message transmis sont restitués au destinataire. Lorsque le signal émis est analogique, la première mesure de performance est le rapport signal sur bruit SNR. Cependant en communication numérique cette mesure de performance s'avère insuffisante en outre plusieurs mesures de performances

peuvent être utilisées. Ces mesures de performance permettent d'évaluer la qualité de la transmission. Dans ce qui suit, on cite quelques critères de performances couramment utilisés en communications numériques.[9]

II.14.1 Le rapport signal sur bruit [9]

Le rapport signal sur bruit, plus connu sous l'acronyme SNR pour Signal to Noise Ratio, est la mesure de performance la plus répandue dans les systèmes de communication. Il permet de mesurer la contribution du bruit

$$SNR = \left(\frac{P_{signal}}{P_{bruit}} \right) = \left(\frac{A_{signal}}{A_{bruit}} \right)^2 \quad (II.11)$$

SNR en décibel (dB) est donné par :

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{bruit}} \right) \quad (II.12)$$

$$SNR_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{A_{signal}}{A_{bruit}} \right) \quad (II.13)$$

PS : Puissance du signal en W.

PN : Puissance de bruit en W

II.14.2 L'erreur quadratique moyenne

L'erreur quadratique moyenne, plus connu sous l'acronyme MSE (Mean Square Error) permet de mesurer la moyenne du carré de l'erreur entre le signal émis et le signal estimé.

II.14.3 La probabilité d'erreur [9]

La probabilité d'erreur constitue l'un des paramètres de qualité en communication numérique. Elle est définie par élément binaire, elle exprime la probabilité de prendre une décision erronée sur un élément binaire. Cette probabilité n'est jamais strictement nulle, mais cela ne signifie pas pour autant que la qualité de transmission est mauvaise; en effet il suffit qu'elle prenne une valeur suffisamment faible pour satisfaire un certain critère de fidélité. La probabilité d'erreur est notée P_e , elle est exprimée en fonction du rapport E_b/N_0 , pour une transmission binaire telle que la BPSK cette probabilité est donnée par :

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \quad (\text{II.14})$$

E_b : est l'énergie du signal reçu, N_0 est la densité spectrale du bruit.

$\operatorname{erfc}(X)$: est la fonction complémentaire telle que : $\operatorname{erfc}(X) = 1 - \operatorname{erf}(X)$

$$\operatorname{erfc}(X) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^X \exp(-u^2) du \quad (\text{II.15})$$

$$\operatorname{erfc}(X) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_X^\infty \exp(-u^2) du \quad (\text{II.16})$$

II.14.4 Le taux d'erreur par bit :

Il est à noter que la probabilité d'erreur (P_e) est une valeur théorique dont une bonne estimation non biaisée au sens statistique est réalisée par la mesure du taux d'erreur par bit BER (Bite Error Rate).

Ce dernier est le rapport entre le nombre d'éléments binaires erronés et le nombre d'éléments binaires transmis. On notera que le BER tend vers P_e si le nombre de bits transmis tend vers l'infini [9]

II.15 OFDMA (OFD-MULTIPLE ACCESS) [4]

OFDMA est une technique qui dérive de l'OFDM en utilisant le même principe de division de la bande passante en plusieurs sous- porteuses.

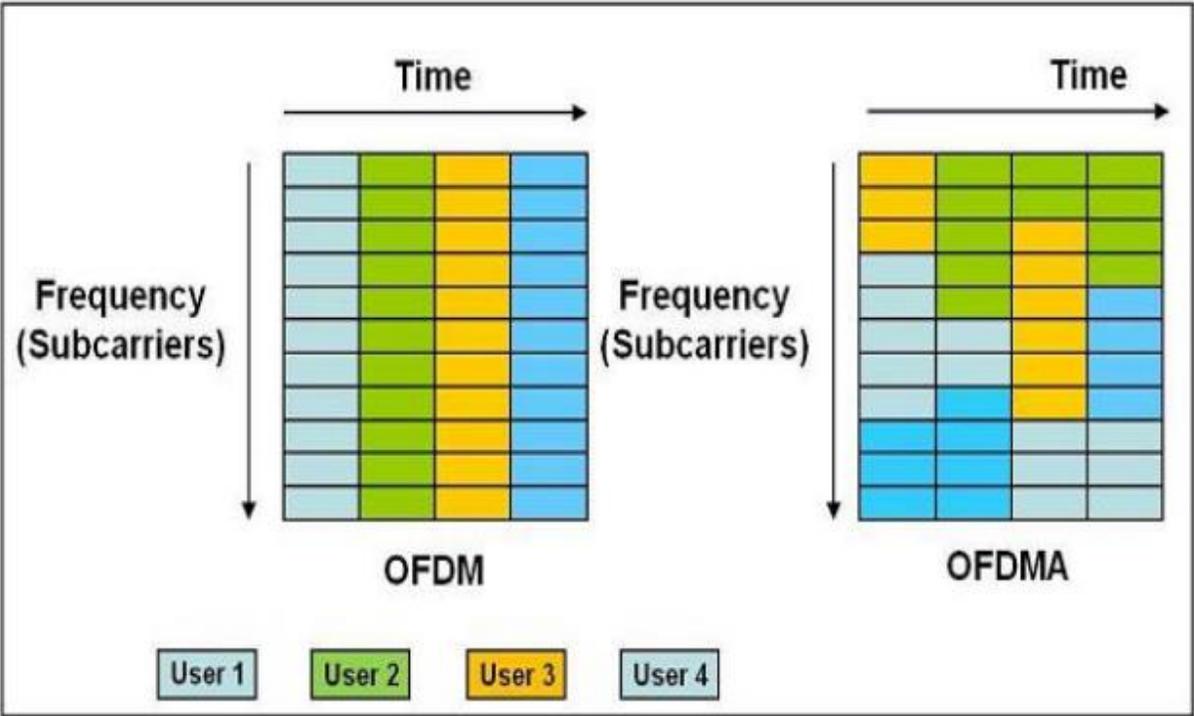


Figure II.23: Différence entre OFDM et OFDMA.

La différence entre l'OFDM et l'OFDMA c'est que la première sert à un usager dans un intervalle de temps, par contre OFDMA elle peut servir plusieurs usagers dans un même intervalle de temps, comme montré dans la figure ci-dessus.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit brièvement la manière dont le signal OFDM est modulé/démodulé numériquement. Nous avons décrit de quelle manière les systèmes OFDM permettent une occupation spectrale optimale grâce au principe d'orthogonalité entre sous porteuses.

L'orthogonalité et la modulation/démodulation OFDM est très facilement réalisable grâce à la mise en œuvre de la transformée de Fourier discrète. Nous avons vu qu'une réalisation en terme de la transformée de Fourier permet de surpasser les difficultés liées à la mise en œuvre des systèmes à porteuses multiples. Plusieurs mécanismes sont donc présents dans une transmission OFDM. L'intervalle de garde réduit les interférences entre symboles dus aux trajets multiples.

Chapitre III :
Data mining

III.Introduction

L'extraction de connaissances dans les bases de données, également appelé data mining est défini comme un ensemble des techniques et de méthodes du domaine des statistiques, des mathématiques et de l'informatique permettant l'extraction des données identifie des tendances dans vos données grâce à diverses techniques prédictives, à partir d'un important volume de données brutes, de connaissances originales auparavant inconnues. Il s'agit de "fouilles » visant à découvrir "de l'information cachée" que les données renferment et que l'on découvre à la recherche d'associations, malgré leur quantité qui augmente d'une façon exponentielle.

On peut dire que le Data mining comble l'écart entre les statistiques appliquées et l'intelligence artificielle de gestion de bases de données.

Grace au data mining, les organisations obtiennent des informations pertinentes sur les conditions externes, les processus internes, les marchés et les clients. Vous bénéficiez également de fonctionnalités prédictives utiles pour la planification stratégique ainsi que pour les interactions quotidiennes

Les recherches en ce domaine sont motivées par la croissance très rapide des volumes de données stockées et le potentiel de telles informations pour l'aide à la décision dans de nombreux domaines. [1.2.3]

III.1 Historique

L'expression data mining est apparu vers le début des années 1960, , a cette époque les ordinateurs étaient de plus en plus utilisés pour toutes sortes de calculs qui n'était pas envisageable d'effecteur manuellement jusque là.

Certains chercheurs ont commencé à traiter sans a priori statique les tableaux de données relatifs à des enquêtes ou des expériences dont ils disposaient. Comme ils constataient que les résultats obtenus lois d'être aberrants, étaient tout au contraire prometteurs, ils furent incités à systématiser cette approche opportuniste, les statisticiens officiels considéraient toutefois cette démarche peu scientifique et utilisèrent alors les termes data mining ou data fishing pour les critiquer.

Cette attitude opportuniste face aux données coïncida en France avec la diffusion dans le grand public de l'analyse de données dont les promoteurs, comme JeanPaul Benzecri, ont également du subir dans les premiers temps les critiques venant des membres de la communauté des statisticiens, le succès de cette démarche empirique ne s'est pas démenti malgré tout.

vers la fin des années 1980, L'analyses des données s'est développée et sont intérêt grandissait en même temps que la taille des bases de données, des chercheurs en base de données, tel que Rakesh Agrawal ont commencé à travailler sur l'exploitation de contenu des bases de données volumineuses, comme par exemple celles des tickets .[3]

III.2. Ils existent d'autres définitions :

- Le Data mining est l'analyse de grandes ensembles de données observationnelles pour découvrir des nouvelles relations entre elles et de les reformuler afin de les rendre plus utilisables de la part de ses propriétaires [6].
- Le Data mining est un domaine interdisciplinaire utilisant dans le même temps des techniques d'apprentissage automatiques, de reconnaissance des formes, des statistiques, des bases de données et de visualisation pour déterminer les manières d'extraction des informations de très grandes bases de données [8].
- Le Data Mining est un processus inductif, itératif et interactif dont l'objectif est la découverte de modèles de données valides, nouveaux, utiles et compréhensibles dans de larges Bases de Données [9].

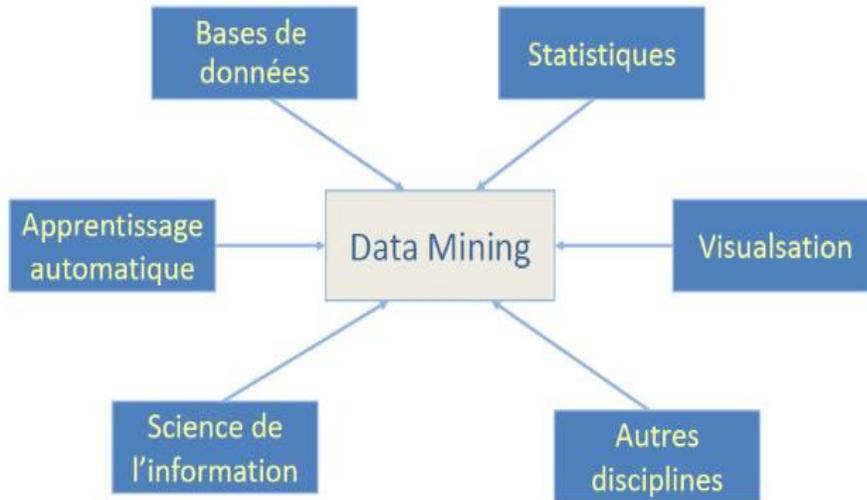


Figure III.1 : . Data Mining: union de disciplines variées [4]

III.3 L'extraction de connaissances ou (processus d'ECD)

Est le processus de création de connaissances à partir d'informations structurées (bases de données relationnelles, XML) ou non structurées (textes, documents, images). Le résultat doit être dans un format lisible par les ordinateurs.

