

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Sciences de l'ingénierat
Département : Electronique
Domaine : Sciences et technologie
Filière : Télécommunications
Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

Contribution à l'optimisation du canal dans les systèmes de télécommunications des réseaux mobiles

Présenté par : ARIOUA SARA / MESSAOUDI KARIMA

Encadrant : SAHRAOUI LEILA MCB UMBA

Jury de Soutenance :

BOULMAIZ Amira	MCB	UMBA	Président
SAHRAOUI LEILA	MCB	UMBA	Encadrant
REDJATI Abdelghani	MCB	UMBA	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

Dédicace

Nous dédions ce travail à nos chers parents : qui n'ont jamais cessé de nous encourager et nous conseiller, Ils nous ont beaucoup aidé tout au long de notre chemin.

Nos chers frères et sœurs : Pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

Nos amis et collègues : Pour leur compagnie et bons moments passés ensemble.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du secondaire et d'universitaire.

Et tous ceux qui nous sont chers...

Merci d'être toujours là pour nous.

Que Dieu vous garde.

Sara et Karima

Remerciements

- *Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude a notre cher professeur et encadrant Mme « Sahraoui Leila » pour son suivi et pour son énorme soutien et pour le temps qu'elle à consacré et pour les précieuse informations qu'elle nous prodiguées avec intérêt et compréhension , qu'elle n'a cessé de nous prodiguer tout au long de la période de projet .*
- *J'adresse aussi mes vifs remerciements aux membres des jurys pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.*

Résumé

Le déploiement de nouvelles générations des réseaux de télécommunications mobiles tel que la 4G et la 5G exige l'existence de nombreuses évolutions technologiques, afin de répondre aux besoins des différentes applications pratique en termes de qualité et de débit du signal, permettant ainsi de garantir de meilleures performances dans de nombreux secteurs. Les performances de ces applications sont principalement impactées par les limites du réseau et surtout subissent des dégradations causées par l'environnement traversé lors de la transmission.

Effectivement le passage du signal à travers un canal radio mobile entraîne des dégradations et des pertes d'informations et des atténuations du signal, dues au phénomène des trajets multiples, ainsi que les effets d'interférence d'inter symboles (ISI), qui rend le canal très hostile.

Afin d'éliminer la distorsion du signal reçu, le canal doit être ajusté, en utilise alors un égaliseur adaptatif capable de s'adapter aux perturbations causées par le canal radio mobile.

Dans ce mémoire nous avons appliqué un filtrage adaptatif avec les filtres (LMS, NLMS et RLS) pour l'égalisation du canal. Ensuite une méthode hybride basée sur l'association des filtres adaptatifs et des réseaux de neurones multicouche PMC (perceptron multicouches) a été déployée. Ces deux méthodes ont été exploités sur des modèles de canaux radio mobile tel que COST 207 RA, COST 207 BUX6 et le canal de Rayleigh.

Mots clé : les filtres adaptatif, LMS, NLMS et RLS, 4G, 5G, COST 207.

Abstract:

The deployment of new generations of mobile telecommunications networks such as 4G and 5G requires the existence of numerous technological developments, in order to meet the needs of the various practical applications in terms of signal quality and speed, thus making it possible to guarantee better performance in many industries. The performance of these applications is mainly impacted by the limits of the network and above all are subject to degradation caused by the environment traversed during transmission.

Indeed, the passage of the signal through a mobile radio channel causes degradation and loss of information and signal attenuations, due to the phenomenon of multiple paths, as well as the effects of inter-symbol interference (ISI), which makes the very hostile channel.

In order to eliminate the distortion of the received signal, the channel must be adjusted, then use an adaptive equalizer capable of adapting to the disturbance caused by the mobile radio channel.

In this thesis we have applied adaptive filtering with filters (LMS, NLMS and RLS) for channel equalization. Then a hybrid method based on the association of adaptive filters and multilayer neural networks PMC (multilayer perceptron) was deployed. These two methods have been used on models of mobile radio channels such as COST 207 RA, COST 207 BUX6 and the Rayleigh channel.

Key words: Adaptive filters LMS, NLMS et RLS, 4G, 5G, COST 207.

ملخص:

يتطلب نشر أجيال جديدة من شبكات الاتصالات المتنقلة مثل 4G و 5G وجود العديد من التطورات التكنولوجية، من أجل تلبية احتياجات التطبيقات العملية المختلفة من حيث جودة الإشارة وسرعتها، مما يجعل من الممكن ضمانها. أداء أفضل في العديد من الصناعات. يتأثر أداء هذه التطبيقات بشكل أساسي بحدود الشبكة وقبل كل شيء يخضع للتدهور الناجم عن البيئة التي يتم اجتيازها أثناء الإرسال.

في الواقع، يؤدي مرور الإشارة عبر قناة راديو متنقلة إلى تدهور وفقدان المعلومات وتوهين الإشارة، بسبب ظاهرة المسارات المتعددة، فضلاً عن تأثيرات التداخل بين الرموز (ISI)، مما يجعل القناة المعادية جداً.

من أجل القضاء على تشوه الإشارة المستقبلية، يجب ضبط القناة، ثم استخدام معادل تكيفي قادر على التكيف مع الاضطراب الذي تسببه قناة الراديو المتنقلة.

في هذه الأطروحة قمنا بتطبيق التصفية التكيفية مع المرشحات (LMS و NLMS و RLS) لمعادلة القناة. ثم تم نشر طريقة هجينة تعتمد على ارتباط المرشحات التكيفية والشبكات العصبية متعددة الطبقات (PMC perceptron متعدد الطبقات). تم استغلال هاتين الطريقتين في نماذج القنوات الراديوية المتنقلة مثل COST 207 و COST 207 RA و BUX6 وقناة Rayleigh.

الكلمات الرئيسية: المرشحات التكيفية، LMS، NLMS، RLS، 4G، 5G، COST 207.

Table des matières

Dédicace	
Remerciements	
Résumé.....	I
Abstract.....	II
ملخص	III
Table des matières.....	IV
Les Acronymes et Abréviations	IV
Liste des Figures.....	XI
Liste des tableaux	XIV
Introduction générale	1
Chapitre1 : L'évolution Des Réseaux Mobiles De la 4G à la 5G	
Introduction	3
1.Historique	3
2. La quatrième génération des téléphones mobiles 4G (LTE)	4
2.1. Introduction sur la 4G	4
2.2. Études des performances des réseaux 4G	4
2.3. Les caractéristiques fondamentales de la LTE	5
2.4. Buts de la 4G	5
2.5. Techniques d'accès multiples de la 4G	5
2.5.1. OFDMA	5
2.5.2 SC-FDMA	6
3. La cinquième génération des téléphones mobiles (5G)	7
3.1. Introduction sur la 5G	7
3.2. Catégories d'usage de la 5G	7
3.3. Le principe de la technologie du 5G	8

Table des matières

3.3.1. Les micros-celles	8
3.3.3. MIMO massif	8
3.3.4. Beamforming	9
3.3.5. Full-Duplex.....	9
4. Architecture de la 5G	9
4.1. Les paramètres de performance des systèmes 5G.....	10
4.2. Les services mobiles à large bande (MBB)	11
4.3. L'internet des objets (IoT)	11
5. Les trajets multiples	11
6.1. Caractéristiques du canal multi trajets.....	12
6.1.1. Aspect négatif des trajets multiples.....	12
6.2. Modélisation de canal	13
7. Exemples de modèles de canaux discrets à voies multiples	14
7.1. Le canal de Rayleigh.....	14
7.2. Le canal COST 207	15
7.3. Les canaux COST 231 et COST 259	16
7.4. Le canal COST 273	16
7.5. UMTS / UTRA	17
7.6 LTE.....	17
8. Conclusion	19

Chapitre 2 : Egalisation du canal

Partie 1 : filtrage adaptatif.....	20
Introduction :.....	20
1. Principe de filtrage adaptatif	20
1.1.Définition d'un filtre adaptatif	20
2. Filtrage de WIENER	21
2.1.Le filtre Wiener	21

Table des matières

2.2.Problème d'estimation linéaire	21
2.3.Problème d'égalisation adaptative	22
2.4.Applications du filtrage de Wiener	23
2.4.1. L'Identification de Systèmes.....	23
2.4.2. Prédiction.....	24
2.4.3. Modélisation inverse (égalisation, dé convolution, Identification de l'inverse d'un système)	24
2.4.4. Annulation d'interférences (annulation d'écho, suppression de bruit)..	24
3. Paramètres d'évaluation des performances	25
3.1 : L'erreur quadratique moyenne (MSE)	25
3.2 : Le rapport signal sur bruit (RSB)	25
4. Algorithmes adaptatifs	25
4.1 : Choix de l'algorithme	25
4.2 : Types d'algorithmes adaptatifs	26
4.2.1. Algorithme LMS	26
4.2.2. Algorithme NLMS	28
4.2.3. Algorithme RLS	29
5.Comparaison	29
6.Conclusion	30
Partie 2 : Les Réseaux de Neurones.....	31
1. Introduction	31
2. Réseaux de neurones.....	31
2.1. Nature des entrées	32
2.2.La fonction d'activation ou de transfert.....	32
3. Propriétés	33
3.1 Les poids synaptiques	33
3.2. L'apprentissage.....	33

Table des matières

3.3. Apprentissage supervisé	34
3.4. Apprentissage non supervisé	34
4. Architecture des réseaux des neurones	34
4.1. Les réseaux de neurone sans couche(bouclé)	34
4.2. Les réseaux de neurone à couche	34
5. Les différents modèle	35
5.1 Réseaux à base de fonction radial ou Radial-basis fonction(RBF)	35
5.2 Réseaux de Hopfield.....	35
5.3. Les cartes de Kohonen ou Kohonen Self-Organising Feature Maps (SOFM)	35
5.4. Perceptron multicouches (PMC)	35
5.4.1 Architecture	35
5.4.2. Entraînement des réseaux de neurones	36
5.4.3. Apprentissage.....	37
6. Domaine d'application	37
7. Conclusion	38

Chapite3 : Simulation et discussion des Résultats

Introduction	39
1.Simulation avec les filtres adaptatifs	39
1.1. Principe de la simulation	39
2.1. Résultats des simulations avec les filtres sur le canal COST 207 RA	39
2.1.1. Résultats d'égalisation avec le filtre LMS	39
2.1.2 Résultats d'égalisation avec le filtre NLMS	40
2.1.3 Résultats d'égalisation avec le filtre RLS	41
3.2.Résultats des simulations avec les filtres sur le canal BUX6	42
3.2.1 Résultats d'égalisation avec le filtre LMS ($\mu=0.01$)	42

Table des matières

3.2.2	Résultats d'égalisation avec le filtre NLMS ($\mu=0.01$)	43
3.2.3	Résultats d'égalisation avec le filtre RLS ($\mu=0.99$)	44
3.3.1	Résultats d'égalisation avec le filtre LMS canal de Rayleigh ($\mu=0.001$)	45
3.3.2	Résultats d'égalisation avec le filtre NLMS canal de Rayleigh	46
3.3.3	Résultats d'égalisation avec le filtre RLS canal de Rayleigh ($\mu=0.99$)...	47
4.	Résultats de l'égalisation hybride avec de réseaux de neurones PMC	50
4.1.	Principe	50
5.	Résultats des simulations PMC hybride	50
5.1.	Résultats d'égalisation avec filtre et réseau PMC sur le canal COST 207 RA	50
5.1.1	Résultats des simulations d'égalisation LMS et réseau PMC	50
5.1.2.	Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre NLMS et réseau PMC	51
5.1.3.	Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre RLS et réseau PMC	51
5.2.	Résultats des simulations d'égalisation sur le canal BUX6	52
5.2.1	Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre LMS et réseau PMC	52
5.2.2.	Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre NLMS réseau PMC	53
5.3.	Résultats des simulations d'égalisation sur le canal Rayleigh	54
5.3.1.	Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre LMS réseau PMC	54
5.3.2.	Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre NLMS réseau PMC	55
5.3.3.	Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre RLS réseau PMC	

Table des matières

.....	56
6.Conclusion	57
 Conclusion et Perspective	
Conclusion générale	58
Perspective	59
 Références bibliographiques.....	
	60

Acronymes & Abréviations

- + **3GPP** : Projet de partenariat de troisième génération.
- + **ADSL** : Asymmetric Digital Subscriber Line.
- + **ARCEP** : Autorité de régulation des communications électroniques et des Postes.
- + **CDMA** : Code Division Multiple Access (accès multiple par répartition de code).
- + **COST** : European cooperation in the field of scientific and technical research.
- + **DCS** : Digital Communication System.
- + **DECT** : Digital enhanced cordless telecommunications.
- + **FDMA** : Accès Multiple par Répartition en Fréquence.
- + **GSM** : Global System for Mobile Communications.
- + **GSM/EDGE** : Enhanced Data Rates for GSM Evolution.
- + **HIPERLAN** : High Performance European Radio local area network.
- + **HSDPA** : High Speed Downlink Packet Access.
- + **IMT-Advanced** : International Mobile Telecommunications-Advanced.
- + **MIMO** : Multiple Input, Multiple Output.
- + **MU-MIMO** : multi-utilisateur-Multiple Input, Multiple Output.
- + **NG-RAN** : Next Generation Radio Access Network.
- + **OFDM** : Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
- + **OFDMA** : Orthogonal Frequency Division Multiple Access.
- + **PDU** : Protocol Data Unit.
- + **QOS** : quality of service.
- + **QPSK** : Quadrature phase-shift keying.
- + **SC-FDMA** : single-carrier frequency division multiple access

- + **SISO** : Single Input Single Output.

- + **SMS** : Short Message Service.
- + **SOFM** : Self-Organising Feature Maps.
- + **TCP/IP** : Transmission Control Protocol/Internet Protocol.
- + **TDMA** : Accès Multiple par Répartition en Temps.
- + **TD-SCDMA** : Time Division Synchronous Code Division Multiple Access.
- + **UMTS** : Universal Mobile Telephony System.
- + **UTRA** : Universal Terrestrial Radio Access.
- + **WCDMA** : Wideband Code Division Multiple Access.
- + **Wi-Fi** : Wireless Fidelity.
- + **WiMax** : Worldwide Interoperability for Microwave Access.

Liste des figures

Chapitre 01 :

Figure 1.1. : Les cas d'usage de la 5G	8
Figure 1.2 : Architecture de réseau 5G.....	9
Figure1.3 : La propagation par trajets multiples.....	12

Chapitre 02 : partie 1

Figure (2.1).1: Principe de filtrage adaptatif.....	20
Figure (2.1).2: Filtrage de Wiener.....	21
Figure (2.1).3 : Schéma général d'un problème d'estimation linéaire.....	22
Figure (2.1).4: Configuration d'un égaliseur adaptatif.....	23
Figure (2.1).5: Principe de l'identification.....	23
Figure (2.1).6: Principe de la prédiction.....	24
Figure (2.1).7: Principe de la modélisation inverse.....	24
Figure (2.1).8: Principe de l'annulation d'interférence.....	24

Chapitre 02 : partie 2

Figure (2.2).1 : Neurone artificiel [29].....	32
Figure (2.2).2. Les modèles de fonctions d'activation.....	33
Figure (2.2).3 Perceptron Multicouches(PMC).....	36

Chapitre 03 :

Figure 3.1 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage LMS canal COST 207 RA.....	40
Figure 3.2 : La convergence de la fonction MSE filtre LMS canal COST 207 RA.....	40

Liste des figures

Figure 3.3 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage NLMS canal COST 207 RA.....	41
Figure 3.4 : La convergence de la fonction MSE filtre NLMS canal COST 207 RA.....	41
Figure 3.5 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage RLS canal COST 207 RA.....	42
Figure 3.6 : La convergence de la fonction MSE filtre RLS canal COST 207 RA.....	42
Figure 3.7 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage LMS canal BUX6	43
Figure 3.8 : La convergence de la fonction MSE filtre LMS canal BUX6.....	43
Figure 3.9 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage NLMS canal BUX6.....	44
Figure 3.10 : La convergence de la fonction MSE filtre NLMS canal BUX6.....	44
Figure 3.11 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage RLS canal BUX6.....	45
Figure 3.12 : La convergence de la fonction MSE filtre LMS canal BUX6.....	45
Figure 3.13: Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage LMS canal de Rayleigh.....	46
Figure 3.14 : La convergence de la fonction MSE filtre LMS canal de Rayleigh.....	46
Figure 3.15 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage NLMS canal de Rayleigh.....	47
Figure 3.16 : La convergence de la fonction MSE filtre NLMS canal de Rayleigh.....	47
Figure 3.17: Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage RLS canal de Rayleigh.....	48
Figure 3.18 : La convergence de la fonction MSE filtre RLS canal de Rayleigh.....	48
Figure 3.19 : résultats de la régression et la convergence MSE avec LMS et PMC canal COST 207 RA.....	50

Liste des figures

Figure 3.20 : résultats de la régression et la convergence MSE avec NLMS et PMC canal COST 207 RA.....	51
Figure 3.21 : résultats de la régression et la convergence MSE avec RLS et PMC canal COST 207 RA.....	52
Figure 3.22 : résultats de la régression et la convergence MSE avec LMS et PMC canal BUX6.....	53
Figure 3.23 : résultats de la régression et la convergence MSE avec NLMS et PMC canal BUX6.....	53
Figure 3.24 : résultats de la régression et la convergence MSE avec RLS et PMC canal BUX6.....	54
Figure 3.25 : résultats de la régression et la convergence MSE avec LMS et PMC canal Rayleigh.....	55
Figure 3.26 : résultats de la régression et la convergence MSE avec NLMS et PMC canal Rayleigh.....	55
Figure 3.27 : résultats de la régression et la convergence MSE avec RLS et PMC canal Rayleigh.....	56

Liste des tableaux

Chapitre 01 :

Tableau 1.1 : Tableau comparatif entre 4G et 5G	10
Tableau 1.2 : Paramètres de performance suggérés pour les systèmes 5G.....	10
Tableau 1.3 : Principales caractéristiques des cinq canaux Bran SISO	15
Tableau 1.4 : Paramètres du canal COST 207 avec 6 taps	16
Tableau 1.5: Profiles des gains de retards du modèle canal LTE	17
Tableau 1.6: Modèles de canaux LTE pour des scénarios de propagation piéton, véhiculaire et Urbain typique	18
Tableau 1.7 : Fréquences Doppler définie pour le modèle canal LTE	18



Introduction Générale

Introduction générale

Au cours des dernières décennies, les systèmes de télécommunication ont subi une révolution importante. La connexion câblée traditionnelle a été largement remplacée, par la connexion sans fil. Les systèmes de communication sans fil devenu très populaire, principalement parce qu'ils sont beaucoup moins coûteux à mettre en œuvre.

En effet, les générations des réseaux mobiles 4G et 5G, sont fondées sur de nombreuses évolutions technologiques, et doivent répondre aux besoins d'un large panel d'applications, permettant ainsi de couvrir de nombreux secteurs. Les performances de ces applications sont principalement impactées par les limites du réseau et surtout subissent des dégradations causées par l'environnement traversé lors de la transmission.

Ces dégradations entraînent des pertes d'informations pour l'utilisateur et le système de communication avec des atténuations de puissance du signal, dues aux effets induits par le phénomène des trajets multiples, ainsi que les effets d'interférence d'inter symboles (ISI), ce qui rend le canal multi-trajet souvent sujet de situations hostiles.