L'extraction de connaissances se déroule en plusieurs étapes, avant le « data mining » (Exploration de données) proprement dit. Le prétraitement consiste à construire des corpus de données spécifiques et met en forme les données suivant leur type (textes, images, sons,...), Suit une phase de nettoyage des données, et de traitement des données éventuellement manquantes.[10]

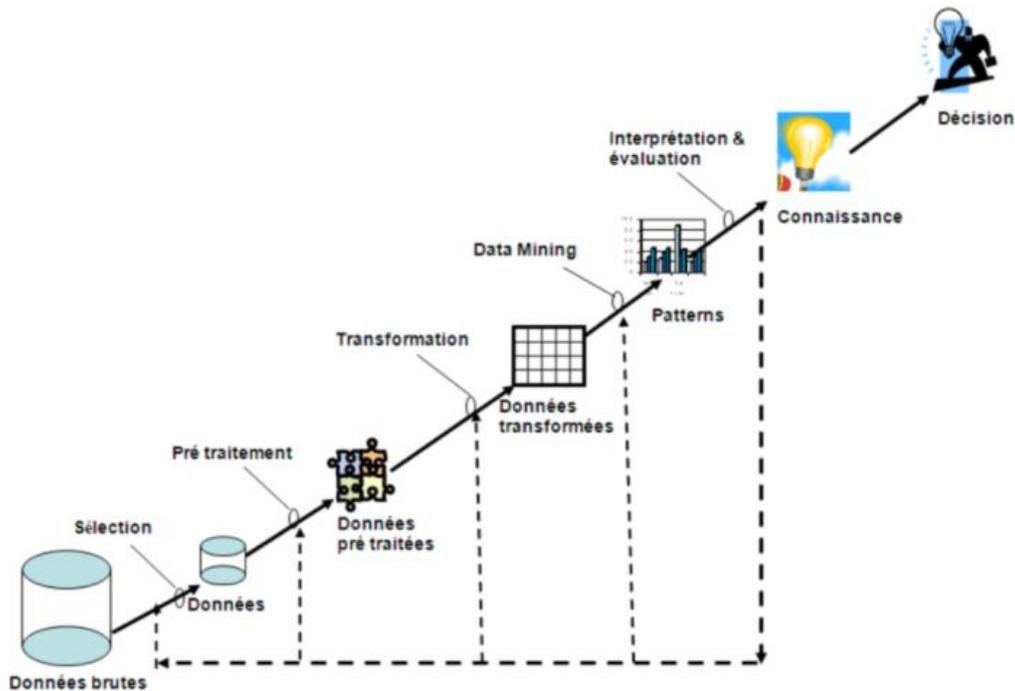


Figure III.2 : Les étapes du processus d'ECD

III.4 Les étapes du processus de data mining [1.3]

Collecte des données : la combinaison de plusieurs sources de données, souvent hétérogènes, dans une base de données.

Nettoyage des données : la normalisation des données : l'élimination du bruit (les attributs ayant des valeurs invalides et les attributs sans valeurs)

Sélection des données : Sélectionner de la base de données les attributs utiles pour une tâche particulière du data mining.

Transformation des données : le processus de transformation des structures des attributs pour être adéquates à la procédure d'extraction des informations.

Extraction des informations (Data mining) : l'application de quelques algorithmes du Data Mining sur les données produites par l'étape précédente (Knowledge Discovery in Databases, ou KDD).

Visualisation des données : l'utilisation des techniques de visualisation (histogramme, camembert, arbre, visualisation 3D) pour exploration interactive de données (la découverte des modèles de données).

Evaluation des modèles : l'identification des modèles strictement intéressants en se basant sur des mesures données.

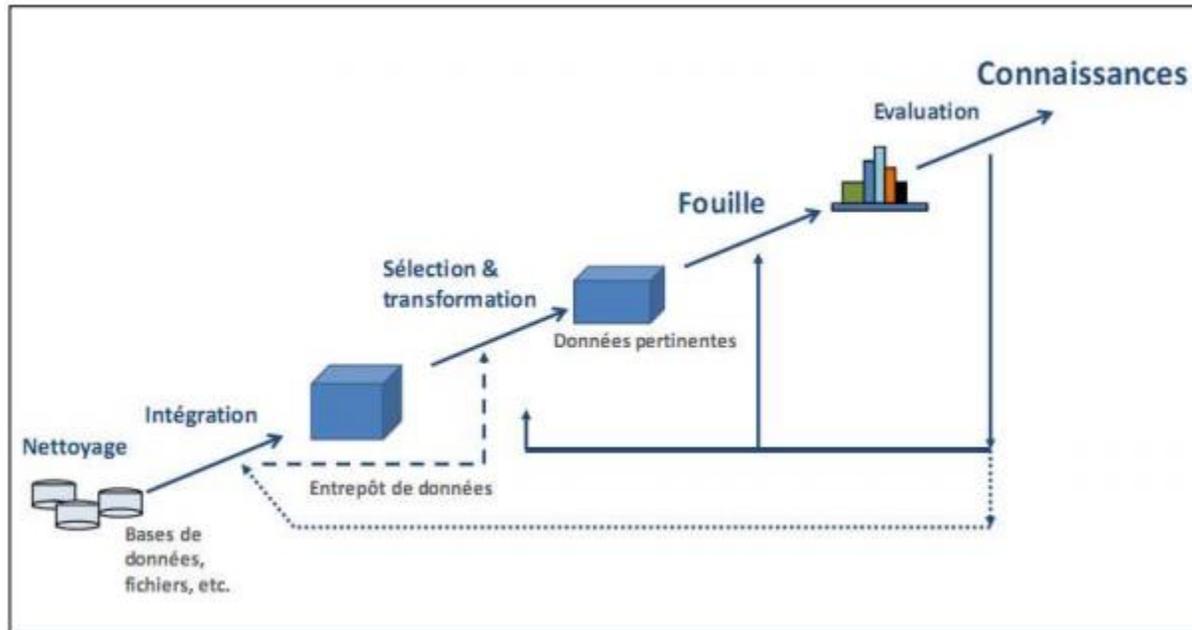


Figure III.3: Le processus de data mining [12].

III.5 Pourquoi la naissance du data mining ? [1.3]

La nécessité est la mère de l'invention. — Platon

Ces derniers temps Le Data Mining a eu une grande attention dans l'industrie de l'information, ça due à la disponibilité de grandes quantités de données et au besoin de les transformés en connaissances utiles.

Et au :

- Plus grande disponibilité des données grâce aux réseaux (intranet et internet).
- Augmentation des capacités de stockage des données (disques durs de giga octets).

- Augmentation des capacités de traitements des données (facilité d'accès aux données : il n'y a plus de bandes magnétiques, accélération des traitements).
- Maturation des principes des bases de données (maturation des bases de données relationnelles).
- Croissance exponentielle de la collecte des données (scanners de supermarché, internet, etc.)
- Développement de logiciels de data mining.

III .6 Les tâches du data mining [3]

Il existe plusieurs modèles de la fouille de données, mais aucun modèle n'est meilleur pour tous les domaines d'application. Il faudra faire des compromis selon les besoins dégagés et les caractéristiques connus des outils. Pour une utilisation optimale, une combinaison de méthodes est recommandée.

On peut présenter les modèles de datamining en huit catégories :

- ❖ Classification
- ❖ Estimation
- ❖ Prédiction
- ❖ Le regroupement par similitudes
- ❖ Segmentation (ou clustérisations)
- ❖ Description
- ❖ Optimisation
- ❖ Extraction de règle d'association

Les trois premières tâches sont des exemples du Data Mining supervisé dont le but est d'utiliser les données disponibles pour créer un modèle décrivant une variable particulière prise comme but en termes de ces données. Le groupement par similitude et l'analyse des clusters sont des tâches non-supervisées où le but est d'établir un certain rapport entre toutes les variables

La description appartient à ces deux catégories de tâche, elle est vue comme une tâche supervisée et non-supervisée en même temps .

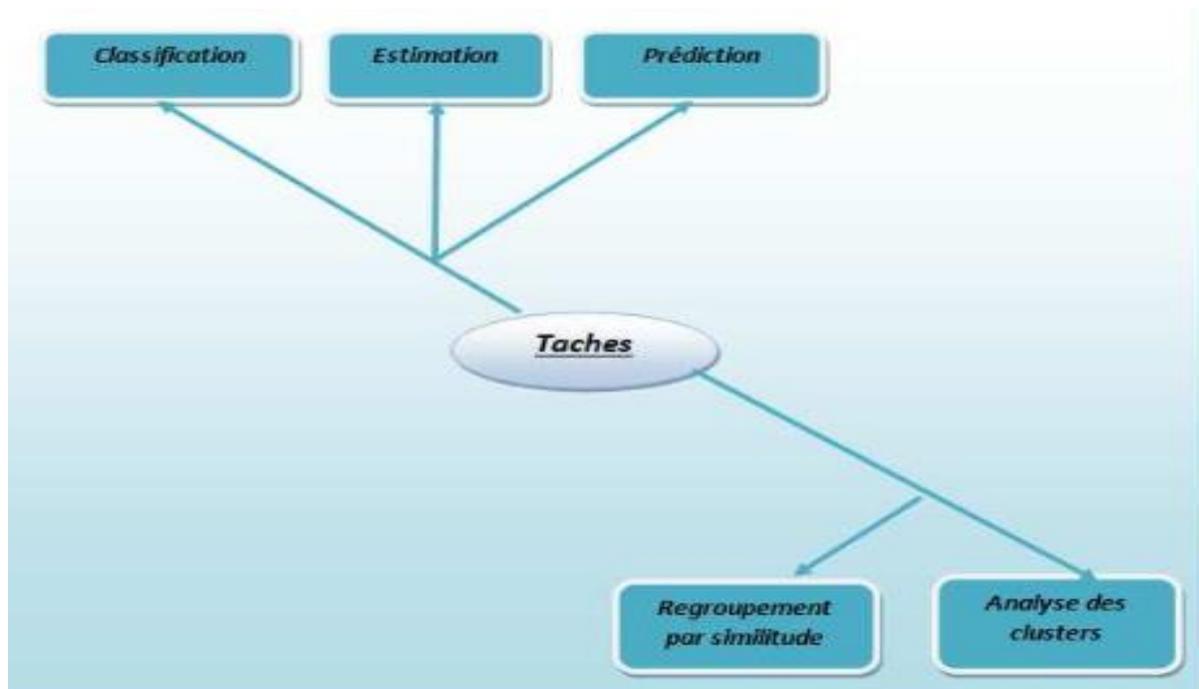


Figure III.4 Tâches du Data Mining

- **Classification [1.3]**

La classification est la tâche la plus commune du Data Mining et qui semble être une obligation humaine. Afin de comprendre notre vie quotidienne, nous sommes constamment classifiés, catégorisés et évalués [8]. La classification consiste à étudier les caractéristiques d'un nouvel objet pour lui attribuer une classe prédéfinie. Les objets à classifiés sont généralement des enregistrements d'une base de données, la classification consiste à mettre à jour chaque enregistrement en déterminant un champ de classe. La tâche de classification est caractérisée par une définition de classes bien précise et un ensemble d'exemples classés auparavant. L'objectif est de créer un modèle qui peut être appliqué aux données non classifiées dans le but de les

classifiées Quelques exemples de l'utilisation des tâches de classification dans les domaines de recherche et commerce sont les suivants :

- Déterminer quelles lignes téléphoniques sont utilisées pour l'accès à Internet .
- Déterminer quels numéros de téléphone correspondent aux fax .
- Déterminer si l'utilisation d'une carte de crédit est frauduleuse.