Afin de remédier à ces problèmes, on utilise les techniques d'égalisation et estimation du canal. Effectivement, Le canal a besoin d'être égalisée pour éliminer la distorsion du signal reçu. Son égalisation nécessite alors un égaliseur adaptatif capable de s'adapter au canal et de poursuivre ses variations temporelles.

Dans le travail présenté par ce mémoire nous avons opté pour l'égalisation par filtrage adaptatif avec les filtres (LMS, NLMS et RLS). Une autre méthode hybride a été élaboré, elle représente l'association des filtres adaptatifs et des réseaux de neurones multicouche PMC (perceptron multicouches). Ces techniques ont été exploités sur des modèles de canaux radio mobile tel que COST 207 RA, COST 207 BUX6 et le canal de Rayleigh.

Ce mémoire est scindé en trois chapitre :

Dans le premier chapitre nous avons abordé le développement des systèmes de télécommunications mobiles où nous avons mis l'accent sur les deux générations de réseaux mobiles 4G et 5G, nous avons aussi exposés les canaux des transmissions qui modélisent le canal radio mobile tel que le COST 207 et le canal de Rayleigh.

Le second chapitre est divisé en deux partie. Une partie consacrée aux filtres adaptatifs exploités dans l'égalisation du canal. Une deuxième partie qui présente les réseaux de neurones en générale et les réseaux multicouche PMC utilisés pour la seconde méthode d'égalisation.

Introduction générale

Le troisième chapitre représente notre contribution à l'optimisation du canal et des phénomènes de dégradations liées à l'environnement. Dans ce chapitre nous avons exposé les résultats de la simulation basé sur deux méthodes, l'égalisation adaptative avec les filtres (LMS, NLMS et RLS) et une égalisation hybride avec les filtres adaptatifs et les réseaux des neurones multicouche PMC.

Enfin, une conclusion générale parachève ce mémoire les principales conclusions et contributions du travail réalisé, ainsi que quelques perspectives pour des études ultérieures.

Chapitre 1

L'évolution Des Réseaux Mobiles De la 4G à la 5G

Introduction

Après un bref historique sur les réseaux mobiles dans ce chapitre, nous allons présenter la quatrième génération des téléphones mobiles 4G, ces caractéristiques et ces techniques d'accès, puis la cinquième génération des téléphones mobiles 5G est illustrée en mettant l'accent sur les catégories d'usage de la 5G et son architecture, en finira ce chapitre par la présentation des canaux à trajets multiples avec quelques modèles de canaux radio mobiles utilisés dans la 4G et la 5G.

1.Historique

Les réseaux mobiles et les réseaux sans fil ont connu un essor sans précédent ces dernières années. La technologie dans le domaine de la téléphonie mobile n'a pas cessé de se développer depuis ces 10 dernières années.

En effet, en quelques décennies, la qualité des signaux a connu de grands changements en passant de la 2G à la 5G. Mais quelle est la principale différence entre ces différentes technologies ? Pour le comprendre nous allons revoir l'historique du développement du téléphone portable.

Le réseau de première génération 1G mis en place dans les années 70 aux États-Unis et en France. Ce réseau n'a pas connu le succès espéré à cause des problèmes de communication et de la qualité des téléphones fonctionnant sur un système de communication analogique. L'arrivée du réseau 2G dans les années 80 a été la révolution de la téléphonie mobile avec l'intégration de nouveau moyen de communication comme les SMS dans les années 90.

Le basculement des téléphones mobiles GSM vers les smartphones se fut en l'an 2000. Le développement de la 3G a permis aux périphériques mobiles de se connecter sur internet. Cette évolution a été appuyée par l'arrivée du premier iPhone d'Apple en 2007 [1].

La 3G utilise une bande passante d'une fréquence variant de 1,6 à 2 GHz. La 3G a été remplacée à partir de 2010, progressivement par la 4G qui représente actuellement le réseau standard dans les grandes villes. Il s'agit d'un réseau qui utilise une fréquence allant de 2 à 8 GHz et qui offre un débit pouvant atteindre les 100 Mb/s à 1 Gb/s [1].

Actuellement Les opérateurs de téléphonie mobile sont en train de mettre en place le réseau 5G. Le déploiement est prévu pour l'année 2020. Cette technologie permettra de profiter d'une vitesse de connexion de 5 Go/s sur une fréquence de 28 GHz. Grâce à une telle performance, la

5G sera utilisée dans différents domaines comme l'automobile, la domotique, les objets connectés ainsi que pour le visionnage de vidéo 4K.

2. La quatrième génération des téléphones mobiles 4G (LTE)

2.1. Introduction sur la 4G

Contrairement aux autres générations, la 4G se distingue par le besoin de développer de nouvelles normes et de nouveaux standards. Les systèmes 4G sont complètement orientés vers l'utilisateur final, en fournissant des services variés à haut débit et sans coupure à travers les réseaux.

2.2. Études des performances des réseaux 4G

la nouvelle norme « **LTE** » ou Long Term Evolution constitue la 4G, la quatrième génération des technologies de téléphonie mobile, et succède directement à la technologie 3G et à la 3G+, fondées sur les normes UMTS et HSDPA [2].

Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz dans une plage de fréquences théorique de 450 MHz à 3,8 GHz, permettant ainsi d'obtenir (pour une bande 20 MHz) un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en « liaison descendante » (downlink, vers le mobile) ; la « vraie 4G », appelée LTE Advanced1 offrira un débit descendant pouvant atteindre 1 Gbit/s ; ce débit nécessitera l'utilisation de bandes de fréquences de 2×100 MHz de largeur qui sont définies dans les versions 10 et 11 (3GPP releases 10 et 11) de la norme LTE Advanced1 [2].

Le LTE (Long Term Evolution) est une évolution des normes de téléphonie mobile GSM/EDGE, CDMA2000, TD-SCDMA et UMTS.

Le consortium 3GPP a fait évoluer la norme LTE en permanence (en général une nouvelle version tous les 12 à 18 mois). La 4G se caractérise par une augmentation très importante du débit de données, qui peut atteindre 150 Mb/s dans certaines conditions. Pour atteindre ce niveau de performance élevé, la 4G emploie des bandes de hautes fréquences spécifiques, qui varient selon les opérateurs et les régions géographiques. Par exemple, en France, la fréquence utilisée a tout d'abord été fixée à 2 600 MHz en octobre 2011. Une autre bande autour de 800 MHz a ensuite été accordée aux opérateurs par l'ARCEP en décembre 2011[3].

2.3. Les caractéristiques fondamentales de la LTE

La technologie LTE repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances (très haut débit et faible latence) par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples (déjà utilisées pour le Wi-Fi ou le WiMax) permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée [3].

2.4. Buts de la 4G

La 4^{ème} Génération vise à améliorer l'efficacité spectrale et à augmenter la capacité de gestion du nombre de mobiles dans une même cellule. Elle tente aussi d'offrir des débits élevés en situation de mobilité et à offrir une mobilité totale à l'utilisateur [4].

Les principaux objectifs visés par les réseaux de 4^{ème} Génération sont les suivants :

- Assurer la continuité de la session en cours.
- Réduire les délais et le trafic de signalisation.
- Fournir une meilleure qualité de service.
- Optimiser l'utilisation des ressources.
- Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout.
- Minimiser le coût de signalisation.

2.5. Techniques d'accès multiples de la 4G

2.5.1. OFDMA

L'OFDMA est une technologie de codage radio de type « Accès multiple par répartition en fréquence » qui est utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} Génération LTE. Elle est également utilisée par d'autres systèmes de radiocommunication, tels les versions évoluées des normes de réseaux locaux sans fil WIFI ainsi que par certaines normes de télévision numérique. Comme pour d'autres techniques de codage permettant l'accès multiples (TDMA, FDMA, CDMA), l'objectif est de partager une ressource radio commune (bande de fréquence) et d'en attribuer dynamiquement des parties à plusieurs utilisateurs [4].

L'OFDMA et sa variante SC-FDMA sont dérivés du codage OFDM (utilisé par exemple sur les liens ADSL et dans les réseaux WiFi), mais contrairement à l'OFDM, l'OFDMA est optimisé pour l'accès multiple.

L'OFDMA a attiré l'attention comme une alternative séduisante au codage CDMA qui est utilisé dans les réseaux 3G UMTS, particulièrement dans le sens de transmission downlink des réseaux mobiles, car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé grâce à sa grande efficacité spectrale (nombre de bits transmis par Hertz) et à sa capacité à conserver un débit élevé même dans des environnements défavorables avec échos et trajets multiples des ondes radio.

2.5.2 SC-FDMA [4]

Le **Single-Carrier FDMA** est une technologie de codage radio de type accès multiple par répartition en fréquence utilisée notamment dans les réseaux de téléphonie mobile de 4^{ème} génération LTE.

Le SC-FDMA peut être considéré comme une variante linéaire des codages OFDM et OFDMA, dans le sens où il consiste aussi à répartir sur un grand nombre de sous-porteuses le signal numérique, en utilisant en complément la Transformation de Fourier Discrète du signal «DFT», supplémentaire pour pré-coder l'OFDMA conventionnel.

Le SC-FDMA est désignée particulièrement dans les communications terre-satellite et dans le sens de transmission montant des réseaux 4G LTE où son PAPR (peak-to-average power ratio) plus faible que celui de l'OFDMA bénéficie au terminal mobile en termes d'efficacité énergétique, en diminuant la puissance crête d'émission et donc le poids et le coût du terminal (Smartphone ou tablette tactile). Il a été adopté pour les liaisons uplink de certaines normes 3GPP, plus particulièrement pour la partie radio des réseaux mobiles « LTE », car ce codage permet de diminuer la consommation électrique du terminal et donc d'augmenter l'autonomie de sa batterie. Pour les liaisons radio downlink des réseaux LTE, pour lesquelles il y a moins de contraintes énergétiques, c'est l'OFDMA qui est utilisé car il permet pour une même largeur spectrale, un débit binaire plus élevé [4].

3. La cinquième génération des téléphones mobiles (5G)

3.1. Introduction sur la 5G

La 5G est la cinquième génération des standards en matière de téléphonie mobile. Les systèmes sans fil de la 5ème génération, sont améliorés utilisés à partir de 2018. Les principales technologies comprennent les bandes millimétriques (26, 28, 38, et 60 GHz), qui assurent des performances jusqu'à 20 gigabits par seconde. »

La 5G n'est plus seulement un accès mobile très performant, mais un véritable réseau d'intégration comprenant un ensemble de technologies permettant d'offrir des services adaptés comme la télémédecine, la ville intelligente, la voiture connectée, l'accès à Internet à très haut débit pour des applications de réalité virtuelle.

3.2. Catégories d'usage de la 5G [5]

La 5G est la première génération de téléphonie mobile à être conçue pour des cas d'usage autres que la voix et la donnée. L'objectif serait de pouvoir répondre à une demande toujours plus grande en termes de quantité de données et de vitesse de transfert.

Les cas d'usage de la 5G se définissent selon les trois catégories suivantes :

- L'eMBB pour enhanced Mobile Broad Band, c'est-à-dire des communications mobiles ultra haut débit. Cet usage se trouve dans la continuité des précédentes générations de téléphonie mobile et permet de répondre à l'augmentation exponentielle de l'utilisation des données mobiles. Les applications de cette catégorie sont typiquement des flux vidéo de qualité de plus en plus grande et aussi des applications de réalité virtuelle.

- Le mMTC pour massive Machine Type Communication, c'est-à-dire les communications entre objets. L'internet des objets rentre dans cette catégorie. Il s'agit dans cette catégorie de pouvoir gérer un nombre très important de connexions (jusqu'à un million par kilomètre carré). La quantité de données à transmettre par communication est en général limitée et la rapidité de transfert peu contraignante. Un domaine d'application typique est la ville intelligente avec des réseaux de capteurs pour gérer différents services.

- L'uRLLC pour ultra Reliable Low latency Communication, c'est-à-dire les communications dites critiques, pour lesquelles la fiabilité et le temps de réponse sont primordiaux. L'application phare de cette catégorie est le véhicule autonome mais les communications des services de sécurité et d'urgence sont également concernées. Il ne doit pas

Il faut éviter d'échec ou de coupure de communication et la transmission doit être la plus rapide possible.

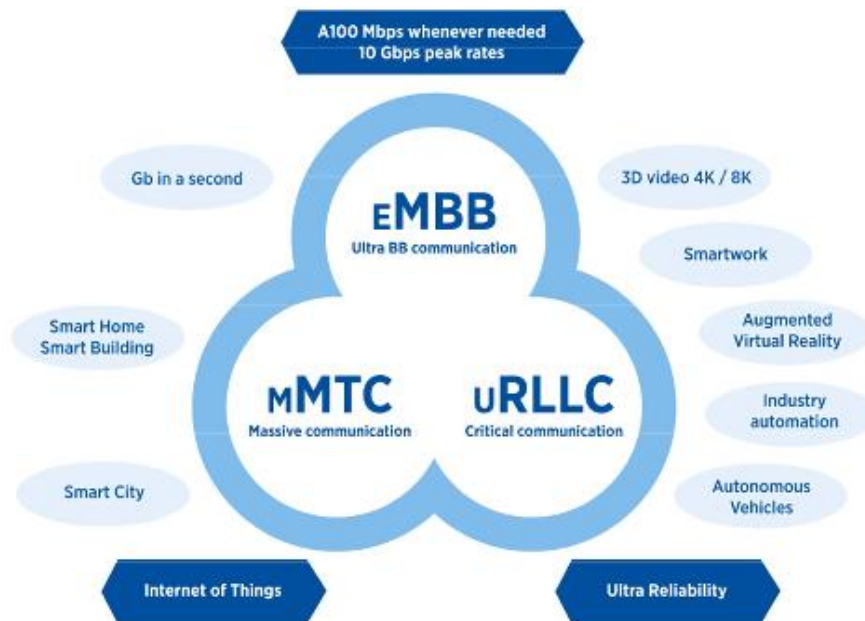


Figure 1.1 : Les cas d'usage de la 5G [5]

3.3. Le principe de la technologie du 5G

La 5G utilise des fréquences de diffusion ultra-hautes (UHF entre 6-300 GHz) c'est-à-dire les ondes millimétriques (couvrant les fréquences de 30 à 300 GHz) pour transférer rapidement d'énormes quantités de données, en sachant que la plage de diffusion est limitée, en survenant ce problème là en utilisant la technologie de Beamforming à travers MU-MIMO (multi-utilisateur MIMO) qui permet la diffusion continue des données sur plusieurs appareils et le processus multi-cell Handover pour assurer des connexions solo de l'ordre de gigabit même en marche.

3.3.1. Les micros-celles

Un dispositif qui offre l'augmentation de l'efficacité spectrale de la zone d'une part et d'autre part la réduction de la taille de la cellule où le nombre réduit d'utilisateur par cellule qui fournit plus de spectre à chaque utilisateur.

3.3.3. MIMO massif

Ce concept il fait référence au grand nombre d'antennes utilisées dans un réseau MIMO.

3.3.4. Beamforming

La possibilité d'adapter le diagramme de rayonnement du réseau d'antennes selon un certain modèle.

3.3.5. Full-Duplex

Caractérise une connexion série où réseau qui permet la réception et l'émission de données simultanément.

4. Architecture de la 5G

Un réseau 5G est composé d'un réseau d'accès 5G (AN) et d'un réseau cœur 5G. Le réseau d'accès lui-même est constitué de la nouvelle génération de réseau d'accès radio (NG-RAN), qui utilise la nouvelle interface radio 5G(NR), et/ou un non 3GPP AN connecté au réseau cœur 5G. Les différentes entités de réseau sont connectées par un réseau de transport TCP/IP sous-jacents, qui prend en charge les fichiers QOS [2].

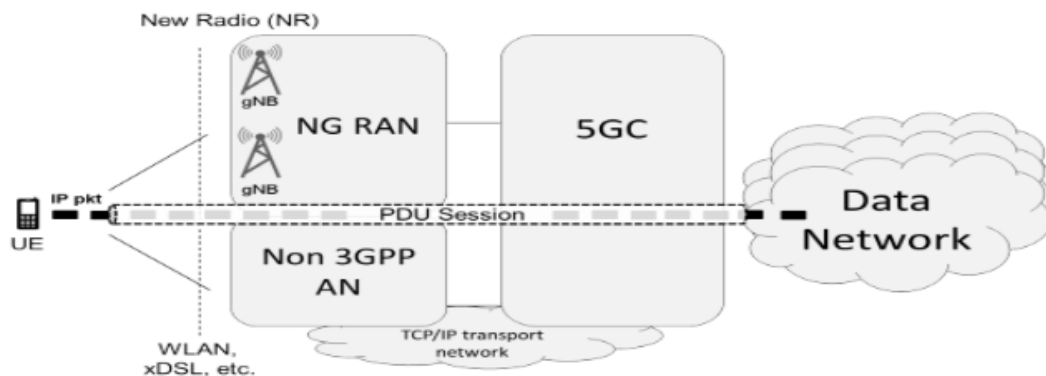


Figure1.2 : Architecture de réseau 5G

Comme le montre la figure4 le réseau 5G connecte l'équipement d'utilisateur (UE) à des réseaux de données externes. La session PDU représente le service de connectivité 5G, elle constitue par une séquence de tunnels NG dans le 5GC plus un ou plusieurs porteurs radios sur l'interface radio. Cet ensemble de "tubes "relie finement le UE à ses fonctions de contrôle ainsi que le réseau de données externe pour l'échange de trafic d'utilisateur [6].

Tableau 1.1 : Tableau comparatif entre 4G et 5G :

Performances /Génération	4G	5G
1. Débit maximal (Gbit/s)	1	20
2. Débit aperçu par l'utilisateur (Mbit/s)	10	100
3. Efficacité spectrale	1x	3x
4. Vitesse (km/h)	350	500
5. Latence (ms)	10	1
6. Nombre d'objets connectés sur une zone (quantité d'objets/km ²)	10 ⁵	10 ⁶
7. Efficacité énergétique du réseau	1x	100x
8. Débit sur une zone (Mbit/s /m ²)	0.1	10

4.1. Les paramètres de performance des systèmes 5G

Même si les paramètres de performance des systèmes 5G n'aient pas encore standardisés, les paramètres typiques sont indiqués au Tableau [7].

Tableau 1.2 : Paramètres de performance suggérés pour les systèmes 5G

Paramètre	Performance 5G suggérée	Performance IMT avancée
Capacité du réseau	10000 fois la capacité du réseau actuel	Liaison descendante de 2.2 et montante de 1.4 (bps/Hz/cellule)
Débit de données de pointe	10 Gbps	Liaison descendante de 3 Gbps et montante de 1.5 Gbps
Latence	Moins de 1 ms	10 ms
Efficacité spectrale maximale	2/3/5 meilleure par rapport à IMT-Advanced	6.75 bps/Hz

En outre, les systèmes 5G offrent des fonctionnalités de gestion du réseau qui permettent aux opérateurs mobiles de créer des réseaux virtuels multiples dans un seul réseau 5G physique, l'internet des objets (IoT) pourrait utiliser cette tranche pour des connexions sûres, destinées seulement aux données [8].

Outre le spectre micro-onde conventionnel, tel qu'utilisé pour 4G LTE, le système 5G s'appuie sur des fréquences situées dans la bande millimétrique, entre 30 GHz et 300 GHz. En

raison de l'affaiblissement du trajet dans cette bande, les ondes ne peuvent circuler que sur des distances courtes et seront transmises par un grand nombre de stations à petites cellules.

On peut reconnaître deux cas principaux d'utilisation des systèmes 5G [9].

4.2. Les services mobiles à large bande (MBB)

Les services mobiles à large bande ont été le principal moteur de la 4G et constituent le cas d'utilisation le plus critique de la 5G. Ces services incluent l'accès Internet sans fil via des modems et d'autres appareils mobiles. Aujourd'hui, un grand pourcentage des utilisateurs des MBB demande la lecture vidéo en transit et le téléchargement. Comme les vidéos à résolution supérieure telles que 4K deviennent plus communes, les réseaux 4G ne pourront faire face à un grand nombre d'utilisateurs en même temps. MBB requiert des réseaux à faible latence et de plus grande capacité. Les systèmes 5G seront une solution pour la demande croissante de MBB.

4.3. L'internet des objets (IoT)

Comme indiqué ci-dessus, IoT transmet ses données par un réseau sans requérir l'intervention humaine. D'une part, on a des réseaux adaptables d'un grand nombre de dispositifs à bas prix et à faible puissance, qui requièrent un transfert peu fréquent d'une très petite quantité de données, et qui ne sont pas sensibles aux retards, tels que les réseaux de capteurs sans fil, les maisons intelligentes, les villes intelligentes et etc. D'autre part, dans d'autres applications, on a besoin d'une communication machine à machine extrêmement fiable, à faible latence, comme les véhicules autonomes, la chirurgie à distance et l'automatisation industrielle.

En parcourant un trajet entre l'émetteur et le récepteur, le signal transmis transite par un canal de propagation appelé canal radio mobile, où il subira plusieurs phénomènes qui ont souvent un effet dégradant sur la qualité du signal. Cette dégradation se traduit en pratique par des erreurs dans les messages reçus qui entraînent des pertes d'informations pour l'utilisateur ou le système. Ces phénomènes sont présentés par des trajets multiples.

5. Les trajets multiples

Le canal de transmission radio mobile fait partie des canaux à trajets multiples. Effectivement, c'est un des supports de communication les plus variables et les plus incontrôlables. En effet lors du passage par un trajet entre l'émetteur et récepteur les ondes

radioélectriques sont susceptibles aux nombreuses irrégularités qui ont un effet de dégradation sur la qualité du signal tels que, la température, l'humidité du milieu traversé et obstacles du milieu (bâtiment, relief, végétation). Suivant leur direction d'émission, les ondes empruntent des chemins différents, en fonction du type d'obstacles rencontrés sur leur parcours, elles subissent des phénomènes de réflexion, de réfraction, de diffraction et de diffusion (voir la Figure 2.6) [10].

Il en résulte une multitude de trajets élémentaires au niveau du récepteur caractérisé chacun par un retard, une atténuation et un déphasage propres. Ainsi, Le canal de propagation radioélectrique entre une station fixe et une station mobile est caractérisé par l'existence de trajets multiples.

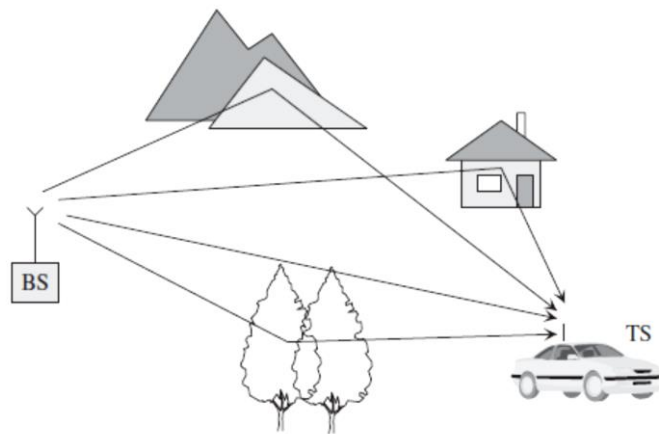


Figure1.3 : La propagation par trajets multiples

6.1. Caractéristiques du canal multi trajets

Le principal avantage des trajets est de permettre aux communications d'avoir lieu dans les cas où l'émetteur et le récepteur ne sont pas en visibilité directe. Les trajets multiples assurent une certaine continuité de la couverture radio permettent aux ondes radio de "franchir " les obstacles (montagnes, bâtiments, tunnels...).

6.1.1. Aspect négatif des trajets multiples

- L'obstruction

L'obstruction apparaît quand un trajet radio est dissimulé par un ou plusieurs objets (obstacles naturels ou construits par l'homme). L'onde résultante subit une perte de puissance correspondante au mécanisme de propagation impliqué (la réflexion, la diffraction ou la diffusion).

- La dispersion des retards (Delay spread) :

Les trajets réfléchis sont généralement plus longs que le trajet direct c'est-à-dire qu'ils atteignent l'émetteur plus tard que le trajet direct. Les signaux provenant de la même émission arrivent donc au niveau de l'émetteur avec des retards différents.

- Evanouissements (ou fading) de Rayleigh :

Après réflexion sur un obstacle, l'onde radio peut être altérée en phase et en amplitude. Le phénomène d'évanouissements ou de fading résulte des variations temporelles des phases. Celles-ci peuvent résulter de signaux multiples s'ajoutant de façon destructive au niveau du récepteur. Dans ce cas, le signal reçu résultant sera très faible ou pratiquement nul. Les signaux multiples reçus peuvent également s'additionner de façon constructive et le signal reçu résultant est alors plus puissant que le signal du seul trajet direct [11].

- Décalage en fréquence (Doppler shift)

L'effet Doppler est un phénomène dû au déplacement de la station mobile par rapport à la station de base. Il entraîne une variation dans la fréquence du signal reçu appelée décalage Doppler. Ce décalage en fréquence dépend essentiellement de deux facteurs : la direction de déplacement et la vitesse du récepteur par rapport à l'émetteur.

La propagation Doppler est causée par des objets en mouvement dans le canal radio mobile. Les changements dans les phases et les amplitudes des ondes arrivantes conduisent à une propagation variante dans le temps par trajets multiples.

En effet, le spectre de densité de puissance Doppler $S(f_D)$ caractérise la variance temporelle du canal de radiocommunication mobile et donne la puissance moyenne de la sortie du canal en fonction de la fréquence Doppler f_D . Les propriétés de dispersion en fréquence des canaux à trajets multiples sont le plus souvent quantifiées par la fréquence Doppler maximale f_{Dmax} et par l'étalement Doppler f_D . L'étalement Doppler est la largeur de bande du spectre de densité de puissance et peut prendre des valeurs jusqu'à deux fois $|f_{Dmax}|$.

$$f_{Dspread} \leq 2|f_{Dmax}| \quad (1.1)$$

6.2. Modélisation de canal

Le canal radio mobile est supposé être un processus aléatoire stationnaire au sens large, c'est-à-dire que le canal a un évanouissement statistique qui reste constant sur de courtes périodes de temps ou de petites distances spatiales [12]. Dans l'environnement de propagation sur plusieurs

trajets, la réponse impulsionnelle du canal est composée d'un grand nombre d'impulsions dispersées reçues sur N_p trajets différents [13]

Le canal radio mobile peut être caractérisé par la réponse impulsionnelle du canal variant dans le temps $h(\tau, t)$ ou par la réponse fréquentielle du canal variant dans le temps $H(f, t)$, qui est la transformée de Fourier de $h(\tau, t)$.

$$h(\tau, t) = \sum_{p=0}^{N_p-1} a_p e^{j(2\pi f_{D,p}t + \varphi_p)} \delta(\tau - \tau_p) \quad (1.2)$$

$$\text{ou } \delta(\tau - \tau_p) = \begin{cases} 1 & \text{if } \tau = \tau_p \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1.3)$$

et a_p , $f_{D,p}$ et τ_p sont l'amplitude, la fréquence Doppler, la phase et le délai de propagation, respectivement associé au trajet p , où $p = 0, \dots, N_p-1$. La réponse fréquentielle attribuée au canal est :

$$H(f, t) = \sum_{p=0}^{N_p-1} a_p e^{j(2\pi(f_{D,p}t - f\tau_p) + \varphi_p)} \quad (1.4)$$

Les retards sont mesurés par rapport au premier trajet détectable au niveau du récepteur. La fréquence doppler est :

$$f_{D,p} = \frac{v \times f_c \times \cos(\alpha_p)}{c} \quad (1.5)$$

Dépend de la vitesse de la station terminale v , la vitesse de la lumière C , de la fréquence porteuse f_c , et l'angle incidence α_p .

7. Exemples de modèles de canaux discrets à voies multiples

Divers modèles de canaux discrets à voies multiples pour des systèmes cellulaires intérieurs et extérieurs avec différentes tailles de cellules ont été spécifiés. Ces modèles de canaux définissent les statistiques des chemins de propagation discrets. Un aperçu des modèles de canaux multi-trajets discrets largement utilisés est cité dans ce qui suit :

7.1. Le canal de Rayleigh

Il représente l'un des canaux utilisés pour modéliser le canal radio mobile, le tableau suivant est un exemple de canal de Rayleigh avec les paramètres équivalents.

Tableau 1.3 : Principales caractéristiques des cinq canaux Bran SISO [14].

Canal	Nombre de trajets	Etalement moyen des retards	Los/Nlos	Environnement
A	18	50 ns	Nlos (Rayleigh)	intérieur, zone fermée, type bureau
B	18	100 ns	Nlos (Rayleigh)	intérieur, zone ouverte
C	18	150 ns	Nlos (Rayleigh)	Idem canal Bran B avec des points d'accès différents
D	18	140 ns	Los (Rice)	Idem canal Bran B avec trajet Direct
E	18	250 ns	Nlos (Rayleigh)	Zone ouverte étendue, type hall d'exposition

7.2. Le canal COST 207 [15]

Les modèles de canal COST 207 spécifient quatre scénarios de propagation outdoor (extérieurs) de macro-cellules, avec des spectres de densité de puissance à délai continu décroissant de manière exponentielle. La mise en œuvre de ces spectres de densité de puissance par des taps discrets est donnée en utilisant jusqu'à 12 taps. Des exemples de réglages avec 6 taps sont répertoriés dans le tableau 1.4. Dans ce tableau pour plusieurs environnements de propagation, les profils de puissance et de retard de trajets correspondants sont indiqués. Les modèles de canal COST 207 sont basés sur des mesures de canal avec une largeur de bande de 8 à 10 MHz dans la bande de 900 MHz, utilisée pour les systèmes de la 2G tel que le système GSM.

Tableau 1.4 : Paramètres du canal COST 207 avec 6 taps [15]

Trajets	Rural Area (RA)		Typical Urban (TU)		Bad Urban (BU)		Hilly Terrain (HT)	
	Retard	Gain	Retard	Gain	Retard	Gain	Retard	Gain
	(μ S)	(dB)	(μ S)	(dB)	(μ S)	(dB)	(μ S)	(dB)
1	0	0	0	-3	0	-2.5	0	0
2	0.1	-4	0.2	0	0.3	0	0.1	-1.5
3	0.2	-8	0.5	-2	1.0	-3	0.3	-4.5
4	0.3	-12	1.6	-6	1.6	-5	0.5	-7.5
5	0.4	-16	2.3	-8	5.0	-2	15.0	-8.0
6	0.5	-20	5.0	-10	6.6	-4	17.2	-17.7

7.3. Les canaux COST 231 et COST 259

Ces canaux COST qui sont la suite du canal COST 207, représentent une caractérisation étendue aux canaux DCS 1800, DECT, HIPERLAN et WCDMA / UMTS, en tenant compte des scénarios macro, micro et pico-cellules. Les modèles de canaux à résolution spatiale ont été définis dans COST 259. Trois types de modèles de canaux sont définis. Le type de macro-cellule de tailles de cellule allant de 500 à 5000 m et une fréquence porteuse de 900 MHz ou 1,8 GHz. Le type de microcellule est défini pour des tailles de cellules d'environ 300 m et une fréquence porteuse de 1,2 GHz ou 5 GHz. Le type de picocellule représente un modèle de canal intérieur avec des cellules de taille inférieure à 100 m dans les bâtiments industriels et de l'ordre de 10 m dans un bureau. La fréquence porteuse est de 2,5 GHz ou 24 GHz [16,17].

7.4. Le canal COST 273

Le canal COST 273 prend en compte des modèles de canaux multi-antennes, qui ne sont pas couverts par les canaux COST précédentes.

7.5.UMTS / UTRA [18, 19]

Des scénarios de propagation de test ont été définis pour les systèmes UMTS et UTRA, qui ont été développés pour des fréquences autour de 2 GHz. La modélisation de la propagation multi-trajets correspond à celle utilisée par les modèles du canal COST 207.

7.6.LTE [20]

3GPP LTE définit des profils de délai pour les environnements avec délai de propagation faible, moyen et élevé. Les profils de retard sont résumés dans le tableau 1.5. Les trois modèles sont définis sur une grille d'échantillonnage de 10 ns. Les paramètres détaillés des modèles de canal LTE sont donnés dans le tableau 1.6.

Tableau 1.5: Profils des gains de retards du modèle canal LTE [20]

Modèle	Nombre de trajets	Retards	retards Maximum
Piéton étendu A (EPA: Extended Pedestrian A)	7	45 ns	410 ns
Véhiculaire étendu A (EVA: Extended Vehicular A)	9	357 ns	2.51 μ s
Urbain typique étendu (ETU; Extended Typical Urban)	9	991 ns	5 μ s

Tableau 1.6: Modèles de canaux LTE pour des scénarios de propagation piéton, véhiculaire et Urbain typique [20]

Nombre de trajets	Piéton étendu A		Véhiculaire étendu A (EVA)		Urbain typique étendu (ETU)	
	retard (μ S)	gain (dB)	retard (μ S)	gain (dB)	retard (μ S)	gain (dB)
1	0	0	0	0	0	-1
2	30	-1	30	-1.5	50	-1
3	70	-2	150	-1.4	120	-1
4	90	-3	310	-3.6	200	0
5	110	-8	370	-0.6	230	0
6	190	-17.2	710	-9.1	500	0
7	410	-20.8	1090	-7	1600	-3

Tableau 1.7 : Fréquences Doppler définie pour le modèle canal LTE [20]

Fréquence	Basse Doppler fréquence 5 Hz	moyenne Doppler fréquence 70 Hz	haute Doppler fréquence 300 Hz
Vitesse	2.7 km/h à 2 GHz 6.4 km/h à 850 GHz	40.8 km/h à 2 GHz 88.9 km/h à 850 GHz	162 km/h à 2 GHz 381 km/h à 850 GHz

Le spectre Doppler classique avec des angles d'arrivée des trajectoires uniformément répartis est appliqué dans les modèles du canal LTE. Le spectre Doppler classique est également appelé spectre de Clark ou spectre de Jake. Le spectre Doppler classique est caractérisé par la fréquence Doppler maximale. Trois fréquences Doppler maximales typiques sont spécifiées pour les

modèles de canal LTE, comme indiqué dans le tableau 1.7. Les combinaisons de base LTE des modèles de canal et des fréquences Doppler sont les suivantes :

- [EPA 5 Hz] Piéton étendu A avec fréquence Doppler de 5 Hz.
- [EVA 5 Hz] Véhiculaire étendu A avec fréquence Doppler de 5 Hz.
- [EVA 70 Hz] Véhiculaire étendu A avec fréquence Doppler à 70 Hz.
- [ETU 70 Hz] Urbain typique étendu avec fréquence Doppler de 70 Hz.
- [ETU 300 Hz] Urbain typique étendu avec fréquence Doppler de 300 Hz.

8. Conclusion

Après avoir présenté les deux générations des téléphones mobiles 4G et 5G, une brève description du canal de propagation a été effectuée. Dans la dernière partie du chapitre, nous avons exposé les canaux à trajets multiples, ainsi que leurs caractéristiques.



Chapitre 2

Egalisation du canal

Partie 1 : filtrage adaptatif

Introduction :

Le présent chapitre est divisé en deux parties : filtrage adaptatif et les réseaux de neurones. Les filtres adaptatifs sont basés sur la recherche de paramètres optimaux par minimisation comme critère de performance. Fréquemment, cette minimisation est appuyé par la recherche les moindres carrés.

Dans cette partie, on commencera donc par rappeler le principe de filtrage adaptatif et le filtre Wiener qui est l'une des deux classes importantes de filtres linéaires optimaux, puis on va évoquer les paramètres d'évaluation des performances avant d'aborder les algorithmes LMS, NLMS et RLS.

1. Principe de filtrage adaptatif

1.1. Définition d'un filtre adaptatif

Un filtre adaptatif est un filtre numérique employé dans un environnement instable (variable), où subsiste un bruit dans une bande de fréquences du signal utile, afin de le séparer le signal perturbateur, du signal utile on utilise un filtrage adaptatif.

Il inclut deux parties :

- Un filtre numérique à coefficients ajustables (variable dans le temps) ;
- Un algorithme de modification avec des coefficients ajustables basé sur un critère d'optimisation. [21]

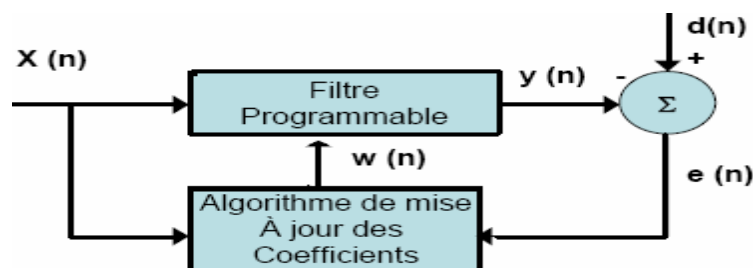


Figure (2.1).1 : Principe de filtrage adaptatif

Chapitre 2 : Egalisation du canal

2. Filtrage de WIENER

2.1. Le filtre Wiener

Les signaux temporels sont souvent infectés d'une interférence ou d'un bruit non désiré. Il faut alors chercher une solution afin de supprimer ou réduire ces composantes perturbatrices. Dans le cas où le spectre du signal désiré et celui du signal du bruit se superposent le résultat d'un filtrage classique est non fiable. Dans le cas stationnaire pour remédier à ce problème on utilise un filtre de Wiener [21].

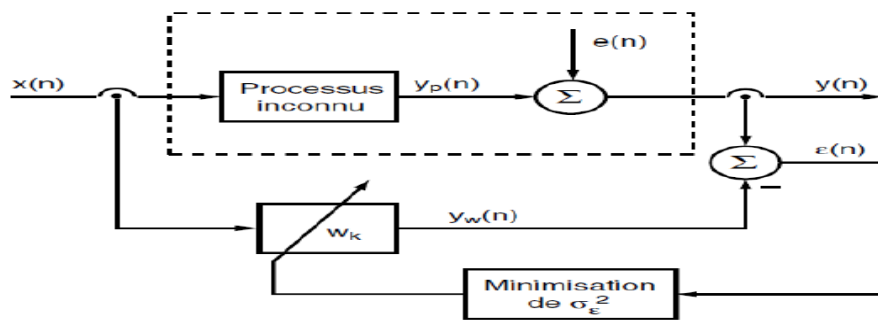


Figure (2.1).2 : Filtrage de Wiener

2.2. Problème d'estimation linéaire

D'après la figure 1.2, la sortie $y(n)$ du filtre adaptatif est présenté par un produit de convolution entre le signal d'entrée $x(n)$ et le vecteur $w(n)$ les coefficients du filtre adaptatif. Le vecteur $w(n)$ est réadapté (mis à jour) selon une fonction basée sur le signal d'erreur $e(n)$.