- **Estimation**

L'estimation est similaire à la classification à part que la variable de sortie est numérique plutôt que catégorique. En fonction des autres champs de l'enregistrement l'estimation consiste à compléter une valeur manquante dans un champ particulier. La différence entre la classification et l'estimation c'est que la classification se rapporte à des événements discrets (par exemple :le patient à été ou non hospitalisé). L'estimation, elle, porte sur des variables continues (par exemple: la durée d'hospitalisation).

Souvent, la classification et l'estimation sont utilisés ensemble, comme quand le Data Mining est utilisée pour prévoir qui va probablement répondre à une offre de transfert d'équilibre(de solde) de carte de crédit et aussi évaluer la taille de l'équilibre(du solde) à être transféré.[1.3.4]

- **La prédiction**

La prédiction est proche de la classification et l'estimation, à part que dans la prédiction les enregistrements sont classés selon un comportement (ou des critères) prédites (estimées). La principale raison qui différencie la prédiction de la classification et l'estimation est que dans la création du modèle prédictif on prend en charge la relation temporelle entre les variables d'entrée et les variables de sortie.

- **Le regroupement par similitudes**

Le groupement par similitude consiste à déterminer quels attributs "vont ensemble". La tâche la plus répandue dans le monde du business, où elle est appelée l'analyse d'affinité ou l'analyse du panier du marché, est l'association des recherches pour mesurer la relation entre

deux et plusieurs attributs. Les règles d'associations sont de la forme "Si antécédent, alors conséquent".

Quelques exemples des tâches du groupement par similitude dans les domaines de recherche et commerce sont les suivants :

- Trouver dans un supermarché quels produits sont achetés ensemble et quels sont ceux qui ne s'achètent jamais ensemble.
- Déterminer la proportion des cas dans lesquels un nouveau médicament peut générer des effets dangereux [10].
- **L'analyse des clusters**

Le clustering (ou la segmentation) est le regroupement d'enregistrements ou des observations en classes d'objets similaires; un cluster est une collection d'enregistrements similaires l'un à l'autre, et différents à ceux existants sur les autres clusters. La différence entre le clustering et la classification est que dans le clustering il n'y a pas de variables sortantes. La tâche de clustering ne classe pas, n'estime pas, ne prévoit pas la valeur d'une variable sortantes. Au lieu de cela, les algorithmes de clustering visent à segmenter la totalité de données en des sous groupes relativement homogènes. Ils maximisent l'homogénéité à l'intérieur de chaque groupe et la minimisent entre ces derniers .

Les algorithmes du clustering peuvent être appliqués dans des différents domaines, tel que :

- Classification des plantes et des animaux étant donné leurs caractéristiques.
- Segmentation les observations des épicentres pour identifier les zones dangereuses

- **La description**

Parfois le but du Data Mining est simplement de décrire ce qui se passe sur une Base de Données compliquée en expliquant les relations existantes dans les données pour en premier lieu comprendre le mieux possible les individus, les produits et les processus présents sur cette base. Une bonne description d'un comportement implique souvent une bonne explication de celui-ci.

Dans la société Américaine nous pouvons prendre comme exemple comment une simple description, «les femmes supportent le parti Démocrate plus que les hommes», peut provoquer beaucoup d'intérêt et promouvoir les études de la part des journalistes, sociologues, économistes et les spécialistes en politiques.

- **L'optimisation**

Pour résoudre de nombreux problèmes, il est courant pour chaque solution potentielle d'y associer une fonction d'évaluation. Le but de l'optimisation est de maximiser ou de minimiser cette fonction. Quelque spécialiste considèrent que ce type de problème ne relève pas du data mining. La technique la plus appropriée à l'optimisation est le réseau de neurones.

- **Extraction de règle d'association**

L'extraction de règle d'association est l'un des principaux problèmes de l'ECD. Ce problème fut développé, à l'origine, pour l'analyse de bases de données de transaction de vente. Chaque transaction est constituée d'une liste d'articles achetés, afin d'identifier les groupes d'articles les plus fréquemment vendus ensembles

La principale application des règles d'association est donc « l'analyse du panier de la ménagère ». Néanmoins, on assiste aujourd'hui à l'application de cette technique à tout domaine cherchant à regrouper des produits ou des services. Le problème d'extraction de règles d'associations s'est étendu au secteur bancaire, médicale, industriel, des nouvelles technologies. Il faut noter les connaissances ainsi obtenues le sont par induction, à savoir un raisonnement de généralisation. Afin que les résultats acquièrent le statut de connaissances et afin d'éviter une dépendance trop grande par rapport à un jeu de données particulier.

III.7 Évaluation du résultat :

L'évaluation du résultat permet d'estimer la qualité du modèle, c'est-à-dire sa capacité à déterminer correctement les valeurs qu'il est censé avoir apprises sur des cas nouveaux. Cette évaluation prend généralement une forme qualitative et une forme quantitative.

- **L'évaluation qualitative:** permet d'illustrer le poids ou l'influence d'un facteur. Elle peut se faire sous forme graphique. Dans ce cas, elle améliore la compréhension des résultats.
- **L'évaluation quantitative:** utilise des techniques et notions telles que l'intervalle de confiance, pour fiabiliser les conclusions apportées sur des données futures.
- **La validation par des tests:** Après avoir construit un modèle, il est possible d'en tester la pertinence sur la base d'apprentissage. Cela étant, il faut éviter d'« apprendre » les données plutôt que le modèle.

III .8 Techniques du data mining [1.3]

Pour effectuer les tâches du Data Mining il existe plusieurs techniques issus de disciplines scientifiques diverses (statistiques, intelligence artificielle, base de données) afin de faire apparaître des corrélations cachées dans des gisements de données pour construire des modèles à partir de ces données. Dans ce chapitre, nous présentons les techniques du data mining les plus connues :

- **Les réseaux de neurones :**

Un réseau de neurones est un modèle de calcul dont le fonctionnement vise à simuler le fonctionnement des neurones biologiques, il est constitué d'un grand nombre d'unités (neurones) ayant chacune une petite mémoire locale et interconnectées par des canaux de communication qui transportent des données numériques. Ces unités peuvent uniquement agir sur leurs données locales et sur les entrées qu'elles reçoivent par leurs connections. Les réseaux de neurones sont capables de prédire de nouvelles observations (sur des variables spécifiques) à partir d'autres observations (soit les même ou d'autres variables) après avoir exécuté un processus d'apprentissage sur des données existantes. La phase d'apprentissage d'un réseau de neurones est un processus itératif permettant de régler les poids du réseau pour optimiser la prédiction des échantillons de données sur lesquelles l'apprentissage été fait. Après la phase d'apprentissage le réseau de neurones devient capable de généraliser.

▪ **Les arbres de décision :**

Les arbres de décisions sont des outils d'aide à la décision qui permettent selon des variables discriminantes de répartir une population d'individus en groupes homogènes en fonction d'un objectif connu. Les arbres de décision sont des outils puissants et populaires pour la classification et la prédiction. Un arbre de décision permet à partir des données connues sur le problème de donner des prédictions par réduction, niveau par niveau, du domaine des solutions. Cet outil d'aide à la décision ou d'exploration de données permet de représenter un ensemble de choix sous la forme graphique d'un arbre. C'est une des méthodes d'apprentissage supervisé les plus populaires pour les problèmes de classification de données. Concrètement, un arbre de décision modélise une hiérarchie de tests pour prédire un résultat. Il existe deux principaux types d'arbre de décision :

- **Les arbres de régression (Regression Tree):** permettent de prédire une quantité réelle, une valeur numérique (par exemple, le prix d'une maison ou la durée de séjour d'un patient dans un hôpital)
- **Les arbres de classification (Classification Tree) :** permettent de prédire à quelle classe la variable de sortie appartient (cela permet par exemple de répartir une population d'individus, comme des clients d'une entreprise en différents types de profils).

Les décisions possibles sont situées aux extrémités des branches (les « feuilles » de l'arbre) et sont atteintes en fonction de décisions prises à chaque étape. Un arbre de décision fonctionne en appliquant de manière itérative des règles logiques très simples (typiquement des séparations de données par « hyperplan », généralisation d'un plan à plus de 2 dimensions), chaque règle étant choisie en fonction du résultat de la règle précédente

Les arbres de décision ont pour avantage d'être simple à interpréter, très rapide à entraîner, d'être non paramétrique, et de nécessiter très peu de prétraitement des données. Ils peuvent être calculés automatiquement par des algorithmes d'apprentissage supervisé capables de sélectionner automatiquement les variables discriminantes au sein de données non-structurées et potentiellement volumineuses. Ces algorithmes permettent aussi d'extraire des règles logiques qui n'apparaissaient pas dans les données brutes.

Chaque nœud interne d'un arbre de décision permet de répartir les éléments à classer de façon homogène entre ses différents fils en portant sur une variable discriminante de ces

éléments. Les branches qui représentent les liaisons entre un nœud et ses fils sont les valeurs discriminantes de la variable du nœud. Et en fin, les feuilles d'un arbre de décision représentent les résultats de la prédiction des données à classifier. le système recherche le critère le plus déterminant et découpe la population en sous populations possédant la même entité de ce critère. Chaque sous population est ensuite analysée comme la population initiale. Le modèle rendu est facile à comprendre et les règles trouvées sont très explicites. Ce système est donc très apprécié.

- **Les algorithmes d'induction des arbres de décision**

Nom de l'algorithme	Développeur	Année
CHAID	Kass	1980
CART	Breiman, et al.	1984
ID3	Quinlan	1986
C4.5	Quinlan	1993
SLIQ	Agrawal, et al.	1996
SPRINT	Agrawal, et al.	1996

Tableau III .1 : Les algorithmes d'inductions des arbres de décision [11].

III .9 Avantages et inconvénients des arbres de décisions :

III .9.1 Avantages :

- Les arbres de décision sont capables de produire des règles compréhensibles.
- Les arbres de décision effectuent la classification sans exiger beaucoup de calcul
- Les arbres de décision sont en mesure de manipuler à la fois les variables continues et catégorielles [11].

III .9.1 Inconvénients :

- Manque de performance dans le cas de plusieurs classes; les arbres deviennent très complexes et ne sont pas nécessairement optimaux.

- Demande beaucoup de temps de calcul lors de la construction (le choix du meilleur partitionnement) et l'élagage (la comparaison de sous-arbres).
- Moins bonnes performances concernant les prédictions portant sur des valeurs numériques.
- **Les algorithmes génétiques :**

Un algorithme génétique se constitue d'une catégorie de programmes dont le principe est la reproduction des mécanismes de la sélection naturelle pour résoudre un problème donné. L'optimisation des problèmes combinatoires et surtout les problèmes dits NP-complets (dont le temps de calcul croît de façon non polynomiale avec la complexité du problème) est l'objectif principale des algorithmes génétiques, ils sont particulièrement adaptés à ce type de problèmes. Ces algorithmes constituent parfois une alternative intéressante aux réseaux de neurones mais sont le plus souvent complémentaires.

- **Réseaux Bayésien**

C'est une technique permettant la modélisation de la connaissance sous la forme d'un réseau dont les nœuds correspondent à des événements affectés de leurs probabilités respectives. Des liens de causalité permettent en outre de modéliser ces probabilités selon la connaissance que l'on a de certains autres événements. Dans le cadre de l'extraction de connaissance, cela signifie que ces applications sont capables d'inférer des connaissances à partir d'indicateurs incomplets. Extrêmement puissants, bâtis sur le formalisme Bayésien.

III.10 Matrice de confusion [13]

La matrice de confusion, appelée également matrice d'erreur, est un tableau qui présente différentes prévisions et résultats de tests, en les comparant avec des valeurs réelles. Ces matrices sont utilisées dans les statistiques, le data mining, les modèles d'apprentissage automatique et d'autres applications de l'intelligence artificielle.

Elles permettent d'effectuer plus rapidement une analyse approfondie des statistiques et de faciliter la lecture des résultats grâce à une visualisation claire des données. Ces tableaux peuvent aider à analyser les erreurs dans les statistiques, le data mining, la médecine légale et les tests

médicaux. Une analyse approfondie aide les utilisateurs à déterminer les résultats qui indiquent comment les erreurs se produisent, au lieu de donner simplement les bons et les mauvais résultats.

Les matrices de confusion utilisent un format simple pour présenter les prévisions. Dans la matrice de confusion d'un modèle d'apprentissage automatique, les prévisions sont alignées sur la droite et les données réelles en haut. Les prévisions ou les résultats sont présentés dans les lignes, juste en dessous des données réelles. Les résultats peuvent comprendre l'indication correcte d'une valeur positive comme étant un vrai positif ou d'une valeur négative comme étant un vrai négatif, ou encore d'une valeur positive incorrecte comme un faux positif ou d'une valeur négative incorrecte comme un faux négatif.

Voici un exemple simple de matrice de confusion qui peut être utilisée pour présenter la météo.

	Pas nuageux	nuageux
Résultat positif	Faux positif	Vrai positif
Résultat négatif	Vrai négatif	Faux négatif

Tableau III.2 : présente un exemple de matrice de confusion

III.11 Définition de base de données

Une base de données est une collection de données organisées de façon à être facilement accessibles, administrées et mises à jour. Les bases de données peuvent être classées par le type de contenu qu'elles renferment : bibliographique, full text, images ou des nombres..... « **Margaret Rouse** », elles peuvent être aussi un ensemble des infos structuré dans un tableau.

III.12 La précision [15]

La précision (ou valeur prédictive positive) est le nombre de documents pertinents retrouvés rapporté au nombre de documents total proposé pour une requête donnée. Autrement dit il

détermine la fraction d'enregistrements qui s'avère réellement positive dans le groupe que le classificateur a déclaré comme classe positive. Il est défini comme :

$$\mathbf{Précision} = \frac{VP}{VP+FP} \quad \text{(III.1)}$$

III.13 Le rappel [14.15]

Le rappel est défini par le nombre de documents pertinents retrouvés au regard du nombre de documents pertinents que possède la base de données. Il est calculé comme la fraction d'instances correctes parmi toutes les instances qui appartiennent réellement au sous-ensemble pertinent, c'est-à-dire (Rappel = taux réel vrai positif).

$$\mathbf{rappel} = \frac{VP}{VP+FN} \quad \text{(III.2)}$$

III.14 Cadre multi-classe :

C'est le cas (où le nombre n de classes de données est supérieur à 1) , il suffit d'abord de calculé la précision et le rappel sur chaque classe i suivie d'un calcul de la moyenne des précisions et des rappels sur les n classes :

$$\mathbf{précision} = \frac{\sum_{i=1}^n \mathbf{précision}}{n} \quad \text{(III.3)}$$

$$\mathbf{rappel} = \frac{\sum_{i=1}^n \mathbf{rappel}}{n} \quad \text{(III.4)}$$

III.15 f-mesure [16]

La mesure F est définie comme une moyenne harmonique de précision (P) et de rappel R , nommée F -mesure ou F -score :

$$\mathbf{F} = \frac{2*\mathbf{précision}*\mathbf{rappel}}{\mathbf{précision}+\mathbf{rappel}} \quad \text{(III.5)}$$

Elle est également connue sous le nom de mesure F_1 , car précision et rappel sont pondérés de façon égale. Il s'agit d'un cas particulier de la mesure générale F_β (pour des valeurs réelles positives de β)

$$F_\beta = \frac{(1+\beta^2)*(précision*rappel)}{(\beta^2*précision+rappel)} \quad (\text{III.6})$$

III.16 TP Rate :

Rapport des vrais positifs. Il correspond à :

$$\frac{\text{Nombre de vrais positifs}}{\text{Nombre de vrais positifs} + \text{Nombre de faux négatifs}} = \frac{\text{Nombre de vrais positifs}}{\text{Nombre d'exemples de cette classe}} \quad (\text{III.7})$$

C'est donc le rapport entre le nombre de bien classé et le nombre total d'éléments qui devraient être bien classés.

III.17 FP Rate :

Rapport des faux positifs. Il correspond, symétriquement à la définition précédente :

$$\frac{\text{Nombredefauxpositifs}}{\text{Nombredefauxpositifs} + \text{Nombredevraisnégatifs}} = \frac{\text{Nombredefauxpositifs}}{\text{Nombre d'exemples n'étant pas de cette classe}} \quad (\text{III.8})$$

La donnée des taux TP Rate et FP Rate permet de reconstruire la matrice de confusion pour une classe donnée .

III.18 Domaines d'application du data mining [1]

La technologie de data mining a une grande importance et utilité économique grâce aux possibilités qu'elle offre pour optimiser la gestion des ressources (humaines et matérielles). Les domaines d'application actuels du data mining sont les suivants :

- **la bio-informatique et la biotechnologie :** par exemple la détermination de la complexité des structures de plusieurs médicaments.....
- **la détection de fraude : comme la :** Détection de fraude de cartes de crédits, Détection de fraude dans les listes des électeurs en utilisant les réseaux de neurones en combinaison avec le data mining, La détection des fraudes dans les demandes de passeport par la conception d'un système de diagnostic par apprentissage en ligne....
- **Dans le secteur des assurances :** Utilisation du modèle de l'exploitation de Poisson / Log-normale afin d'optimiser les polices d'assurance, Formulation des modèles statistiques des risques d'assurance....
- **Dans le e-commerce et le World Wide Web :** En formulant des tactiques du marché dans les opérations de business, En automatisant des interactions d'affaires avec des clients, pour que les clients puissent traiter avec tous les acteurs dans la chaîne d'approvisionnement.
- **Dans le marché boursier et l'investissement :** Aider les spécialistes du marché boursier à prédire les mouvements du prix des actions, Le data mining des anciens des prix et des variables liées aide à découvrir des anomalies de marché boursier comme le scandale hawala.
- **Dans le secteur bancaire :** Quelques applications du data mining dans ce domaine sont : Prédire la réaction des clients aux changements des taux d'intérêt , Identifier les clients qui seront les plus réceptifs aux nouvelles offres de produits , Détecter les activités frauduleuses dans les transactions par cartes de crédit.
- **Dans la médecine et la pharmacie :** Quelques exemples de l'usage médicaux et pharmaceutiques des techniques de Data Mining pour l'analyse de bases de données médicales : Prédiction de présence de maladies et/ou de complications , Choix des antibiotiques pour des infections , Approvisionnement des médicaments les plus fréquemment prescrits.
- **dans la télécommunication :** À nos jours, toute activité de télécommunication a utilisé une la technique de data mining tel que : Analyse des achats de services de

télécommunications , Prédiction de modèles d'appels téléphoniques , Gestion des ressources et de trafic réseau , Automatisation de la gestion du réseau et de la maintenance en utilisant l'intelligence artificielle pour diagnostiquer et réparer les problèmes de transmission du réseau

Conclusion

Le data mining est l'extraction d'informations prédictives cachés dans de grandes base de données. C'est une technologie nouvelle et puissante qui automatise la synthèse de connaissances à partir de gros volumes de données. L'essor de cette technologie est le résultat d'un accroissement dramatique de l'information numérique qui, de part son abondance, est sous-exploitée sans outil et expertise adéquats. Cette technologie repose sur une diversité de techniques (intelligence artificielle, statistiques, théorie de l'information, génie logiciel, bases de données, ...) qui requièrent des compétences variées et de haut niveau .

Chapitre IV :
Simulation du système OFDM et étude
des performances

IV.Introduction

La conception matérielle d'un système de communication complexe, tel un système OFDM nécessite d'établir les valeurs et le choix des paramètres du système. Cet exercice n'est pas trivial et de plus il requiert des outils de simulation et de calcul assez précis et capable de produire des résultats dans un laps de temps raisonnable. Dans ce chapitre, nous présentons un programme établi dans logiciel Matlab, à L'objectif de calculer le rapport BER. Les simulations aussi sont effectuées à l'aide du logiciel MATLAB .

Comme à la suite nous sommes intéressés par un autre l'logiciel d'apprentissage WEKA où on a compati notre base de données.

IV.1 Le but de notre recherche

On peut dire que parmi les buts essentiels de la recherche scientifique est de développer les méthodes d'exécutions, à l'aide du logiciel MATLAB, on à exécuté d'eux programmes le but c'est de calculer le taux d'erreur binaire en variant le nombre des utilisateurs et le nombre de porteuse. Et Puis nous sommes intéressées de prendre un plus grand nombre des cas possible et le classifier on extraire les bonnes et meilleurs résultats pour une bonne performance de transmission dans un petit laps de temps pour cela nous avons utilisé le data mining comme solution a notre problématique.