A chaque instant n , un vecteur $w(n+1)$ est créé pour l'instant suivant. Cet algorithme adaptatif est appliqué dans le but de filtrer $x(n)$ de façon à ce qu' $y(n)$ se rapproche du signal désiré $d(n)$, tout en minimisant le carré du signal d'erreur :

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad ((2.1).1)$$

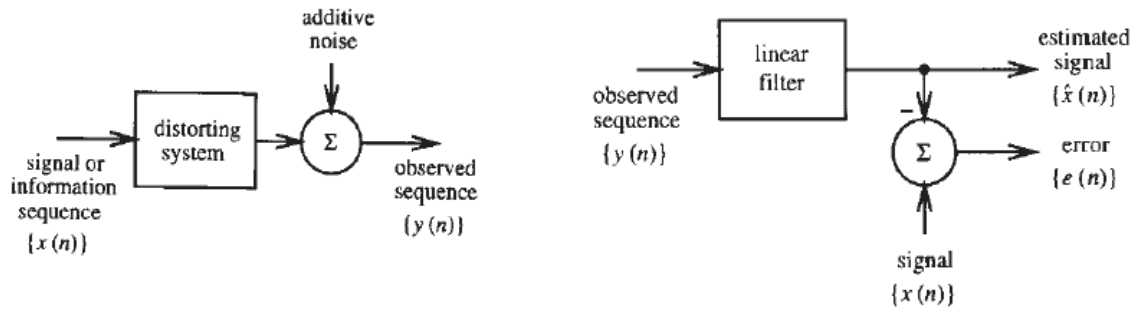


Figure 2.3: Schéma général d'un problème d'estimation linéaire.

Evidemment, plus $e(n)$ est faible, plus l'estimation est estimée comme meilleur. On cherche donc un filtre qui minimisera l'erreur. Donc on cherche à minimiser le carré $e(n)$ car c'est une fonction quadratique facilement dérivable. Par ailleurs, étant donné que les signaux sont aléatoires, la fonction coût qui sera à minimiser est l'erreur quadratique moyenne (MSE) définie par :

$$j(n) = E[e^2(n)] \quad ((2.1).2)$$

Le filtre de Wiener est celui qui minimise l'erreur quadratique moyenne EQM (MSE) [22].

2.3. Problème d'égalisation adaptative

L'égalisation est une procédure qui est utilisée par les récepteurs des systèmes de communications numériques afin de réduire l'effet d'interférence entre symboles (ISI), due à la propagation du signal modulé à travers le canal de transmission. Pour réduire la dégradation sévère des performances.

Cette compensation est effectuée par un filtre adaptatif.

Il existe deux types d'égalisations [23] :

- ❖ Egalisation avec apprentissage (Training)
- ❖ Egalisation sans apprentissage : Aveugle (Blind)

Chapitre 2 : Egalisation du canal

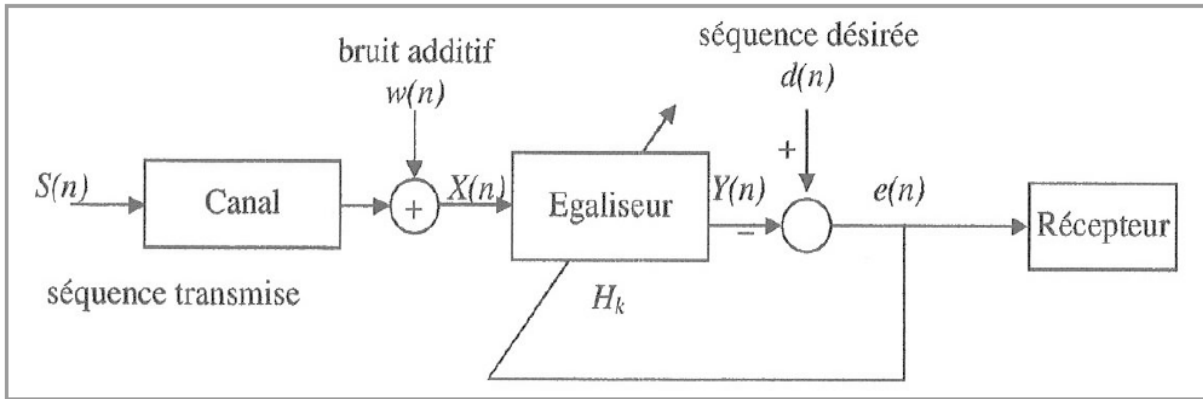


Figure (2.1).4 : Configuration d'un égaliseur adaptatif

2.4. Applications du filtrage de Wiener

On peut distinguer quatre classes fondamentales utilisant le filtrage de Wiener :

- ❖ L'identification de systèmes
- ❖ La prédiction
- ❖ La modélisation inverse
- ❖ L'annulation d'interférences

2.4.1. L'Identification de Systèmes

$d(n)$ est la sortie du système que l'on souhaite identifier

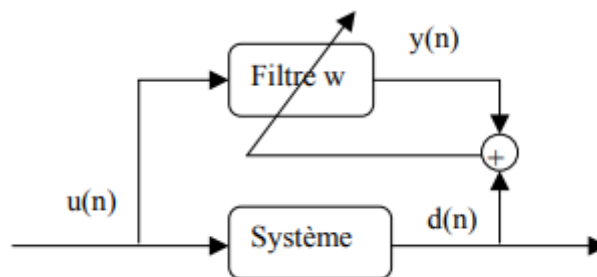


Figure (2.1).5 : Principe de l'identification.

Chapitre 2 : Egalisation du canal

2.4.2. Prédiction $d(n)$ est le signal à l'instant n et $y(n)$ le signal prédit à partir du signal aux instants précédents.

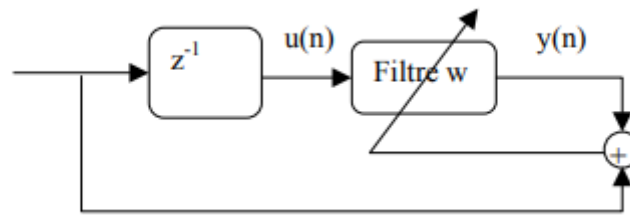


Figure (2.1).6 : Principe de la prédiction.

2.4.3. Modélisation inverse (égalisation, dé convolution, Identification de l'inverse d'un système)

$d(n)$ est l'entrée (retardée) du système que l'on cherche à « inverser ».

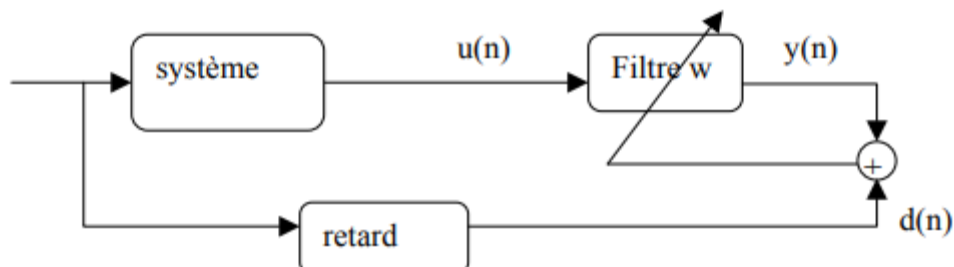


Figure (2.1).7: Principe de la modélisation inverse.

2.4.4. Annulation d'interférences (annulation d'écho, suppression de bruit) :

$d(n)$ est un signal primaire qui comporte les interférences à annuler. $u(n)$ est le signal de référence dépourvu (ou presque) d'information et on utilise un capteur proche de celui qui fournit $d(n)$ [22].

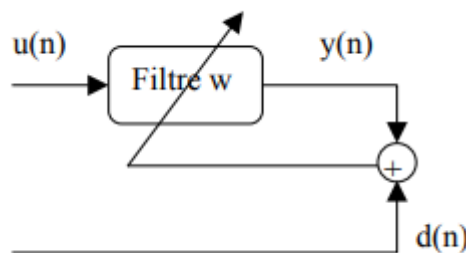


Figure (2.1).8 : Principe de l'annulation d'interférence.

3. Paramètres d'évaluation des performances

Les paramètres d'évaluation des performances sont établis autour de deux paramètres :

3.1 : L'erreur quadratique moyenne (MSE)

En statistique, l'erreur quadratique moyenne (MSE) ou l'écart quadratique moyen (MSD) d'un estimateur mesure la moyenne des carrés des erreurs, c'est-à-dire la différence quadratique moyenne entre les valeurs estimées et ce qui est estimé.

La MSE est la mesure de la qualité d'un estimateur : elle est toujours non négative et les valeurs proches de zéro sont meilleures. La MSE a les mêmes unités de mesure que le carré de la quantité estimée. Par analogie avec l'écart type [24,25].

3.2 : Le rapport signal sur bruit (RSB)

Le rapport signal sur bruit (en abrégé SNR ou S / N) est une mesure qui compare le niveau d'un signal souhaité au niveau de bruit de fond. Le RSB est défini comme le rapport entre la puissance du signal et la puissance du bruit, souvent exprimé en décibels. Un rapport supérieur à 1 (supérieur à 0 dB) indique plus de signal que de bruit.

$$x(t) = s(t) + b(t) \quad ((2.1).3)$$

Le rapport signal sur bruit est défini par :

$$\text{RSB} = W_s / W_n \quad ((2.1).4)$$

Où

W_s est l'énergie du signal $s(t)$, W_n est l'énergie du bruit $b(t)$

Le RSB est souvent représenté avec une échelle logarithmique appelée décibels et noté dB [25].

4. Algorithmes adaptatifs

Comme mentionné précédemment, un filtre adaptatif a comme une deuxième partie un algorithme de modification des coefficients ajustables basée sur un critère d'optimisation.

4.1 : Choix de l'algorithme

Le choix de l'algorithme dépend des critères suivants :

- La robustesse au bruit,

Chapitre 2 : Egalisation du canal

- La complexité,
- La structure (modularité, parallélisme, ...),
- Les propriétés numériques (stabilité et précision) sur les données et les coefficients du filtre.
- La rapidité de convergence qui représente le nombre d'itérations nécessaires pour converger à la solution optimale,
- La capacité de poursuite (tracking) des variations (non-stationnarités) du système,

4.2 : Types d'algorithmes adaptatifs :

Il existe une variété très importante d'algorithmes qui incluent les gradients. Les trois algorithmes les plus utilisés dans le domaine du traitement de signal et l'égalisation adaptative qui sont LMS, NLMS, RLS [23].

4.2.1. Algorithme LMS :

L'algorithme LMS (Least Mean Squares) est un choix populaire dans plusieurs applications exigeant le filtrage adaptatif. Ces deux principales caractéristiques sont :

Simplicité et complexité d'implémentation informatique réduite. En outre, plusieurs variantes de l'algorithme qui peuvent être employées spécifiquement afin de résoudre différents types de problèmes qui sont inhérents à certaines applications.

La version de base du LMS est un cas spécial du filtre adaptatif du gradient descendant (steepest descent) bien connu.

Le but de cette technique est de réduire au minimum une fonction de coût quadratique en mettant à jour itérativement des poids de sorte qu'ils convergent à la solution optimale.

Dans la méthode de gradient descendant, le vecteur de poids d'égalisation est donné par l'équation suivante [26] :

$$h(n+1) = h(n) + 1/2\mu[-\nabla(E(e^2(n)))] \quad ((2.1).5)$$

où :

μ est un paramètre crucial affectant la stabilité et le taux de convergence de l'algorithme LMS.

Chapitre 2 : Egalisation du canal

Il représente le pas de descente de l'algorithme.

$e^2(n)$ est l'erreur quadratique moyenne entre la sortie $\hat{x}(n)$ et le signal de référence $x(n)$;

Elle est donnée par la formule suivante [26] :

Où

$$e(n) = X(n) - \hat{X}(n) \quad ((2.1).6)$$

et

$$\hat{X}(n) = h^T y(n) \Leftrightarrow \hat{X}(n) = y^T(n)h \quad ((2.1).7)$$

Dans la méthode du gradient descendant, le plus gros problème est le calcul impliqué dans la recherche des valeurs Φ_{yy} et Φ_{yx} des matrices en temps réel [26]. Pour y remédier, l'algorithme LMS utilise les valeurs instantanées des matrices de covariance Φ_{yy} et Φ_{yx} au lieu de leurs valeurs réelles c'est-à-dire :

$$\Phi_{yy} = E[y(n)y^T(n)] \quad ((2.1).8)$$

$$\Phi_{yx} = E[y(n)x^*(n)] \quad ((2.1).10)$$

Par conséquent, la mise à jour du vecteur de poids d'égalisation peut être donnée par l'équation suivante :

$$h(n+1) = h(n) + \mu \cdot y(n) [x^*(n) - y^T(n)h(n)] \quad ((2.1).11)$$

$$h(n+1) = h(n) + \mu \cdot y(n)e(n)^* \quad ((2.1).12)$$

L'algorithme LMS est engagé à démarrer avec une valeur arbitraire $h(0)$ pour le vecteur de poids à $n = 0$.

Les rectifications successives du vecteur de poids finalement conduisent à la valeur minimale de l'erreur quadratique moyenne. Par conséquent, l'algorithme LMS peut se résumer par ces équations [26] :

Initialiser avec :

$$h(0) = 0 \quad ((2.1).13)$$

Pour toute séquence $n=1,2,\dots$ Faire :

Chapitre 2 : Egalisation du canal

$$\hat{X}(n) = h^T(n-1) y(n) \quad ((2.1).14)$$

$$e(n) = X(n) - \hat{X}(n) \quad ((2.1).15)$$

$$h(n) = h(n+1) + 2\mu y(n) e(n) \quad ((2.1).16)$$

L'algorithme LMS engagé avec certaines valeurs arbitraires pour le poids est perçu comme vecteur de convergence :

Si μ est choisie pour être très faible alors l'algorithme converge très lentement. Une grande valeur de μ peut conduire à une accélération de convergence, mais peut-être moins stable, autour de la valeur minimale. Habituellement μ est choisie dans la marge suivante [22,23] :

$$0 < \mu < \frac{2}{\lambda_{\max}} \quad ((2.1).17)$$

Où λ_{\max} représente la valeur propre maximale de la matrice d'auto corrélation Φ_{yy} . La convergence de l'algorithme est inversement proportionnelle à la propagation des valeurs propres de la matrice d'auto corrélation Φ_{yy} . Pour des valeurs propres de Φ_{yy} qui sont très répandues, la convergence peut être lente.

4.2.2. Algorithme NLMS

L'un des filtres adaptatifs les plus réputés est l'algorithme normalisé par la méthode des moindres carrés normalisés (NLMS). Sa popularité tient au fait qu'il est robuste et facile à mettre en œuvre. Le principal inconvénient de l'algorithme LMS "pur" est qu'il est sensible à la mise à l'échelle de son entrée $x(n)$. Cela rend très difficile, voire impossible, de choisir un taux d'apprentissage μ garantissant la stabilité de l'algorithme (Haykin 2002). Le filtre des moindres carrés normalisés (NLMS) est une variante de l'algorithme LMS qui résout ce problème en normalisant avec la puissance de l'entrée [27].

en défini un gain d'adaptation γ de l'algorithme récursif, on choisit un gain initial $\gamma_0 = 0.1$, après normalisation par le nombre de paramètres et par la variance du signal d'entrée, donne un gain d'adaptation qui évolue en fonction de la puissance du signal d'entrée [23]:

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{a+p.\sigma_x^2} \quad ((2.1).18)$$

De manière à éviter que le gain n'augmente indéfiniment lorsque la puissance du signal de référence tend vers zéro, on peut corriger le dénominateur du gain en y ajoutant un terme constant $a \ll 1$:

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{a + p \cdot \sigma_x^2} \quad ((2.1).19)$$

L'algorithme s'écrit alors [23] :

$$W(n) = W(n-1) + \frac{\gamma_0}{a + p \cdot \sigma_x^2} \varepsilon(n) X(n) \quad ((2.1).20)$$

Comme cet algorithme utilise un gain normalisé par la puissance σ_x^2 du signal $x(n)$, il porte le nom d'algorithme NLMS (Normalised Least Mean Square) [23].

4.2.3. Algorithme RLS

Le Moindre carré récursif (RLS en anglais) est un algorithme de filtre adaptatif qui recherche de manière récursive les coefficients pour minimiser une fonction de coût des moindres carrés linéaire pondérée relative aux signaux d'entrée.

Dans la dérivation du RLS, les signaux d'entrée sont considérés comme déterministes, le RLS présente une convergence extrêmement rapide. Cependant, il représente une complexité de modélisation informatique très élevée.

La différence principale, au niveau de l'algorithme, entre le LMS et le RLS, réside dans le fait que ce dernier utilise, plus ou moins, toutes les données passées pour effectuer les calculs, alors que le LMS n'utilise que la donnée actuelle. Le premier algorithme RLS a été conçu en 1950, mais la première version rapide n'a été développée qu'en 1974 [28].

5. Comparaison

Le problème qui se pose est celui du choix d'un algorithme d'optimisation. Ce choix va être guidé par le nombre d'opérations nécessaires à chaque étape pour mettre à jour les coefficients et par la vitesse de convergence de l'algorithme, c'est à dire la longueur de la séquence d'apprentissage nécessaire pour obtenir un filtre adapté.

Si une méthode répondait à ces deux critères simultanément, elle serait systématiquement utilisée. L'algorithme LMS nécessite moins de calcul à chaque étape mais converge plus

Chapitre 2 : Egalisation du canal

lentement que le RLS. Le filtre RLS converge plus rapidement que LMS mais plus coûteux en nombre d'opérations. C'est donc l'application qui va déterminer le choix de l'algorithme en fonction de la puissance de calcul disponible [25].

6. Conclusion :

Cette première partie du chapitre, a été consacré à l'étude du filtrage adaptatif basée sur le filtre de Wiener qui est difficile à implémenter comme algorithme en informatique, en raison de sa non récursivité. Les algorithmes RLS, LMS et NLMS sont présentés comme des solution optimale, mais chacun deux soufre de quelques problèmes tel que : le pas d'adaptation. L'algorithme NLMS est distingué de tous autres algorithmes adaptatifs avec son extrême simplicité de mise en œuvre.

Partie 2 : Les Réseaux de Neurones

1. Introduction

Au cours de ces deux dernières décennies, nous avons observé un développement éblouissant des réseaux de neurones. Cet intérêt a démarré avec l'application réussie de cette technique puissante pour des problématiques très différentes, et dans des domaines aussi divers que la finance, la médecine, la production industrielle, la géologie ou encore la physique.

Par analogie aux comportements du cerveau humain, l'intelligence artificielle, une branche de l'informatique fondamentale, qui s'est développée avec pour objectif la simulation des connexions et le traitement de l'information générés par le cerveau.

Les premières tentatives de modélisation du cerveau sont anciennes et précèdent même l'ère informatique. C'est en 1943 que Mc Culloch (neurophysiologiste) et Pitts (logicien) ont proposé les premières notions de neurone formel. Ce concept fut ensuite mis en réseau avec une couche d'entrée et une sortie par Rosenblatt en 1959.

Le succès croissant des réseaux de neurones sur la plupart des autres techniques statistiques peut s'attribuer à leur puissance, leur polyvalence et à leur simplicité d'utilisation. Les réseaux de neurones sont des techniques extrêmement sophistiquées de modélisation et de prévision, en mesure de modéliser des relations entre des données ou des fonctions particulièrement complexes.

L'approche connexionniste qui poussait les systèmes experts dont l'objectif était d'automatiser le principe de l'expertise humaine au début des années 80 ont permis de relancer l'approche connexionniste. Celle-ci a connu au début des années 90 un développement considérable si l'on considère le nombre de publications et de congrès qui lui ont été consacrés mais aussi les domaines d'applications très divers où elle apparaît.

2. Réseaux de neurones

Un réseau neuronal est l'association, plus ou moins complexe, d'objets élémentaires, appelés les neurones formels. Les principaux réseaux se distinguent par l'organisation d'un graphe (en couches, complets...), c'est-à-dire leur architecture, son niveau de complexité (le nombre de neurones, présence ou non de boucles de rétroaction dans le réseau), par le type des neurones (leurs fonctions de transition ou d'activation) et par l'objectif visé : apprentissage supervisé ou non.

Chapitre 2 : Egalisation du canal

Les RNAs (Réseaux de Neurons Artificiels) traitent l'information qu'ils reçoivent d'une manière analogue aux neurones du cerveau. Les neurones artificiels sont reliés les uns aux autres par un réseau complexe (figure (2.2).3).

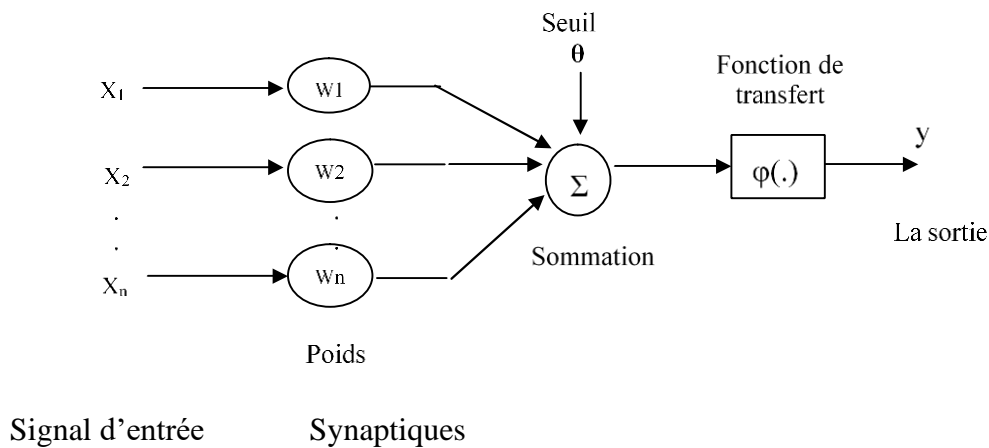


Figure (2.2).1 : Neurone artificiel [29]

Avec cette simple structure et en choisissant un nombre approprié de neurones, ces réseaux sont capables d'approximer n'importe quelle fonction continue avec une certaine précision.

2.1. Nature des entrées

Elles peuvent être soit binaires (-1, +1) ou (0, 1), ou bien réelles.

2.2. La fonction d'activation ou de transfert

La fonction de transfert est en général, une fonction non linéaire monotone croissante ; Par ailleurs, les fonctions de transfert sont de qualités diverses : elles peuvent être déterministes, continues, discontinues ou aléatoires [30]. La figure (2.2).1 donne les modèles de fonctions d'activation utilisées.

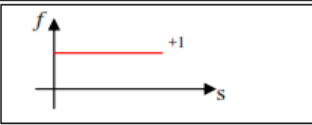
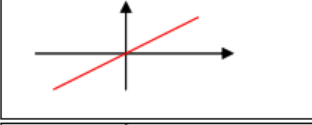
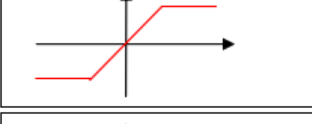
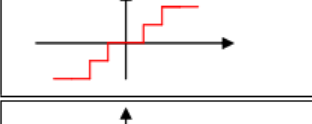
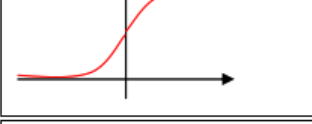
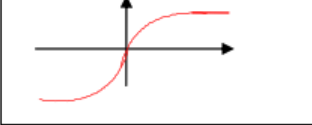
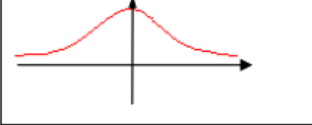
Fonction de Heaviside	
Fonction Linéaire sans saturation	
Fonction linéaire avec seuil	
Fonction a seuils multiples	
Fonction sigmoïde $\frac{1}{1+e^{-s}} = F1(s)$	
Fonction sigmoïde $f2(s) = \frac{1-e^{-s}}{1+e^{-s}}$	
Fonction de stochastique	

Figure (2.2).2. Les modèles de fonctions d'activation

Le choix de la fonction d'activation dépend de l'application. S'il faut avoir des sorties binaires c'est la première fonction que l'on choisit habituellement.

3. Propriétés

3.1. Les poids synaptiques

La pondération des liaisons synaptique entre les neurones influe sur l'efficacité et la fiabilité du réseau au point de vue rapidité et exactitude des résultats fournis.

3.2. L'apprentissage

L'apprentissage est une phase de développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement du réseau est modifié jusqu'à l'obtention du comportement désir.

L'apprentissage neuronal fait appel à des exemples de comportement. Durant cette phase les poids synaptiques seront modifiés, donc d'une manière plus simple, on peut dire que

Chapitre 2 : Egalisation du canal

l'apprentissage est la modification des poids des connexions dont l'objectif d'accorder la réponse du réseau aux exemple présentés et à l'expérience.

Au niveau des algorithmes d'apprentissage, il existe trois types selon l'intervention ou non d'un superviseur [31,32] :

3.3. Apprentissage supervisé : ce mode est plus courant, l'utilisation dispose d'un comportement de référence précis qu'il désire faire apprendre au réseau. Il consiste à évaluer les poids synaptiques minimisant l'erreur sur une base d'apprentissage, cette base comprend un ensemble d'observations pour lesquelles on connaît à la fois les entrées et les sorties souhaitées.

3.4. Apprentissage non supervisé : cet apprentissage est identique au précédent dans la mesure où il se base sur la présence d'un concepteur, cependant la valeur exacte de la sortie n'est pas disponible, en générale la seule information disponible est un signal d'échec ou de succès.

4. Architecture des réseaux des neurones

On distingue deux grands types d'architecture de réseaux de neurone [33] :

4.1. Les réseaux de neurone sans couche(bouclé)

Le réseau possède des neurones connectés entre eux, certains sont de neurones d'entrée et d'autre sont des neurones de sortie, il peut être de connectivité partiel ou total.

4.2. Les réseaux de neurone à couche

La particularité de ce type de réseau est de posséder des couches de neurones indépendantes, chaque couche à sa propre organisation, mais la connexion entre les couches est particulière. En effet, les neurones d'une couche ' c_i ' peuvent être connectées avec les neurones de la couche ' c_{i+1} ' et avec ceux de la couche ' c_{i-1} ', à l'intérieure d'une même couche les neurones ne sont pas liés.

On distingue trois types de couches : couche d'entrée, couche cachés et couches de sortie.

5. Les différents modèle

Les quatre types de RNA les plus utilisés sont énumérés ci-dessous [34,35,36].

5.1 Réseaux à base de fonction radial ou Radial-basis fonction(RBF)

Sont des réseaux à deux couches, la fonction d'activation qu'utilise chaque unité dans la couche cachée est une fonction de type RBF, par exemple le noyau gaussien.

5.2 Réseaux de Hopfield

Le modèle de Hopfield dont la réponse des neurones est asynchrone, la fonction de transfert utilisée est la fonction « sign », où la réponse est binaire. Sa structure est celle des réseaux à couche unique, avec un retour des sorties sur les entrées. Ici en utilise l'apprentissage basé sur la règle de Hebb généralisée.

5.3. Les cartes de Kohonen ou Kohonen Self-Organising Feature Maps (SOFM)

Dans ce type de carte, tous les neurones sont interconnectés mais seul les plus proches ont l'influence selon une fonction DOC « Difference Of Gaussien » ; ce sont des neurones excitateurs, les neurones peus éloignés sont les inhibiteurs alors que ceux les plus loin ont une influence nulle, la fonction d'entrée est fonction sigmoïde.

La particularité de ce type de réseaux est qu'on ne peut avoir qu'un seul neurone actif à la fois. Ces réseaux et beaucoup d'autres sont résumés dans la figure suivante.

5.4. Perceptron multicouches (PMC)

Le perceptron multicouche PMC ou MLP (Multicouche Perceptron) est un des réseaux de neurones les plus utilisés pour des problèmes d'approximation, de classification et de prédiction. Il est habituellement constitué de deux ou trois couches de neurones totalement connectés.

Le réseau perceptron multicouches est dans la famille générale des réseaux à propagation vers l'avant (Feedforward propagation), c'est-à-dire qu'en mode normal d'utilisation, l'information se propage dans un sens unique, des entrées vers les sorties sans aucune rétroaction. Son apprentissage est de type supervisé, par correction des erreurs. Dans ce cas uniquement, le signal d'erreur est rétropropagé vers les entrées pour mettre à jour les poids des neurones [32].

5.4.1 Architecture : Dans un réseau de neurones multicouche, les neurones sont organisés en couche, chacun est connecté à toutes les sorties des neurones de la couche précédente. Les entrées de la première couche, dite couche d'entrée, sont les entrées du réseau. Les neurones

d'une même couche partagent tous la même fonction d'entrée et d'activation, en revanche les fonctions différentes d'une couche vers une autre [37].

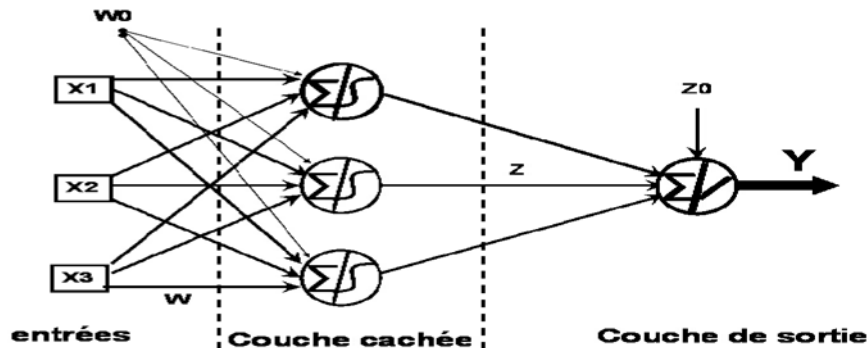


Figure (2.2).3 Perceptron Multicouche (PMC)

La couche d'entrée représente toujours une couche virtuelle associée aux entrées du système, les neurones de cette couche sont reliés au monde extérieur et reçoivent tous le même vecteur d'entrée (en réalité les neurones dans la couche d'entrée passent les entrées sans modification). Les sorties des neurones de la dernière couche correspondent toujours aux sorties du système fournissent les résultats. Enfin, les neurones de l'autre couche (couche cachée) n'ont aucun lien avec l'extérieur et sont appelés des couches cachées. Dans le cas général, un perceptron multicouche peut posséder plusieurs couches cachées et plusieurs neurones par couche.

5.4.2. Entraînement des réseaux de neurones :

L'application des réseaux de neurones est constituée de deux phases : une phase d'apprentissage et une phase d'opération. L'apprentissage est un processus qui consiste à ajuster les paramètres (les poids de connexions) du réseau pour reproduire l'information contenue dans la structure du réseau. Utilisant les valeurs d'entrée/sorties désirées, le réseau ajuste ses poids en se basant sur l'erreur de la sortie calculée. Une fois le réseau est entraîné, il représente une base de connaissance statique qui peut être appelée durant la phase d'opération.

L'algorithme de la rétropropagation est la méthode la plus utilisée pour l'entraînement des réseaux de neurones [32]. Il consiste à calculer les dérivées partielles d'une entité (norme d'erreur) par rapport aux paramètres du réseau (poids de connexions) en minimisant une fonction coût. Plusieurs techniques d'apprentissage ont été adoptées dans la littérature telles que la méthode du moindre carré récurrent, le filtre de Kalman, les algorithmes génétiques, ...etc.

5.4.3. Apprentissage

Les réseaux **PMC** utilisent la règle de rétro propagation du gradient, les fonctions de transfert utilisées sont les fonctions sigmoïdes et seuils.

La rétro propagation est basée sur l'adaptation des coefficients synaptiques dites encore des coefficients de pondération dans le but de minimiser une fonction de coût (performance) donnée par [32] :

$$E(W) = \sum_{p=1}^P E_p(W) \quad ((2.2).1)$$

$$E_p(W) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (t_{pi} - O_{pi})^2 \quad ((2.2).2)$$

Ou : t_{pi} et O_{pi} Représentant respectivement la sortie désirée (Target) et la sortie (output) du réseau.

P : Le nombre d'exemple ou de la longueur de l'ensemble d'entraînement.

6. Domaine d'application

Depuis leur apparition, les réseaux de neurones ont été largement utilisés dans plusieurs domaines on peut citer [38,39,37,36]

- **Application dans la reconnaissance des formes**
 - La lecture automatique des codes postaux ;
 - La reconnaissance et synthèse de la parole ;
 - La reconnaissance automatique d'image : le contrôle non destructif pour la détection des défauts dans des rails, la détection et la reconnaissance des visages ; imagerie satellitaire, ... etc.

- **Traitement du signal**
 - L'égalisation non linéaire ;
 - L'élimination de bruit et de l'écho ;
 - Reconnaissance de signaux radar ou sonar.

- **Bio-ingénierie** : La prédiction des propriétés chimiques des molécules.

Chapitre 2 : Egalisation du canal

- **Prédication et prévision :**
 - Prévision météorologiques ;
 - Estimation des probabilités de succès aux élections législatives.
- **Automatique :**
 - Identification/modélisation des systèmes non linéaire ;
 - Commande basée modèle (commande prédictive, IMC, etc.) ;
 - Modélisation des procédés industriels ;
 - Robotique : pilotage automatique des véhicules autonomes, Modélisation d'un actionneur hydraulique d'un bras d'un robot.
- **Fouille de données :** Extraction des connaissances et les problème d'optimisation et de classification.

7. Conclusion

Dans cette deuxième partie du chapitre nous avons présenté un état de l'art sur les réseaux de neurones, les réseaux des neurones multicouches PMC, sans oublié de citer leurs domaines d'applications.



Chapitre 3
Simulation et discussion des Résultats

Introduction :

Ce chapitre est consacré à la simulation et discussion des résultats, divisé en deux parties.

Une première partie de simulations où nous allons présenter les performances des algorithmes LMS, NLMS et RLS (filtres adaptatifs) sur différents canaux exploités en utilisant le logiciel de simulation Matlab.

En outre, une seconde partie d'égalisation a été réalisée en utilisant une simulation hybride avec les filtres adaptatifs (LMS, NLMS et RLS) et les réseaux de neurones multicouches PMC.

1. Simulation avec les filtres adaptatifs

1.1. Principe de la simulation :

On génère un signal aléatoire modulé QPSK, d'une longueur de 1000 séquences (des symboles transmis), ce signal va être déformé avec les différents effets du canal, on y ajoute du bruit à la sortie du canal pour bien modéliser les effets réels, le bruit est calculé grâce au SNR (le rapport signal bruit).

Les différents algorithmes d'apprentissage LMS, NLMS et RLS, sont testés. Les critères de comparaison sont la fonction d'erreur quadratique moyenne MSE et l'erreur entre le signal original (désiré) et le signal de sortie du filtre (estimé).

Les canaux utilisés pour la simulation ont été créés à partir de Matlab, ils représentent des modèles du canal radio mobiles. Les canaux sont les suivants :

- Le canal COST 207 RA (rural area) : Zone Rurale avec 4 taps (des délais de retards relatifs)
- Le canal COST 207 BU X6 (Bad urban area) : Mauvaise Zone Urbaine avec 6 taps (des délais de retards relatifs et RICE spectrum Doppler), utilisé aussi pour modéliser le canal LTE
- Le canal de Rayleigh : Canal de Rayleigh à trajets multiples.

2.1. Résultats des simulations avec les filtres sur le canal COST 207 RA

2.1.1. Résultats d'égalisation avec le filtre LMS

La figure 3.1 représente une comparaison avec le signal d'entrée et le signal après filtrage LMS ($\mu = 0.001$). On remarque que l'erreur entre les deux signaux devient plus importante au-delà de 300 séquences, La convergence de la fonction MSE atteint une valeur presque égale à 10^{-5} à 180 itérations (figure 3.2).

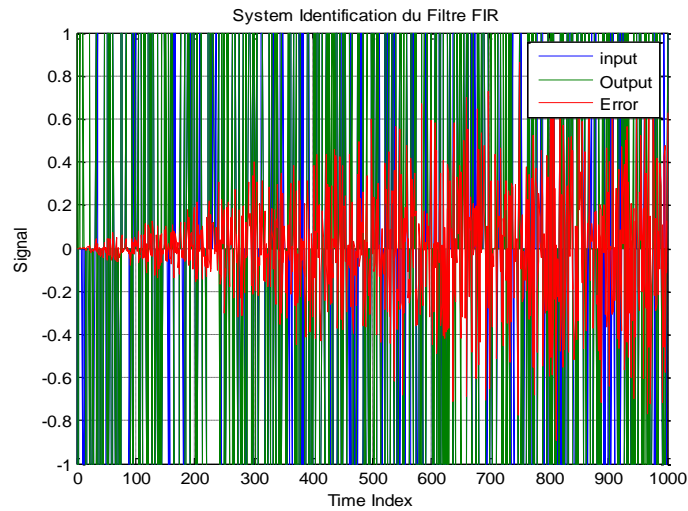


Figure 3.1 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage LMS canal COST 207 RA

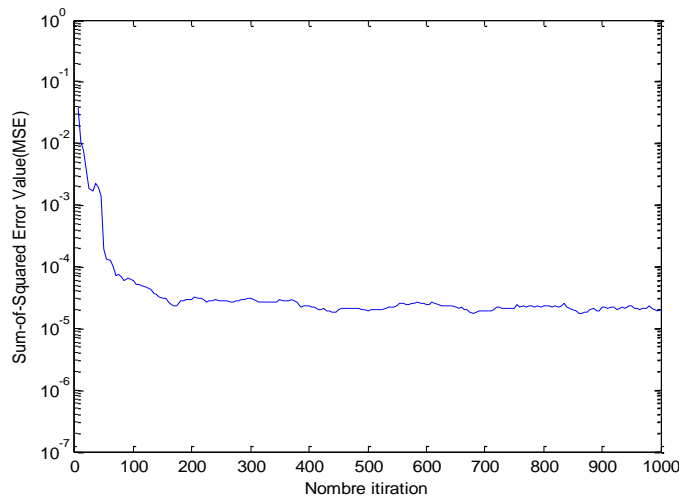


Figure 3.2 : La convergence de la fonction MSE filtre LMS canal COST 207 RA

2.1.2. Résultats d'égalisation avec le filtre NLMS

Avec le filtre NLMS ($\mu = 0.1$), les résultats de la figure 3.3 représente une erreur supérieure à 0.5 à 400 séquences entre le signale d'entrée et le signal après filtrage NLMS. La fonction MSE converge rapidement à une valeur qui dépasse les 10^{-4} pour seulement 100 itérations (figure 3.4).