IV.2 Taux d'erreur binaire (BER) :

Le taux d'erreur binaire constitue le paramètre primaire décrivant la qualité de la transmission numérique. Il se définit comme le rapport entre les bits erronés et le nombre total de bits reçus. Ce taux détermine le nombre d'erreurs apparues avant la modulation et juste après la démodulation, il augmente a cause des perturbations : équipement ou réseau défectueux, pointage incorrect d'une antenne, longueur de canal, etc.

$$BER = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\frac{L}{N} * SNR}{2 + \frac{L}{N} * SNR}} \right) \quad (IV.1)$$

Avec :

$$SNR = \frac{Eb}{N0}$$

IV.3 Les résultats de simulation à l'aide le MATLAB

IV.3.1 Effet de nombre des utilisateurs K sur le taux d'erreur binaire (BER) :

Après l'exécution du premier programme ou nous avons varié le n'ombre des utilisateur K ont trois valeur (K=3,K=5,K=11) ,on obtient les résultats suivants :

SNR	1	2	3	4	5	6
BER	0.1950	0.1670	0.1506	0.1383	0.1296	0.1213

Tableau IV .1 : Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR (K=3)

SNR	1	2	3	4	5	6
BER	0.2273	0.2206	0.2066	0.1903	0.1883	0.1813

TableauIV. 2 : Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR (K=5)

SNR	1	2	3	4	5	6
BER	0.2576	0.2446	0.2336	0.2290	0.2193	0.2026

Tableau IV .3: Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR (K=11)

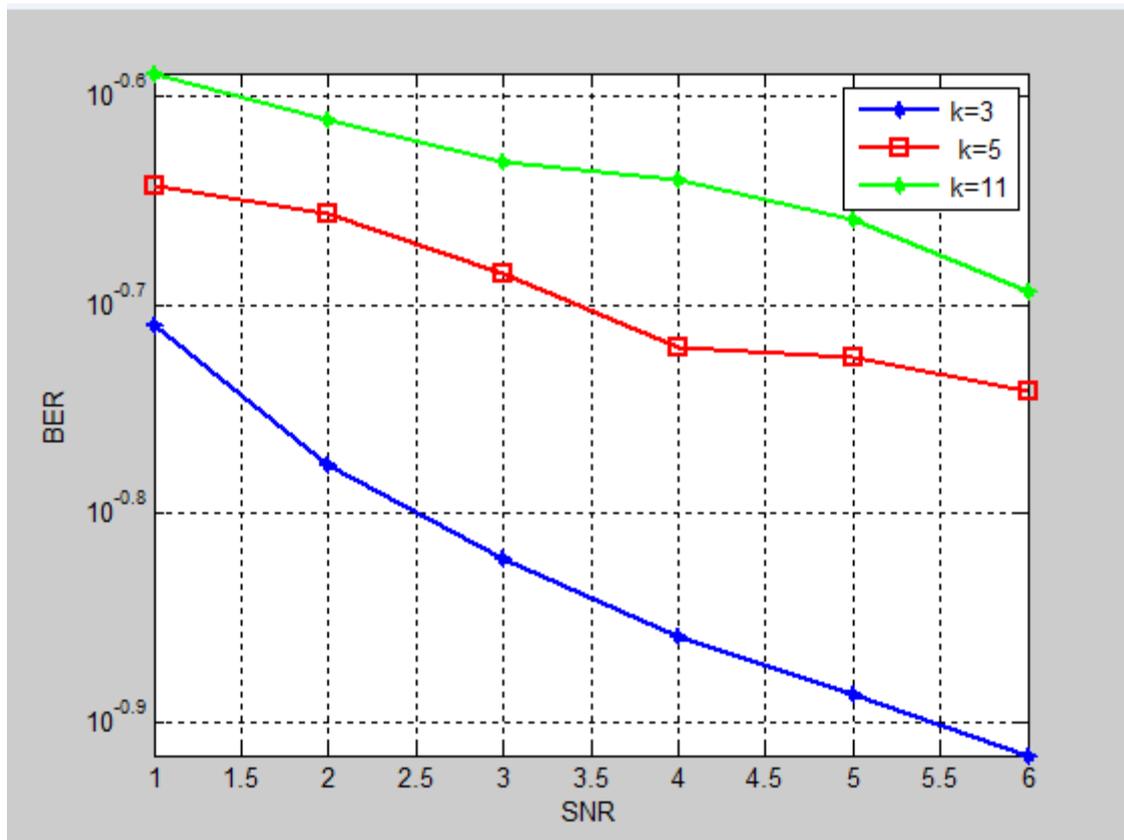


Figure IV.1 : présente le BER on fonction de SNR

IV.3.1.1 Interprétation des résultats

De la simulation nous avons observé que :

- ❖ lorsque le nombre d'utilisateur augmente la valeur de BER prend des valeurs maximales en fonction de SNR ça signifie que lorsque le nombre d'utilisateur prend des valeurs croissantes dans une même zone peut produire des erreurs et des interférences en réceptions (perte de l'information) , pour cela il faut minimisé le nombre d'utilisateur et maximisé le nombre des zones
- ❖ Quand la puissance du signal est égale à la puissance de bruit, Le BER rend plus grand. Et quand la valeur du SNR rend plus grande le BER est égale à 0

IV.3.2 Effet de nombre de porteuse N_p sur le taux d'erreur binaire (BER) :

On va étudier l'effet de nombre de porteuse sur le TEB en fonction de SNR. Pour que ($N_p=8, N_p=16, N_p=32$) les résultats de simulations sont notés dans les tableaux ci-sous :

SNR	1	2	3	4	5	6
BER	0.1990	0.1876	0.1716	0.1560	0.1446	0.1403

TableauIV. 4 : Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR ($N_p=8$)

SNR	1	2	3	4	5	6
BER	0.1963	0.1796	0.1620	0.1420	0.1410	0.1380

TableauIV. 5 : Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR ($N_p=16$)

SNR	1	2	3	4	5	6
BER	0.1833	0.1690	0.1470	0.1360	0.1316	0.1220

Tableau IV.6 : Le taux d'erreur binaire en fonction de SNR ($N_p=32$)

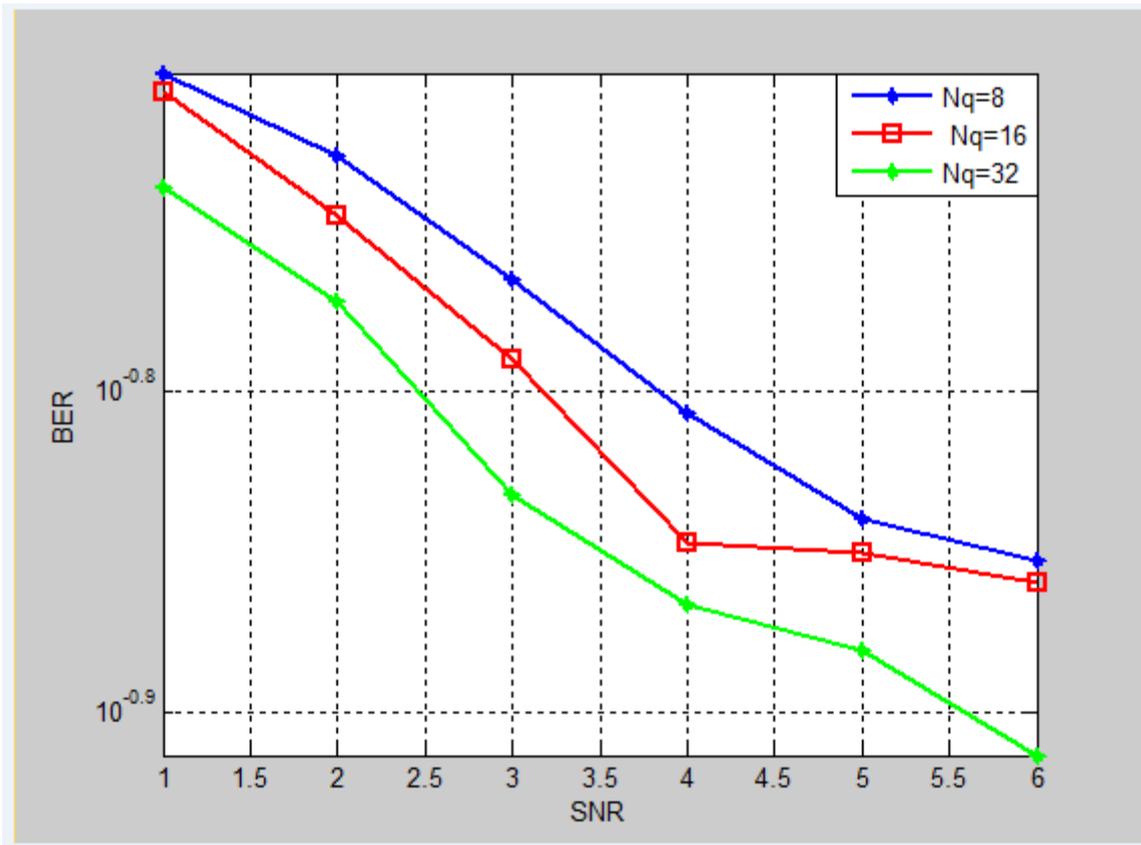


Figure IV.2 : Variation de BER en fonction SNR

IV.3.2.1 Interprétation des résultats

De la simulation nous avons observé que :

Lorsque on augmente le nombre de porteuse on voit que la valeur de BER diminue, en peut dire que plus le nombre de porteuse augmente plus on a une transmission parfaite .

IV.3.3 Discussion :

A partir des résultats de simulation, Le taux d'erreur binaire d'un système de communication numérique utilisé pour quantifier l'intégrité des données transmises par le système, on peut dire que la Grande valeur BER (l'augmentation de nombre d'utilisateur K) indique faible qualité de la communication avec des erreurs sont détectées. Par contre l'augmentation de nombre de porteuse améliore la valeur de BER de telle sorte qu'elle devient minimale. Cela indique une meilleure communication, le signal devient plus fort par rapport au bruit. Le résultat de la simulation démontrée de BER contre SNR est très proche en terme de comparaison au résultat théorique.

IV.4 Outils et environnement de travail :

IV.4.1 Microsoft Exel [18]

Microsoft Excel est un logiciel tableur de la suite bureautique Microsoft Office développé et distribué par l'éditeur Microsoft. Il est destiné à fonctionner sur les plates-formes Microsoft Windows, Mac OS X, Android ou Linux (moyennant l'utilisation de Wine). Le logiciel Excel intègre des fonctions de calcul numérique, de représentation graphique, de bases de données, d'analyse de données (notamment de tableau croisé dynamique). On appelle ce genre de logiciel un "tableur".

Excel permet de créer facilement des tableaux de toutes sortes, et d'y intégrer des calculs. Les valeurs du tableau se mettent donc à jour automatiquement en fonction de vos saisies et calculs. Il permet également de générer de jolis graphiques (à bâtons, en camembert...) pour mieux visualiser les valeurs et les interpréter. C'est un puissant outil de visualisation mathématique.

Les principaux formats de fichiers natifs portent l'extension xls (1995→2003) etxlsx (2007→2016). Chaque fichier correspond à un classeur, lequel contient des feuilles de calculs organisées. Chaque feuille correspond à un tableau de lignes et de colonnes pouvant contenir des valeurs (numériques ou non) ainsi que des formules permettant les calculs. Suivant les versions, les classeurs peuvent aussi inclure les éléments de programmation que sont les macros. Depuis avril 2014, l'application Excel 2013 est disponible sur iPad, iPhone, Windows Phone et sur OS Android depuis 2015. Cela entre dans la logique "Office mobile" de Microsoft de rendre ses logiciels disponibles sur le plus grand nombre de supports (ordinateurs, tablettes, smartphones).