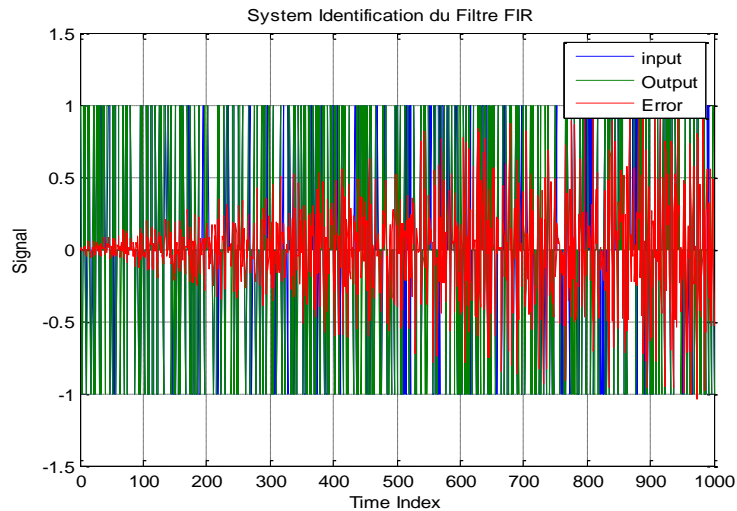


Figure 3.3 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage NLMS canal COST 207 RA

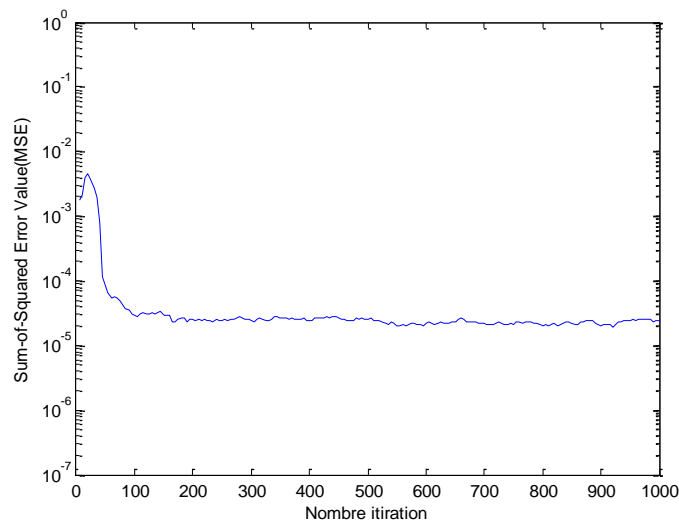


Figure 3.4 : La convergence de la fonction MSE filtre NLMS canal COST 207 RA

2.1.3. Résultats d'égalisation avec le filtre RLS

Le résultat de comparaison des signaux après filtrage RLS ($\mu=0.99$) représente une décorrélation complète. La fonction MSE représente plusieurs fluctuations entre 10^{-2} et 10^{-4} .

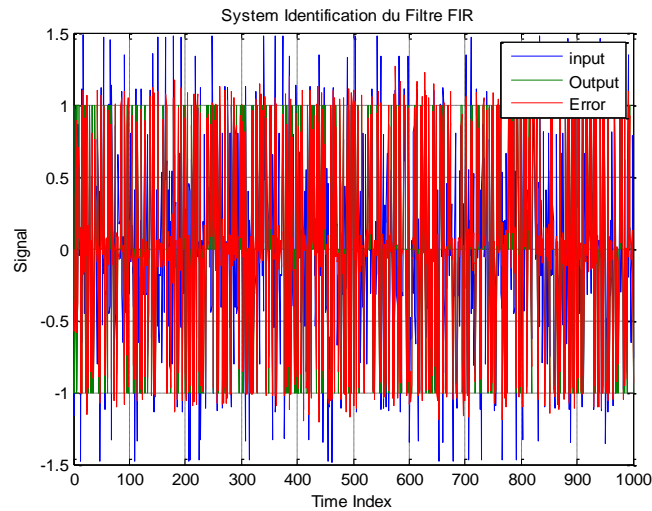


Figure 3.5 : Erreur entre le signal d'entrée et le signal après filtrage RLS canal COST 207 RA

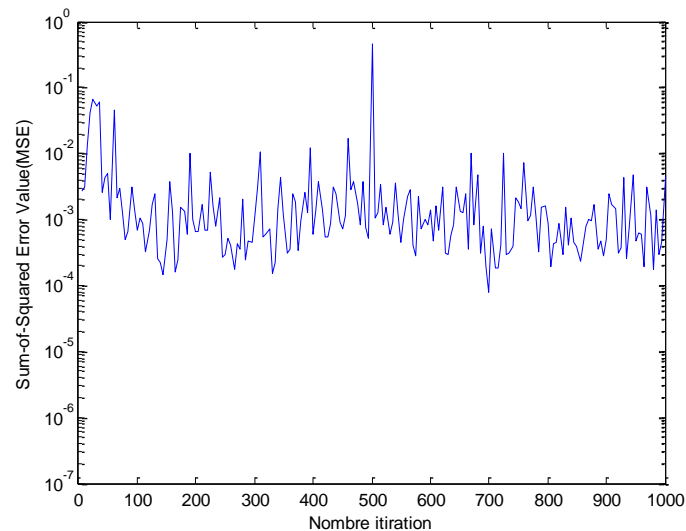


Figure 3.6 : La convergence de la fonction MSE filtre RLS canal COST 207 RA

3.2. Résultats des simulations avec les filtres sur le canal BUX6

3.2.1. Résultats d'égalisation avec le filtre LMS ($\mu=0.01$)

Les résultats du filtrage sont très satisfaisants avec une erreur stable et moins importante que le précédant canal, elle se rapproche de 0.4 à 550 séquences (figure 3.7). La fonction MSE converge à 10^{-5} pour 320 itérations (figure 3.8).

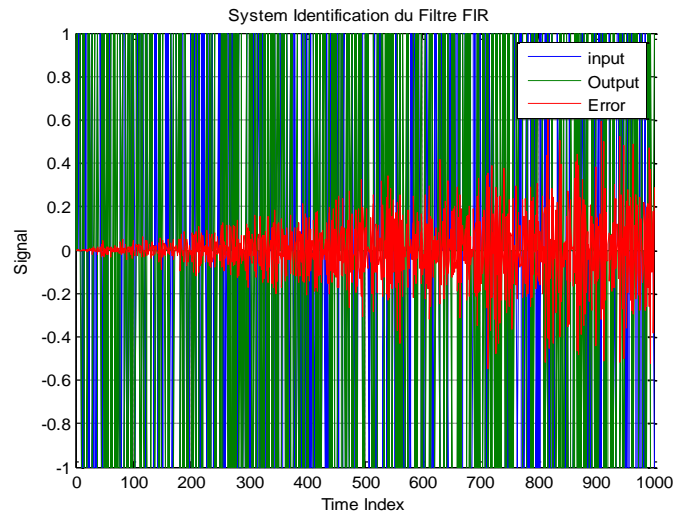


Figure 3.7 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage LMS canal BUX6

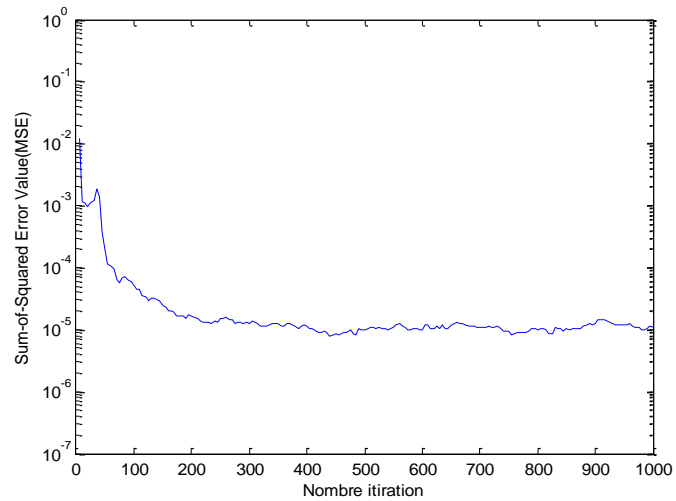


Figure 3.8 : La convergence de la fonction MSE filtre LMS canal BUX6

3.2.2. Résultats d'égalisation avec le filtre NLMS ($\mu=0.01$)

Ici l'erreur entre les deux signaux arrive à 0.5 à peine à 250 séquences (figure 3.9), pour la fonction MSE en arrive à 10^{-5} pour 200 itérations (figure 3.10).

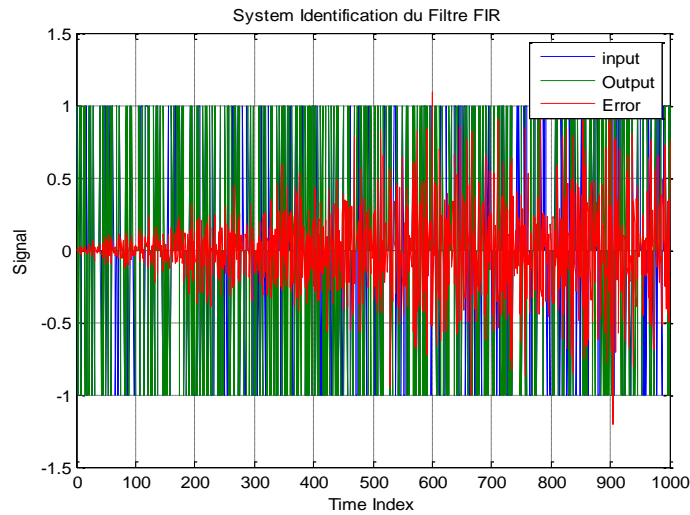


Figure 3.9 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage NLMS canal BUX6

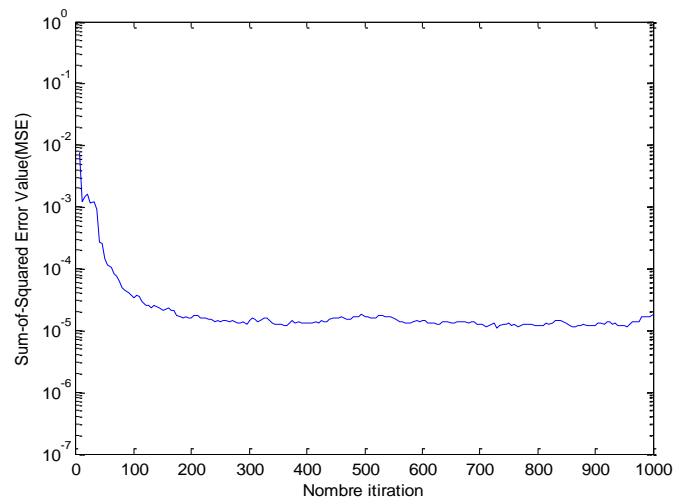


Figure 3.10 : La convergence de la fonction MSE filtre NLMS canal BUX6

3.2.3. Résultats d'égalisation avec le filtre RLS ($\mu=0.99$)

Pour ce filtre l'erreur est très importante avec une égalisation abrogée (figure 3.11). La convergence de la fonction MSE n'est pas assurée, elle varie entre 10^{-1} et 10^{-4} (figure 3.12).

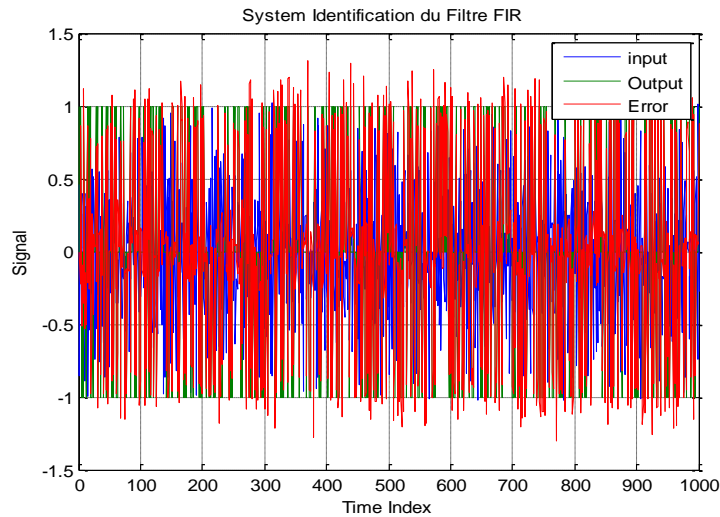


Figure 3.11 : Erreur entre le signal d'entrée et le signal après filtrage **RLS** canal BUX6

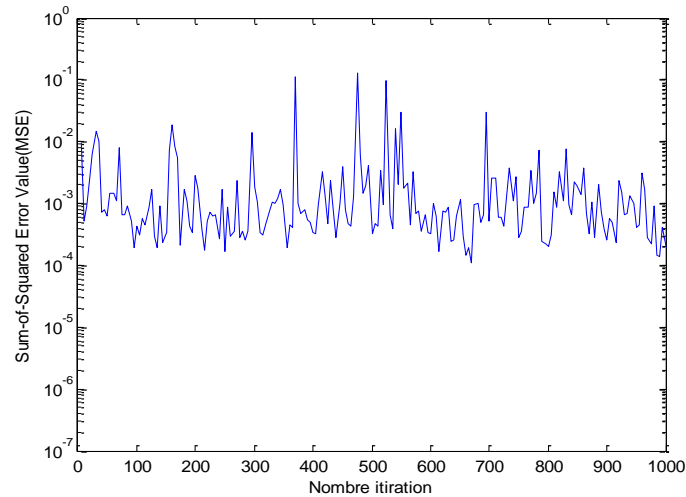


Figure 3.12 : La convergence de la fonction MSE filtre LMS canal BUX6

3.3.1. Résultats d'égalisation avec le filtre LMS canal de Rayleigh ($\mu=0.001$)

Pour ce type de filtre LMS le canal se comporte avec moins de performance qu'avec les canaux précédents et présente une erreur qui augmente progressivement dès le début de la simulation et dépasse 0.4 à 400 séquences (figure 3.13). La fonction MSE converge à 10^{-5} pour 200 itérations.

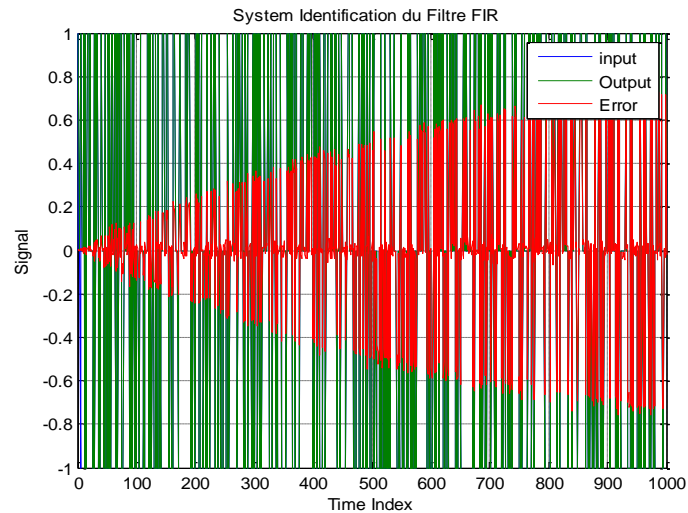


Figure 3.13: Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage LMS canal de Rayleigh

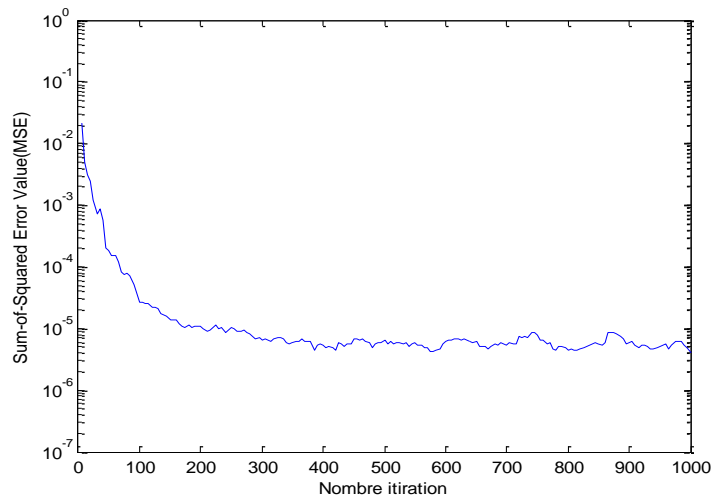


Figure 3.14 : La convergence de la fonction MSE filtre LMS canal de Rayleigh

3.3.2. Résultats d'égalisation avec le filtre NLMS canal de Rayleigh :

Ici le filtre NLMS ($\mu=0.001$) est très efficace avec une erreur très faible qui aborde à peine 0.2 à 1000 séquences (figure 3.15). La fonction MSE converge directement vers 10^{-4} pour à peine 60 itérations (figure 3.16).

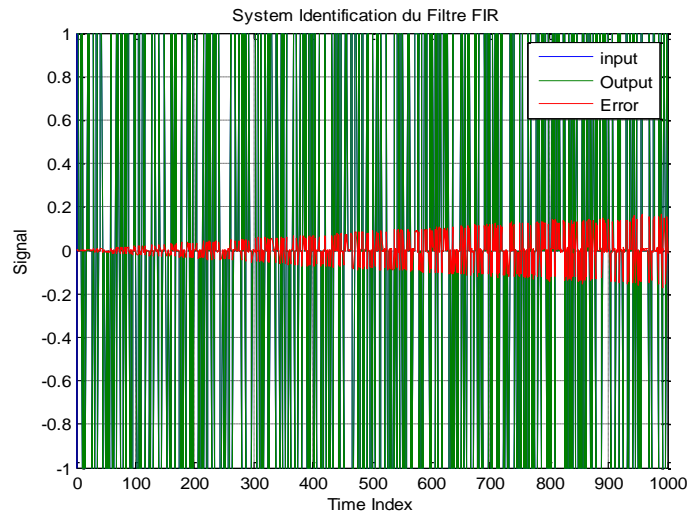


Figure 3.15 : Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage NLMS canal de Rayleigh

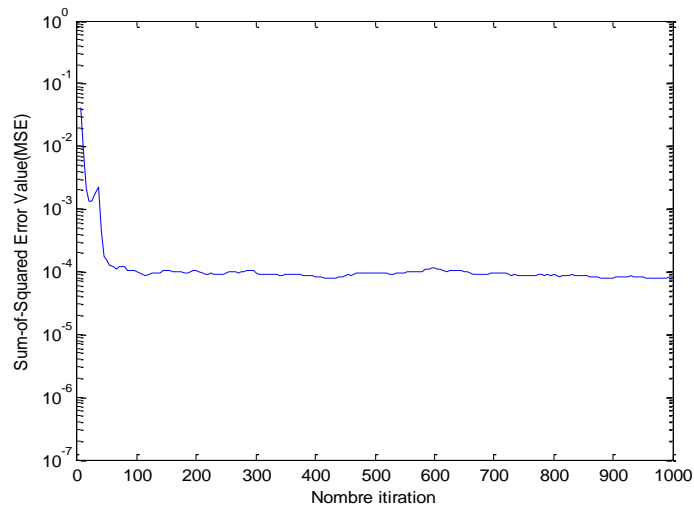


Figure 3.16 : La convergence de la fonction MSE filtre NLMS canal de Rayleigh

3.3.3. Résultats d'égalisation avec le filtre RLS canal de Rayleigh ($\mu=0.99$)

Avec une erreur très imposante entre les deux signaux le filtre RLS donne une égalisation nulle et la fonction MSE représente une variation remarquable entre 10^{-3} et 10^{-4} , alors pas de convergence (figure 3.18).