Microsoft Excel

IV.4.2 Logiciel weka [17]

Weka est une suite de logiciels d'apprentissage automatique Développé et écrite en Java .il est Créé à l'université de Waikato en Nouvelle-Zélande. Weka est un logiciel libre et gratuit disponible sous la (Licence GPL) il est dédié au Data Mining.

Le choix de Weka comme logiciel de datamining dépendra probablement de la complexité de la problématique à traiter (big data, algorithmes spécifiques, intégration avec d'autres logiciels),

de la maîtrise statistique/informatique de l'utilisateur. Parmi les fonctionnalités qu'il couvre, on trouve les arbres de décision. Selon çadéfinition, un arbre de décision est un outil d'aide à la décision et à l'exploration de données. Il permet de modéliser simplement, graphiquement et rapidement un phénomène mesuré plus ou moins complexe. Sa lisibilité, sa rapidité d'exécution et le peu d'hypothèses nécessaires a priori expliquent sa popularité actuelle.



Le Logiciel weka

IV.5 Définition de benchmark [19]

Le benchmark, au sens informatique, est l'analyse d'un composant ou d'un produit selon une liste de critères d'évaluation, en vue de sa comparaison face à ses concurrents. On retrouve ainsi des benchmarks dans toutes les catégories de produits technologiques : CPU, carte graphique, RAM, appareil photo, smartphone, ordinateur.

Les applications de benchmark réalisent l'examen des capacités de la machine sur laquelle elles sont exécutées. Elles peuvent être dédiées à des analyses matérielles ou logicielles et fournir une méthode de comparaison des performances commune pour différents types d'architectures.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
3907	213	64		0,66683406		0,00024015		5,41E-05		Bonne			
3908	786	16		1,87931776		0,00018098		9,80E-07		Bonne			
3909	820	16		1,2814922		0,00025852		1,97E-06		Bonne			
3910	915	16		1,90230063		0,00070213		3,23E-06		Bonne			
3911	899	1		1,04344825		0,00016597		8,84E-08		Bonne			
3912	492	64		0,48352552		0,0006306		8,48E-05		Bonne			
3913	894	64		0,59390112		0,00010805		6,51E-06		Bonne			
3914	186	8		1,19621943		0,00038942		6,99E-06		Bonne			
3915	593	64		0,27186092		0,000184		3,65E-05		Bonne			
3916	767	16		0,2611661		0,0008727		3,49E-05		Bonne			
3917	664	64		0,2691301		0,00054762		9,80E-05		Bonne			
3918	334	32		1,99198051		0,00081027		1,95E-05		Bonne			
3919	700	32		1,13304615		0,00030087		6,07E-06		Bonne			
3920	536	8		0,88873529		0,00042048		3,53E-06		Bonne			
3921	498	128		0,86477382		0,00056717		8,43E-05		Bonne			
3922	652	16		1,64888602		0,00036221		2,69E-06		Bonne			
3923	863	16		1,76608567		0,00076411		4,01E-06		Bonne			
3924	940	64		1,13967286		0,00023888		7,13E-06		Bonne			
3925	802	2		0,89347177		0,00072735		1,02E-06		Bonne			
3926	735	8		0,60733778		0,00025569		2,29E-06		Bonne			
3927	644	16		1,11699774		0,00028087		3,12E-06		Bonne			
3928	935	128		0,89659744		0,0006514		4,97E-05		Bonne			
3929	542	8		0,70067561		0,00083945		8,83E-06		Bonne			
3930	486	64		0,77559559		0,00046082		3,92E-05		Bonne			
3931	154	128		0,39295738		0,00052587		0,00055357		Bonne			

Figure IV.3 :présentation de benchmark

IV.6 Description data set

Notre base de donnée contient des informations utiles décrivant les intervalles des attributs comme il est exprimé dans le tableau ci –de sous :

Les attribus	L	Np	N0	Eb
L'intervalle	[1,1000]	[1,128]	[0,1]	[0.5,2]

Tableau IV .7 :les intervalles des attributs

IV.7 Les attributs

En informatique, les attributs sont des entités qui définissent les propriétés d'objets, d'éléments, ou de fichiers. Les attributs sont habituellement composés d'un identificateur (ou nom ou clé) et d'une valeur. Dans notre étude on a pratiquement travaillé avec les attributs suivants :

- «**L**» **représente le canal Rayleigh** : Dans cette étude, nous nous sommes uniquement intéressés aux canaux de propagation de type Rayleigh, reyleigh fading est un modèle rationnel où le signal transmis est diffusé par de nombreux objets dans l'environnement et le récepteur n'a qu'un chemin indirect.
- «**N**» **représente sous-porteuse** :L'utilisation de sous-porteuses permet le multiplexage de plusieurs signaux au sein d'un même canal de données.
- «**N0**» **représente le bruit** :est un Phénomène parasite, affaiblit les performances d'un signal (N0 est la densité spectrale de bruit).
- «**Eb**» **représente l'énergie de bruit** :est l'énergie par bit.

IV.8 La classe

C'est une opération dont le but principale est de faciliter le positionnement , le placement de data et même la compréhension de ces data qui ont été dispersées , Les résultats de classification exprimés au figure ci- de sous :

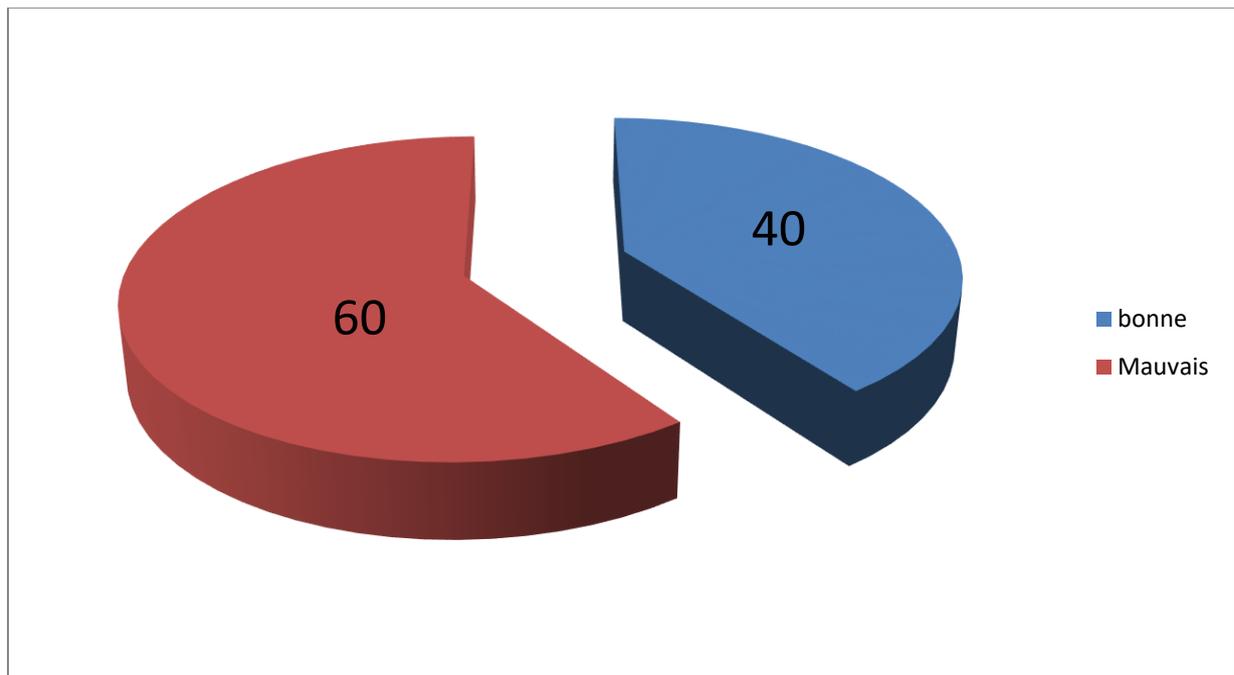


Figure IV.4:Archetecture des donnes

IV.8.1 Interprétation des résultats

Après la simulation nous avons obtenu les résultats suivants :

60% pour les mauvais cas et 40% pour les bons, pour cela on peut dire que nous avons une bonne classification.

IV.9 Résultats de l'algorithme de l'arbre de décision

Dans notre cas nous avons utilisé l'algorithme J48.

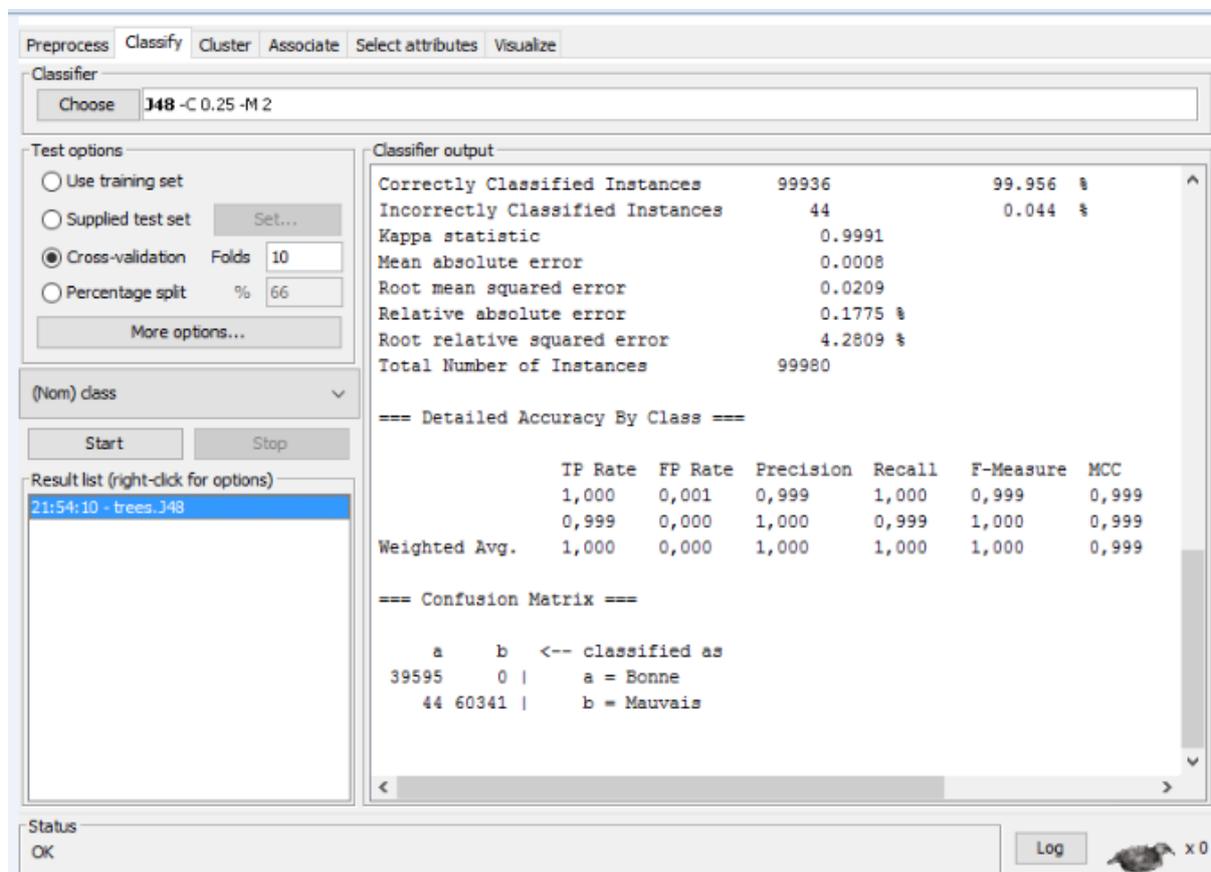


Figure IV.5: l'algorithme de l'arbre de décision

IV.9.1 Interprétation des résultats

La partie **Classifier output** décrit les statistiques sur le fichier exploité

Nous avons beaucoup de statistiques :

- **Total Number of Instances** : exprime le nombre d'instances [99980]
- **Correctly Classified Instances** : c'est le nombre d'instances correctement classifiées [99936].