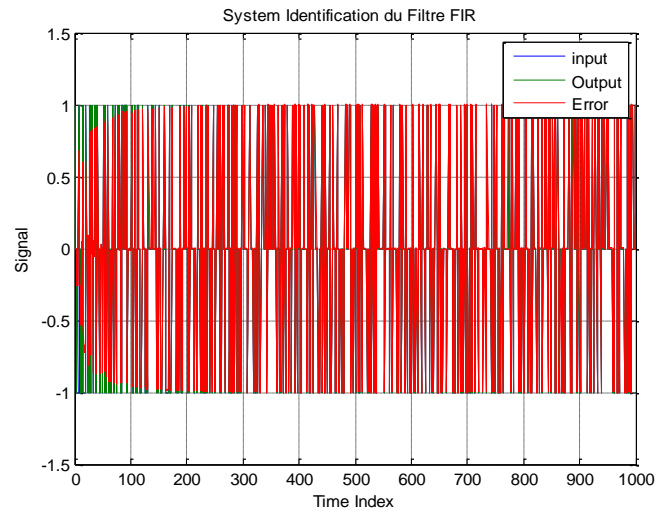


Figure 3.17: Erreur entre le signale d'entrée et le signal après filtrage RLS canal de Rayleigh

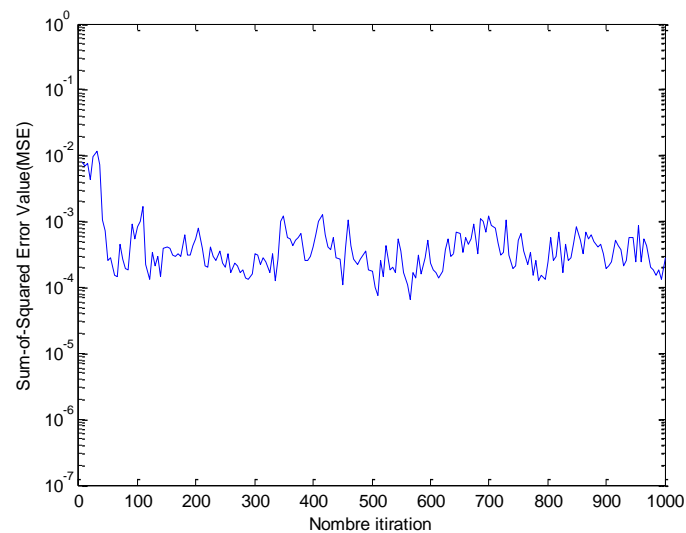


Figure 3.18 : La convergence de la fonction MSE filtre RLS canal de Rayleigh

Avec tous ces résultats de simulation on peut distinguer que pour le canal COST 207 RA les deux filtres LMS et NLMS se comporte de façon similaire malgré que le filtre LMS est meilleur en terme de convergence. Par contre, le filtres RLS fournit les mauvais résultats.

D'autre part, pour le canal COST 207 BX6 le filtre LMS donne toujours les meilleurs résultats. Le filtre NLMS est performant avec des résultats acceptables, alors que le filtre RLS reste encore moins performant avec des résultats médiocres.

Chapitre 3 : Simulation et discussion des Résultats

En fin, avec l'exploitation du canal de Rayleigh le filtre NLMS s'est avéré très efficace et meilleur que le filtre LMS avec des résultats très appréciable en terme d'erreur et de convergence, pour le filtre RLS on peut conclure qu'il est non approprié avec des résultats peu recevables.

4. Résultats de l'égalisation hybride avec de réseaux de neurones PMC

Les résultats de la simulation de l'égalisation hybride à base de filtres (LMS, NLMS, RLS) et réseaux de neurones PMC sont exposé dans cette partie :

4.1. Principe

Le modèle développé par PMC est une égalisation adaptative des séquences du signal. Les séquences déformées par le canal utilisé.

Ici le traitement du problème d'égalisation est différent ; l'égaliseur est basé sur le PMC et l'entrée est du signal déformé, après filtrage (LMS, NLMS et RLS).

Le réseaux PMC est constitué de trois couche : une couche d'entrée, une couche intermédiaire avec 20 neurones et une couche de sortie. Le critère de performance est l'erreur MSE et la comparaison de la régression des résultats entre entrées et sortie du réseau.

5. Résultats des simulations PMC hybride :

5.1. Résultats d'égalisation avec filtre et réseau PMC sur le canal COST 207 RA.

5.1.1 Résultats des simulations d'égalisation LMS et réseau PMC

D'après la figure suivante : la convergence est assurée après 3 itérations et MSE égale à 0.171 pour une validation à 0.79 (figure 3.19).

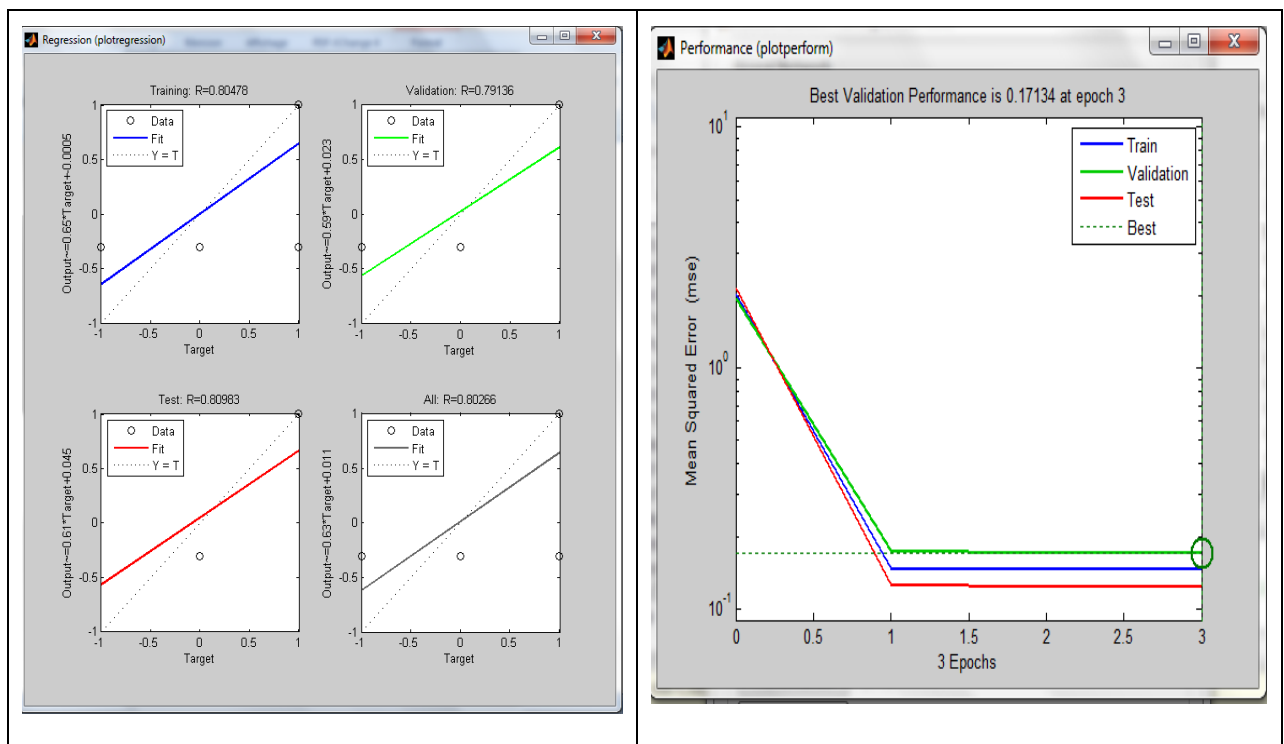


Figure 3.19 : résultats de la régression et la convergence MSE avec LMS et PMC canal COST 207 RA.

5.1.2. Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre NLMS et réseau PMC :

Ici pour le traitement après filtre NLMS et PMC en remarque une dégradation avec une validation pour seulement 0.49, la convergence arrive après 3 itérations à une valeurs MSE égale à $2.53 \cdot 10^{-6}$ (figure 3.20).

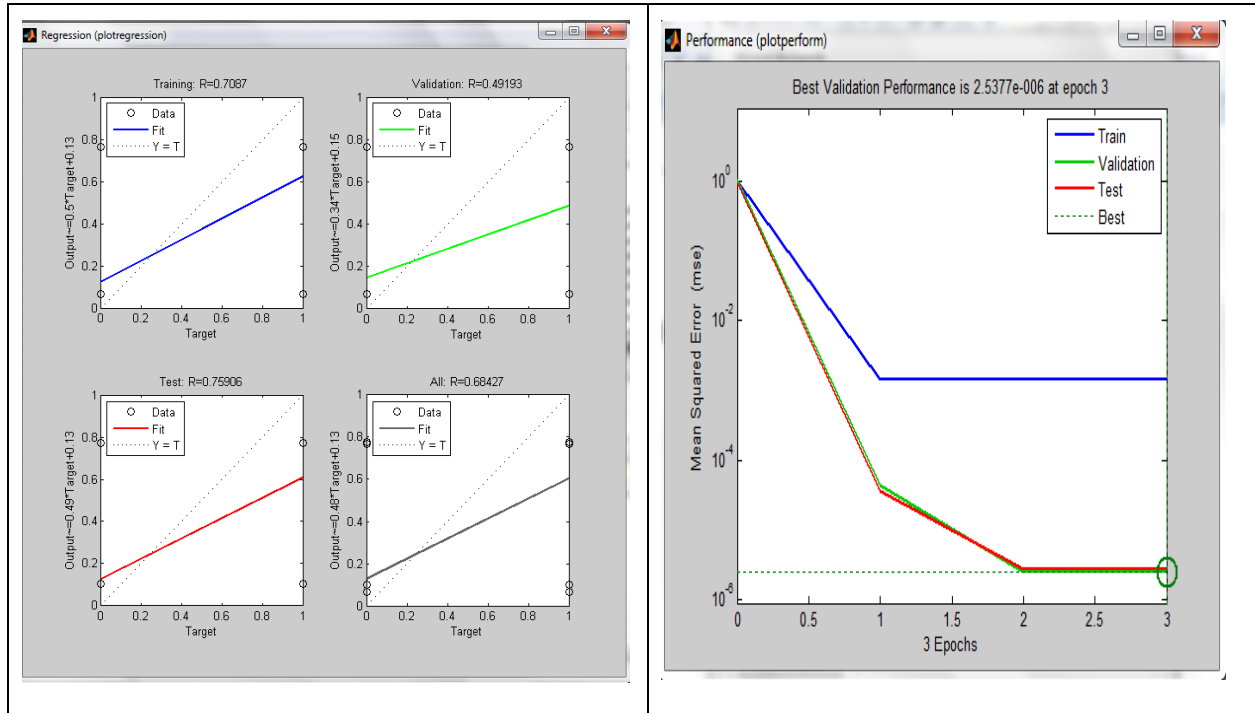


Figure 3.20 : résultats de la régression et la convergence MSE avec NLMS et PMC canal COST 207

RA.

5.1.3. Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre RLS et réseau PMC :

Les réseaux de neurones associés au filtre RLS donne de mauvais résultats avec une validation 0.53 une convergence à 0.14 pour une seule itération (figure 3.21).

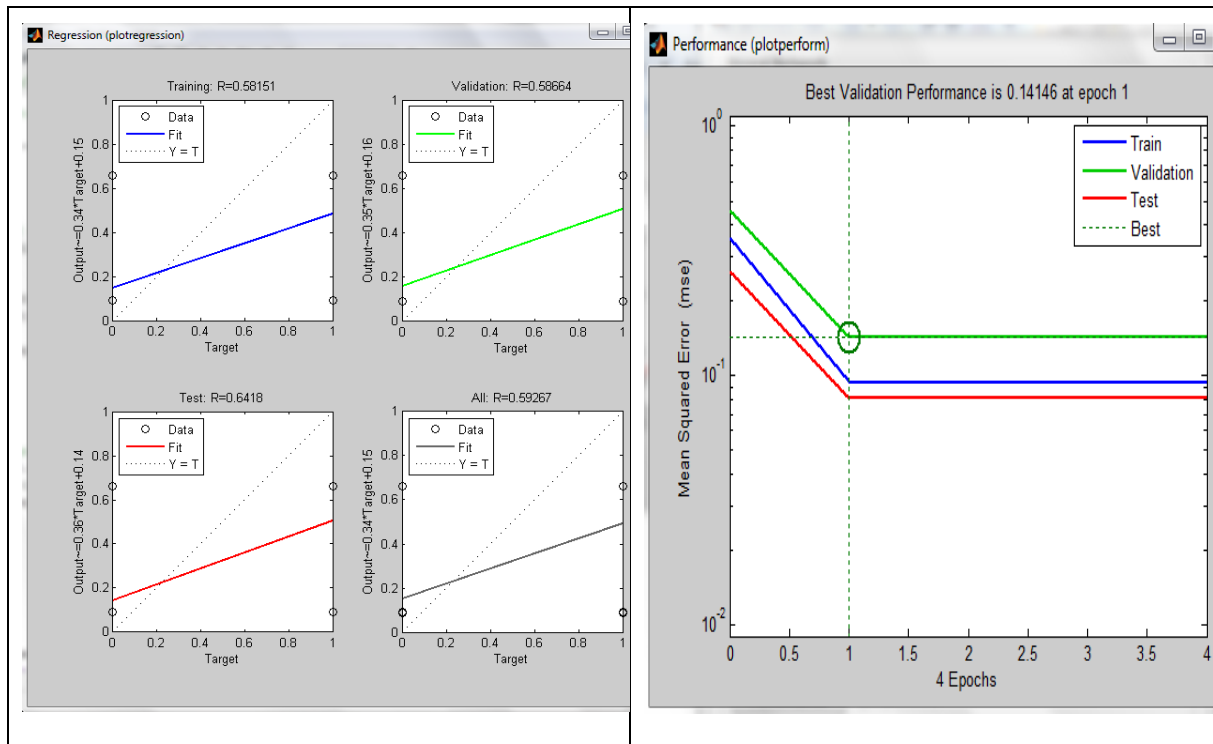


Figure 3.21 : résultats de la régression et la convergence MSE avec RLS et PMC canal COST 207 RA

5.2. Résultats des simulations d'égalisation sur le canal BUX6

5.2.1 Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre LMS et réseau PMC :

Le résultat pour le canal COST 207 BUX6 est très satisfaisant puisque la validation de la régression devient linéaire égale à 1 et la convergence est à 0.175 après 3 itérations (figure 3.22).

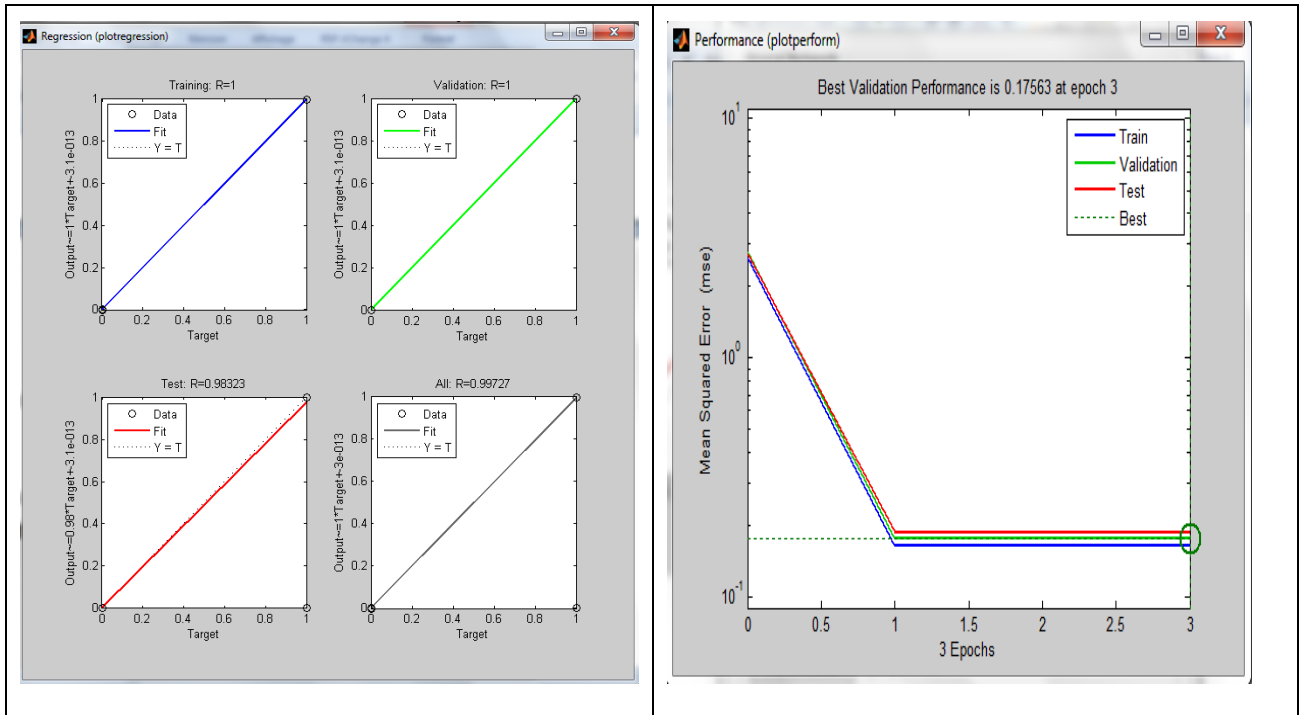


Figure 3.22 : résultats de la régression et la convergence MSE avec LMS et PMC canal BUX6

5.2.2. Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre NLMS réseau PMC :

Cette combinaison nous a donné un résultat très appréciable avec une validation à 0.826 et une convergence à 0.153 après 2 itérations (figure 3.23).