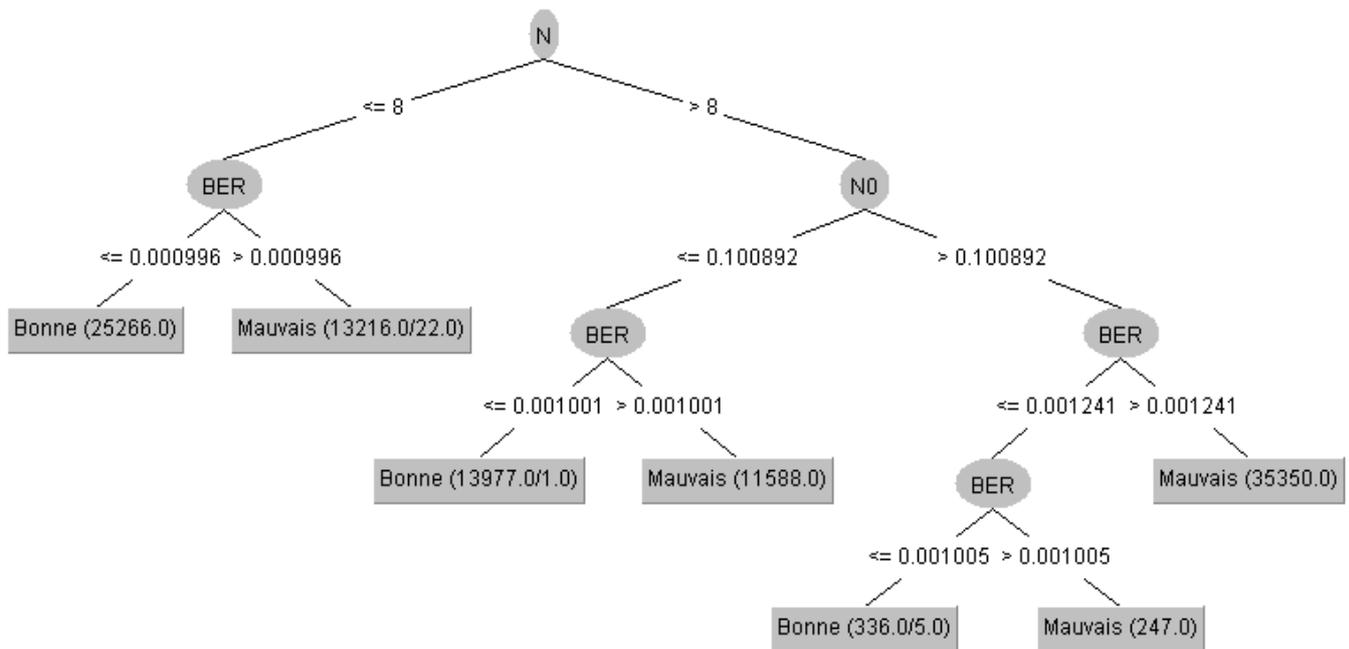
Nous avons aussi la **matrice de confusion** :

Résultat positif [a]	Vrai positif [39595]	Faux positif [44]
Résultat négatif [b]	Faux négatif [0]	Vrai négatif [60341]

TableauIV .8 : matrice de confusion

D'après les résultats de la simulation on voit que la valeur de Rapport des vrais positifs **TPRate** prend à peu près une valeur de '1', et la valeur de Rapport des faux positifs **FPRate** correspond à peu près à '0', ou la **précision**, **Recall** et **f-mesure** prend une valeur de '1' ça signifie que notre base de donnée elle contient moins des erreurs avec une bonne classification .

IV.10 Arbre de décision



FigureIV.6 : représentation de l'arbre de décision

IV.10.1 Analyse des résultats

L'arbre montre que Lorsque le nombre de porteuse soit supérieur ou égale à '8' et la valeur de BER soit inférieure au égale à [0.000996] , nous avons de bonnes attribues . et pour un nombre de porteuse supérieur au égale à '8' et une valeur de BER supérieure ou égale à [0.000996] nous avons de mauvaises valeurs d'attribues.

Donc pour une bonne simulation il faut que la valeur du BER soit inférieure ou égale [0.000996] et un nombre de porteuse soit supérieur ou égale à '8'.

IV.11 Sélection des meilleures valeurs des attributs

Les attribus	Les meilleur valeur
L	[500-1000]
Np	[1-2-4-8-16-32-64-128]
N0	[0-0.25]
Eb	[0.5-2]
BER	[0.001005]
Classe	[40]

TableauIV .9 : les meilleures valeurs des attributs

IV.12 environnements de développement

- **Système**

Edition de windows	Windows 7 édition Intégrale
Evaluation	4.9 indice de performance Windows
Processeur	Intel (R) core (TM) i3-6006U CPU@2.00GHz 2.00GHz
Mémoire installée (RAM)	4.00 Go (3.80 Go utilisable)
Type de système	Système d'exploitation 64 bits
Styler et fonction Tactile	La fonctionnalité de saisie tactile ou avec un styler n'est pas disponible sur set écran

▪ **Paramètre de nom d'ordinateur, de domaine et de groupe de travail**

Nom de l'ordinateur	Wisinfo-pc
Nom complet	Wisinfo-pc
Groupe de travail	WORKGROUPE
ID de produit	00426-OEM-8992662-00400

TableauIV .10 :environnement de développement

IV.13Conclusion

Dans ce chapitre nous avons réalisé deux simulations une par rapport au taux d'erreur binaire (BER) à l'aide de logiciel MATLAB. Nous avons exécuté des programmes dans laquelle on a varié le nombre d'utilisateur et le nombre de porteuse. Dans le but d'obtenir une valeur minimale de (BER).

Et dans la seconde partie de la simulation nous avons établi une base de données qui contient 100000 classifiés au logiciel weka.

Conclusion

La demande des nouveaux services et applications sans fil ainsi que le nombre d'utilisateurs augmentent rapidement, ce qui impose des contraintes de débit. Parmi les solutions étudiées pour répondre à ces contraintes de débit, on trouve les modulations multi porteuses : la modulation OFDM.

Un des problèmes majeurs en télécommunications est d'adapter l'information à transmettre au canal de propagation. Pour des canaux sélectifs en fréquence, une technique est l'utilisation de modulations multi-porteuses dans laquelle un bloc d'information est modulé par une transformée de Fourier, La technique OFDM qui a le grand mérite de transformer un canal multi-trajet large bande en un ensemble de sous-canaux mono-trajet très simples à égaliser.

Les simulations réalisées dans ce travail ont permis de mettre en relief l'intérêt d'une modulation OFDM du point de vue du taux d'erreur binaire et rapport signal à bruit, ensuite Le besoin de classification d'un grand nombre de cas nécessite l'utilisation de la technique d'informatique DATA MINING sur notre application de télécommunications. Nous souhaiterons dans des travaux futurs élargir notre étude sur la technique de data mining on la utilisons largement dans la recherche de domaine de télécommunication.

Bibliographie

- [1] Basel RIHAWI : « Analyse et réduction du power ratio des systèmes de radiocommunications multi-antennes » pour obtenir le grade de docteur de l'Université de Rennes I Soutenue le 20 Mars 2008.
- [2] AHME D AHRICHE : « Étude comparative des méthodes d'estimation de canal à l'aide des pilotes dans les systèmes OFDM à travers un canal multi-trajets » dans le cadre du programme de maîtrise en génie électrique pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Se.) , présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval QUÉBEC. 2008
- [3] M. Abdellatif KHELIL : « ETUDE ET PERFORMANCE D'UN SYSTEME DE COMMUNICATION SANS FIL A BASE D'OFDMA MIMO », Pour l'obtention du diplôme De doctorat en sciences, Université Ferhat Abbas – Sétif -1- UFAS (ALGERIE
- [4] Farhi Nabila -Helaimia Souhaila :« Etude et Simulation d'une Transmission de Type OFDM Pour Les Communications Sans Fil » DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN Réseaux et Communications de UNIVERSITE LARBI TEBESSI – TEBESSA 2015 / 2016
- [5] Bakri Hadj Ali : « Exploitation de l'association des techniques MIMO OFDM pour la transmission dans les réseaux locaux sans fil », Mémoire Pour l'obtention du Diplôme de Magister, Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen, 2012, Disponible sur <http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/1195/1/Bakir-Haj-Ali.pdf>
- [6] Alaa CHOUMANE :« Synthèse d'un canal de propagation par système multiantennes pour la caractérisation de terminaux mobiles à diversité » Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR, L'UNIVERSITE DE LIMOGES Soutenue le 24 Juin 2011
- [7] « Transmitter and Receiver Technique » http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public_html/cd_cell/chapters/a_mitra_mobile_communication/chapter6.pdf .
- [8] «Transmission d'un signal modulation et démodulation» http://ephz.fr/cours/pc/pc_elec/pc_tp_modulation.pdf
- [9] SLIMANI Hassen, SAIAHI Youc : « Compensation des distorsions dans un système OFDM sous différent types modulations numériques » pour l'obtention du diplôme de master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF M'SILA 2017-2018
- [10] Glavieux Alain, Livre : « Introduction Communications numériques ».2eme Édition : Dunod Paris Masson. Aout 2007,

- [11] Yvon Sosthene Yameogo «Etudes de nouvelles techniques d'estimation et d'égalisation de canal adaptees au systeme SC-FDMA» raitement du signal et de l'image. Université Rennes 1, 2011 Français Disponible sur : <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel00657895v1/document>
- [12] ARINERO Richard. Avec l'aide de : SABOUNI Salah, BINEAU Jean Michel, RIGAIL François, IBRAHIMA Farid. «TRAITEMENT. NUMERIQUE». DU. MASTER STPI Disponible sur: http://www.meea.univmontp2.fr/phpmyFormation/user/doc_ue/tp_37_.pdf
- [13] MORI, Y. « Electronique pour le traitement du signal, volume 2-Notions de signal et de bruit »,. Edition: Hermes, Lavoisier, Paris, 2006.
- [14] Xu Zhang: «Modeling & Performance Analysis of QAM-based COFDM System », University of Toledo August 2011
- [15] <http://ebrois.free.fr/cours/electronique/am/am.htm>, Consulter le 11/02/2015
- [16] BAOUNI ABDELKHALEK, « Estimation du Canal et Elimination des Interférences ICI dans les Communications Mobiles avec Modulation OFDM », MEMOIRE Présenté pour obtenir le diplôme de Magister, UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE, Disponible sur : <https://fr.scribd.com/doc/242265896/Baouni-A-pdf>
- [17] université de tunis el manar « etude comparative des canal WSSUS en standad DVBT » <https://fr.scribd.com/doc/67439060/2/I-2-Principe-de-la-modulation-multi-porteuses>,
- [18] Matthieu Gautier, « Algorithmes e t architectures de récepteurs pour les systèmes multi porteuses par paquets d'onde lettes », 27 avril 2006, Disponible sur : http://perso.univrennes1.fr/matthieu.gautier/media/Gautier_Soutenance.pdf,
- [19] <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design /multicarriermodulation / basics-techniques-tutorial.php>
- [20] Jiri Vodrazka «Multi-Carrier Modulation and MIMO Principle application on Subscriber Lines » Disponible sur : www.radioeng.cz/fulltexts/2007/07_04_033.pdf
- [21] Arnaud Bournel «Systemes de Télécommunications », 2001/2002 ;Disponible sur : http://www.ief.u-psud.fr/~bournel/pdf_enseignement/intro-sus-telecom.pdf
- [22] Damien Prêle, « Squids et Méthodes De Multiplexage », mai 2009, Disponible sur http://www-ecole-drtbt.grenoble.cnrs.fr/UserFiles/file/drtbt09/drtbt09_14_prele.pdf

- [23] Jean-Louis VERNEUIL , « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s », Thèse de doctorat, Université de Limoges , 2003, disponible sur : <http://epublications.unilim.fr/theses/2003/verneuil-jean-louis/verneuil-jean-louis.pdf>
- [24] Arun A Bhatji «TDMA and CDMA in Mobile Communications», a thesis submitted to the department of electrical and computer engineering in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science university florida state libraries 2004
- [26] Xiang Yang, Yang Hechao, « The Application of OptiSystem in Optical Fiber Communication Experiments », University Jiaozuo, China, Proceedings of the Third International Symposium on Computer Science and Computational Technology (ISCSCCT '10), Jiaozuo, P. R. China, 14-15, August 2010, pp. 376-378.
- [27] HAMID AIT T ALEB : « MIMO-OFDM POUR LES COMMUNICATIONS SANS-FIL DANS LES MINES SOUTERRAINES », COMME EXIGENCE PARTIELLE DE MAITRISE EN TÉLÉCOMMUNICATIONS, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE AOÛT 2017
- [28] Ali Rachini : « Etude de la synchronisation temporelle dans les systèmes MIMO-OFDM appliqués aux réseaux mobiles » pour obtenir le titre de DOCTEUR DE L'INSA DE RENNES, THESE INSA Rennes sous le sceau de l'Université européenne de Bretagne en cotutelle avec l'Université Libanaise
- [29] R. W. Chang, "Synthesis of Band-Limited Orthogonal Signals for Multichannel Data Transmission," Bell Systems Technical Journal, vol. 45, pp. 1775–1796, Dec. 1966.
- [30] J. Blackledge, Digital Signal Processing : Mathematical and Computational Methods, Software Development and Applications. Horwood, 2003.
- [31] B. Saltzberg, "Performance of an efficient parallel data transmission system," Communication Technology, IEEE Transactions on, vol. 15, no. 6, pp. 805– 811, 1967.
- [32] B.R.Saltzberg and S.B.Weinstein, "Fourier transform communication systems," in Computer Machinery Conference, Pine Mountain, 1969
- [33] A. Peled and A. Ruiz, "Frequency domain data transmission using reduced computational complexity algorithms," in Acoustics, Speech, and Signal
- [34] « Cours de Réseaux 802.11 » université sid Mohamed Ben Abdalah 2014/2015
- [35] Khouni Sadika : «Simulation et Optimisation D'un Réseau GSM en utilisant la Technologie OFDM ». Mémoire Magister électronique, université Ferhat Abbas-Sétif, 2010

[36] R.V. Née & R. Prasad, « OFDM for Wireless Multimedia Communications », Artech House Publishers, 2000.

[37] OULEHA OUASSIM et DIDOUNA SALAHDINE : « Etude des performances de modulation UFMC Pour le réseaux 5G » Pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication, Université 8Mai 1945 – Guelma ,Juin 2019

[38] «Transmission d'un signal modulation et démodulation» http://ephz.fr/cours/pc/pc_elec/pc_tp_modulation.pdf.

[39] « Transmitter and Receiver Technique » [http://www.iitg.ernet.in /scifac/qip/public_ Html/cd_cell/chapters/a_mitra_mobile_communication/chapter6.pdf](http://www.iitg.ernet.in/scifac/qip/public_Html/cd_cell/chapters/a_mitra_mobile_communication/chapter6.pdf).

[17] Yvon Sosthène Yameogo,"Etudes de nouvelles techniques d'estimation et d'égalisation de canal adaptées au système SC-FDMA», Thèse doctorat, Université Rennes 1, France, 2011.

[41]OULEHA OUASSIM et DIDOUNA SALAHDINE : « Etude des performances de modulation UFMC Pour le réseaux 5G », Pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication, Université 8Mai 1945 – Guelma, Juin 2019

[42] Melle. LARBI Nacéra : « Détection multi-utilisateurs dans le contexte de communication mobile : Exploitation de la combinaison OFDM/CDMA », EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE DOCTORAT EN SCIENCE, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE D'ORAN MOHAMED BOUDIAF, SOUTENUE LE 2015

[43] A. Latif, Hybrid QAM - FSK (HQFM) OFDM transceiver with low PAPR. Thèse de Doctorat, Ghulam Ishaq Khan Institute of Engineering Sciences & Technology, January, 2009

[44] E. Gueguen, Etude et optimisation des techniques UWB haut dé bit multi-bandes OFDM. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, Janvier 2009.

[45] SELMANE Abdelwahed, ELHARROURI Islam : « L'effet de trajet multiple sur le système OFDM » Mémoire du Projet de Fin d'Etudes Pour l'obtention du diplôme de Master, Université Djilali Bounaama Khemis Miliana 2015/2016 , Soutenue le 26/ 10 /2017 devant la commission d'examen

[46] S. TRAVERSO, "Transposition de fréquence et compensation du déséquilibre IQ pour des Systèmes multiporteuses sur canal sélectif en fréquence", Nov,2007,thèse. Université de Cergy- Pontoise. [http ://publis-etis.ensea.fr/2007/Tra07](http://publis-etis.ensea.fr/2007/Tra07).

[47] Dieter Van Welden and Heidi Steendam DIGCOM research group “Iterative EM Based Channel Estimation for KSP-OFDM”, TELIN Dept., Ghent University Sint Pieters nieuwstraat 41, 9000 Gent, Belgium

[48] V. Dégardin, Analyse de la faisabilité d’une transmission de données haut débit sur le réseau électrique basse tension. Thèse de Doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille, Décembre 2002.

[49] H. A. Tai, Application des techniques multi-porteuses de type OFDM pour les futurs systèmes de télécommunications par satellite. Thèse de Doctorat, Institut National.

[50] C.R. Nassar et al., Multicarrier technologies for Wireless communication. Kluwer Academic Publishers, 2002.

Bibliographie data mining

- [1] Melle. CHAMI Djazia : « Une plate forme orientée agent pour le data mining », En vue de l'obtention du diplôme de Magister en informatique, Université HADJ LAKHDAR – BATNA, 2009-2010
- [2] M. Diday : « Axe d'analyse : les voitures Françaises et Allemande » Projet DataMining, eremy Bodart Qi Li 25/03/2008
- [3] Mme BELARIF Hayat et Melle BOUZID Tassadit : « DATA MINING ET DATA WAREHOUSE », En vue de l'obtention du Diplôme de Master En Recherche Opérationnelle, UNIVERSITE DE MOULOUDE MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2011/2012
- [4] BENAMAR HOUMADI : « ÉTUDE EXPLORATOIRE D'OUTILS POUR LE DATA MINING », COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA MATRISE EN MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE APPLIQUÉES, L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC A TROIS-RIVIÈRES, Avril 2007
- [5] BENDJEBAR Safia : « Utilisation des Techniques de Data Mining pour la Modélisation des Tuteurs », Thèse de doctorat troisième cycle, Université 8 mai 1945 Guelma, Soutenue publiquement le : 17 /04 /2016
- [6] D. HAND, H. MANNILA et P. SMYTH, Principles of Data Mining, MIT Press, Cambridge, MA, 2001.
- [7] P. CABENA, P. HADJINIAN, R. STADLER, J. VERHEES et A. ZANASI, Discovering Data Mining: From Concept to Implementation, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1998.
- [8] E-G. TALBI, Fouille de données (Data Mining) : Un tour d'horizon, Laboratoire d'Informatique Fondamentale de Lille.
- [9] Dr Henning Bay-Nielsen, Dr Birthe Frimodt-Moller, Développement d'outils d'aide à la décision, Rapport final octobre (2000)
- [10] , EL Moukhtar Zemmouri : *Processus d'extraction de connaissances à partir de données: Représentation et gestion des connaissances multi-points*, PAF, 2014 ([ISBN 9783838140483](#))
Biblio ...processus
- [11] S. PRABHU, N. VENKATESAN, Data Mining and Warehousing, New Age International (P) Ltd., Publishers, New Delhi, 2007.
- [12] Introduction Data Mining, rapporté de www-lmgm.biotoul.fr/enseignements/M2Pro_Bioinfo/intro.pdf
- [13] le magit publié par margaret rouse gestion de données et base de données disponible sur : <https://www.lemagit.fr/definition/Matrice-de-confusion>
- [14] wikimediaet <https://sites.google.com/site/zubosapra/home/introduction>
- [15] « DATA mining project disponible sur : <https://sites.google.com/site/zubosapra/results>
- [16] yutaka sasaki ,school of computer science university of manchester,octobre 26.2.007
- [17] Eric YABAS , Manel MERAD , Marc HOLZWARTH, Charlemagne ADECHINA « PRÉSENTATION DU LOGICIEL DE DATA-MINING WEKA(-PENTAHO) V3.8 » the university of waikato, 26 octobre 2016

[18] Mark Dodge et Craig Stinson (trad. de l'anglais), *Microsoft Excel 2007*, Paris, Microsoft Press, coll. « De fond en comble », 2007, 576 p. (ISBN 978-2-10-051179-2, présentation en ligne [archive])

[19] <https://www.futura-sciences.com/tech/>