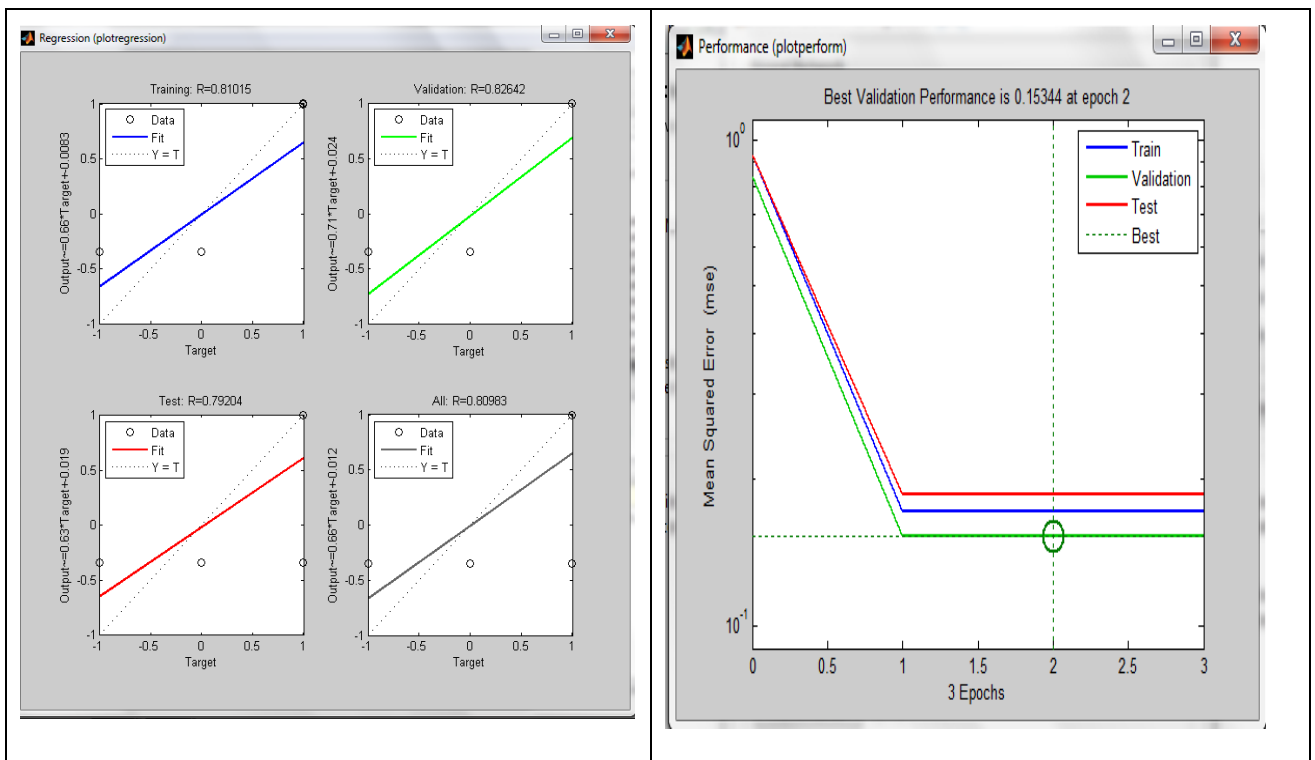


Figure 3.23 : résultats de la régression et la convergence MSE avec NLMS et PMC canal BUX6

5.2.3. Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre RLS réseau PMC :

Cette association avec le filtre RLS nous apporte des résultats inférieur à la moyenne avec une validation à 0.43 pour une convergence non réunie à $9 \cdot 10^{-7}$ pour 2 itérations (figure 3.24).

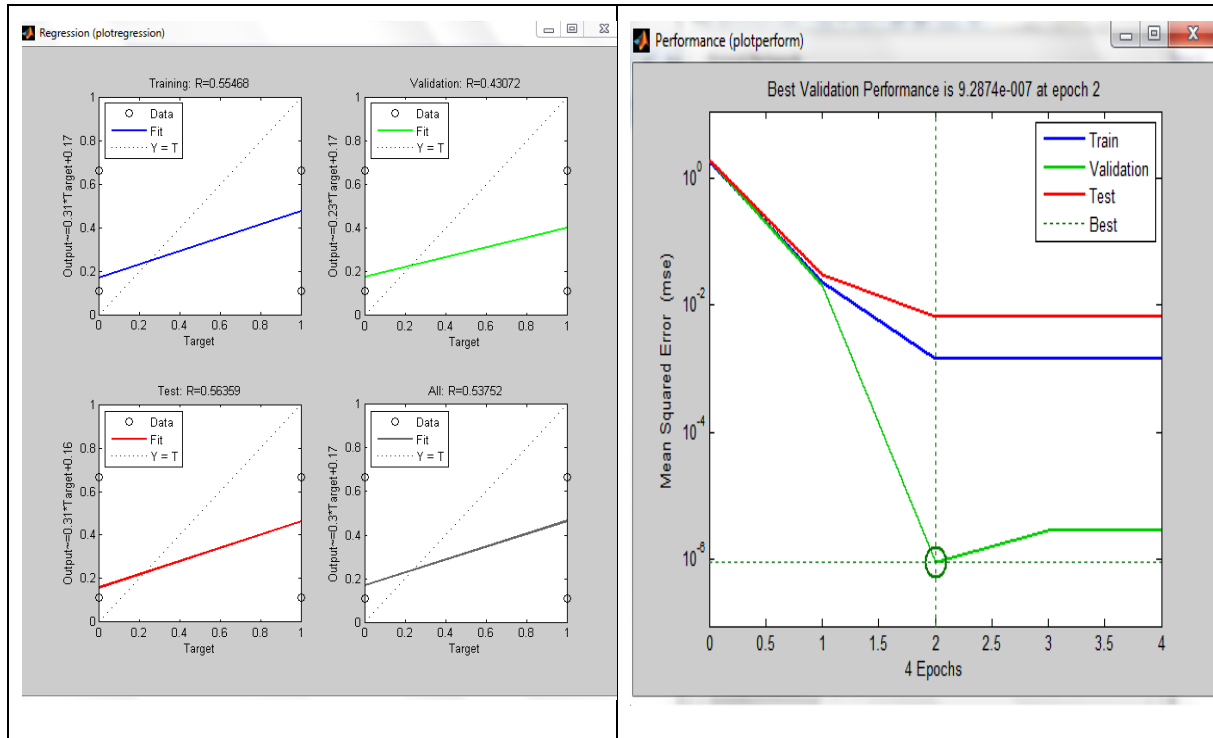


Figure 3.24 : résultats de la régression et la convergence MSE avec RLS et PMC canal BUX6

5.3. Résultats des simulations d'égalisation sur le canal Rayleigh

5.3.1. Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre LMS réseau PMC :

Avec une régression à 0.95 cette combinaison est très appropriée et une convergence de la MSE à 0.162 pour deux itérations (figure 3.25).

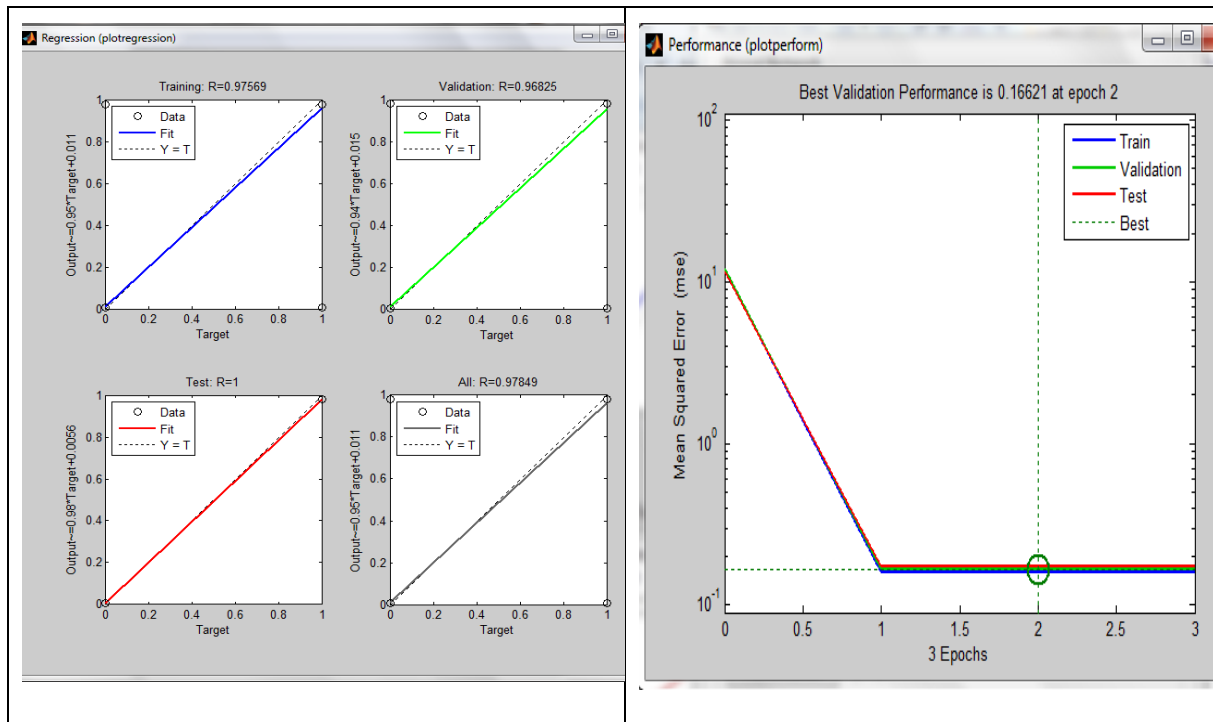


Figure 3.25 : résultats de la régression et la convergence MSE avec LMS et PMC canal Rayleigh

5.3.2. Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre NLMS réseau PMC :

Les résultats sont acceptables avec une validation à 0.799 et une convergence à 0.156 pour 4 itérations (figure 3.26).

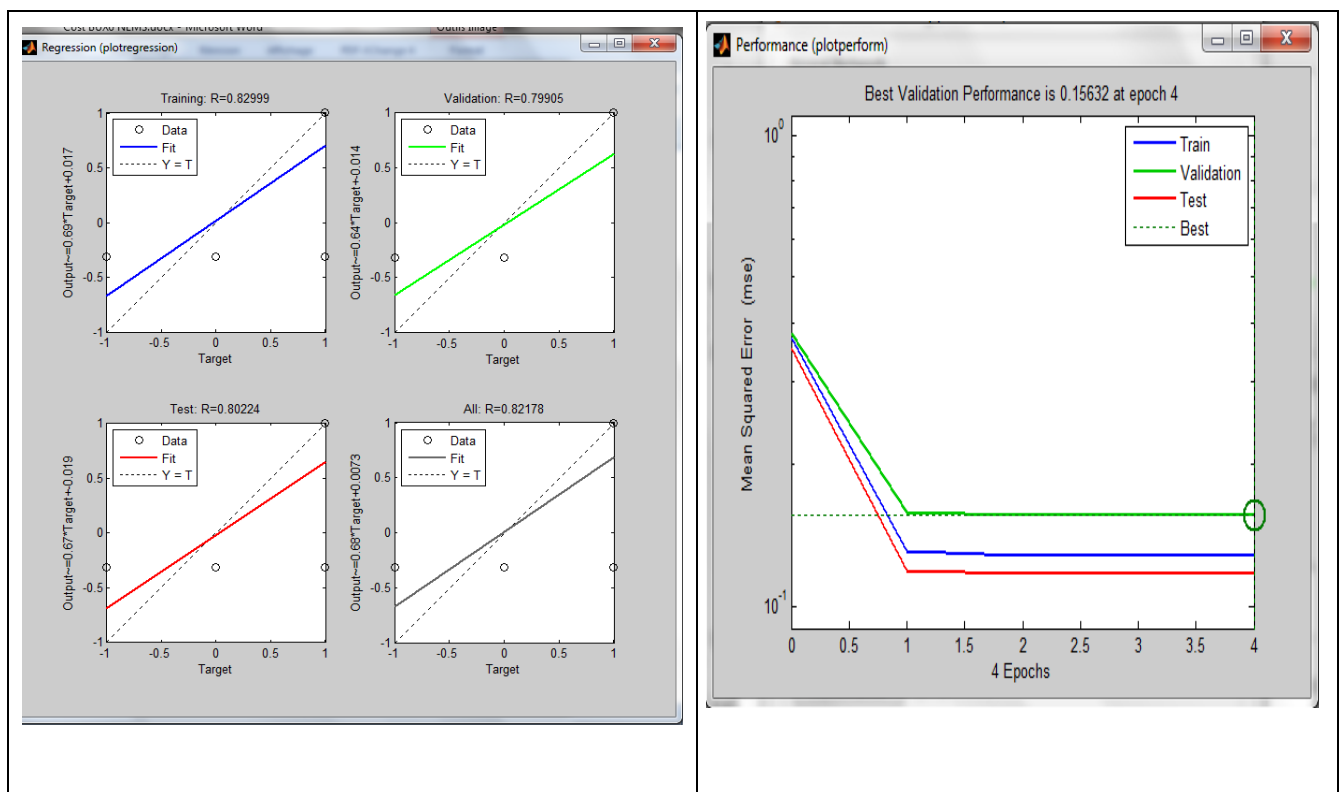


Figure 3.26 : résultats de la régression et la convergence MSE avec NLMS et PMC canal Rayleigh

5.3.3. Résultats des simulations d'égalisation avec le filtre RLS réseau PMC :

Ici l'association filtre RLS et PMC fournit des résultats très faible par rapport aux cas précédant et procure une régression à 0.25 et une convergence MSE à $3.06 \cdot 10^{-5}$ pour 2 itérations (figure 3.27).

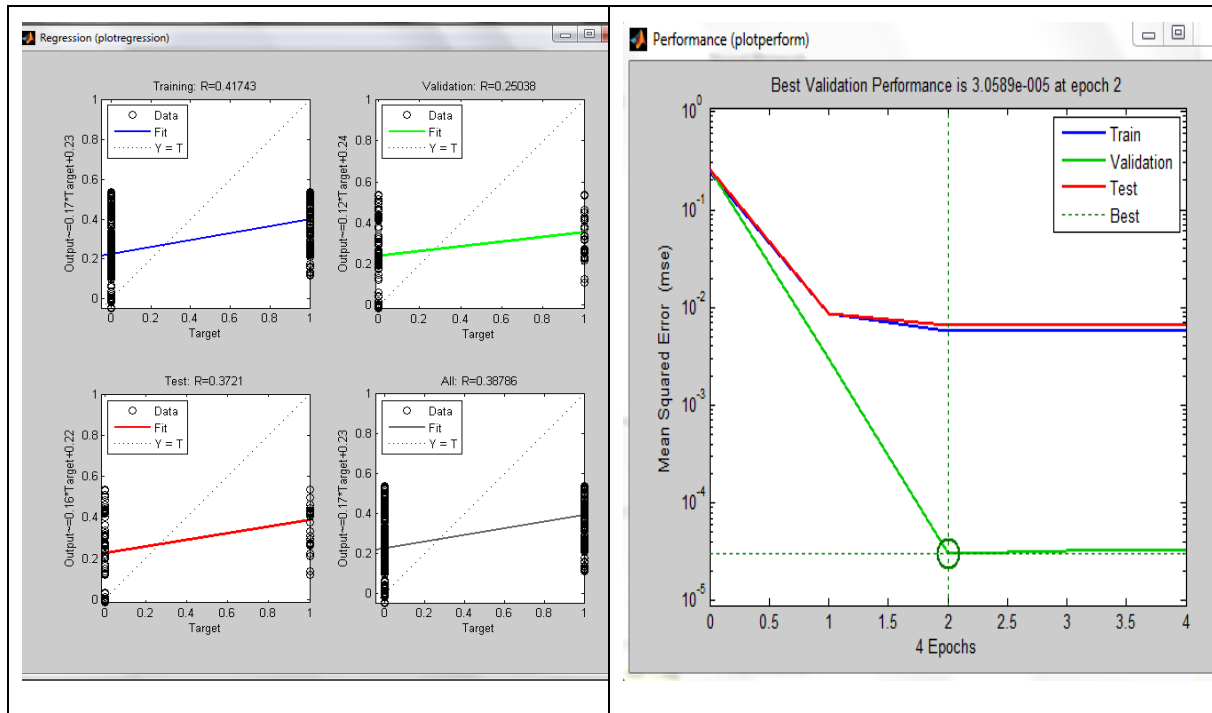


Figure 3.27 : résultats de la régression et la convergence MSE avec RLS et PMC canal Rayleigh

L'alliance LMS et PMC est très appréciable pour les deux canaux COST 207 RA et COST 207 BUX6. Par contre la combinaison NLMS et PMC a démontré qu'avec le filtre NLMS le résultat est meilleur pour le canal COST 207 BUX6. Par contre avec le filtre RLS, les résultats sont moins tolérables et même inférieurs à la moyenne pour le canal COST 207 BUX6.

Pour le canal de Rayleigh, avec le filtre LMS, le réseau PMC est très adapté avec une régression à 0.95 mais moins performant avec le filtre NLMS. Pour l'association RLS et réseau PMC le résultat ici est très faible et non acceptable avec une régression à 0.25 seulement.

6. Conclusion :

Dans la première partie nous avons présenté une optimisation des canaux avec les filtres adaptatifs LMS, NLMS et RLS qui nous a permis de distinguer le comportement des trois canaux vis-à-vis de l'égalisation.

La seconde partie qui comporte l'association des filtres adaptatifs (LMS, NLMS, RLS) et réseau PMC s'est révélé très appréciable pour le cas LMS PMC et NLMS PMC avec trois les canaux exploités.



Conclusion et perspective

Conclusion et Perspective

Conclusion générale

Le canal de transmission additionne plusieurs effets sur le signal transmis de l'émetteur vers le récepteur. Le canal est souvent symbolisé comme une source de bruit additif mais il peut aussi atténuer et déformer fortement certaines fréquences porteuses, on parle alors de fading sélectif. Le canal peut aussi avoir pour effet de superposition des symboles transmis qui cause, alors les interférences entre symboles. L'études de tous ces effets qui déforme le signal en permis à créer des modèles pour le canal radio mobiles très sollicité dans le cas de la transmission réseaux de télécommunications mobile 4G et 5G.

Ce travail représente une contribution à certaine recherche déjà entamé sur l'optimisation des paramètres embarrassant du canal qui rend le signal déformé à la sortie, les techniques utilisés ici nous en permis d'étudier et d'analyser le comportement des trois canaux exploités (COST 207 RA, COST 207 BUX6 et canal de Rayleigh) qui sont destinés à modéliser le canal radio mobile qui représente le support de réseaux de télécommunications mobile 4G et 5G.

Afin de minimiser les problèmes liés aux canal radio mobile nous avons opté pour l'égalisation du canal avec deux méthodes qui sont l'égalisation adaptative et une égalisation hybride avec les filtres adaptatifs et les réseaux des neurones multicouche PMC.

Pour l'égalisation adaptative nous avons utilisé des filtres adaptatifs tel que les filtres LMS, NLMS et RLS. Cette partie nous a permis de distinguer entre le comportement des canaux. D'après les résultats retrouvés les filtres LMS et NLMS se comporte de façon compétitive et fournies les meilleurs résultats sur les deux canaux COST 207 RA, COST 207 BUX6, alors qu'avec le filtre RLS l'égalisation est très mauvaise.

La seconde analyse abordée dans ce travail est une simulation hybride avec les filtres adaptatifs et réseaux de neurones PMC qui s'est révélé très favorable en termes de régression des donnée entrées sorties, et confirme les résultats de la première partie avec de bon résultats issu de l'association des filtres LMS et NLMS aux réseaux de neurones PMC. Par contre la combinaison PMC avec le filtre RLS donne de faible taux de régression et fourni une égalisation peu appréciable.

Conclusion et Perspective

Perspective

- Etendre les travaux du mémoire en exploitant d'autres modèles du canal radio mobile.
- Nous proposons également de concevoir plusieurs égaliseurs linéaires et non linéaires basés sur les modèles de réseaux de neurones PMC et RBF (le réseau de neurones à fonction radiale). Dans le but d'optimiser les performances du traitement tout en exploitant l'étape d'apprentissage pour minimiser les erreurs résiduelles.

Références bibliographiques

- [1] <https://routeur-5g.fr/guide-dachat/comparatif-entre-3g-4g-et-5g/>
- [2] Bouchentouf.H, Boudghene stambouli.R «Etude des performances des reseaux 4G (LTE) » Mémoire pour l'obtention du diplôme de master RÈseaux Mobiles et Services (RMS) Université de Tlemcen, 2012
- [3] Urdareanu.A, « Réseau de 4ème Génération », Rapport bibliographique, Université de RENNES, 2007.
- [4] Yoe.S.H et Alwi.S, « Evaluation des Performances Des Techniques D'Accès OFDMA et SC-FDMA Dans La Technologie LTE », Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université de Tlemcen, 2012.
- [5]<https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/expace/CND/Rapport-ANFR-presentation-generale-5G.pdf>
- [6] Detti, Andrea. "Functional architecture." CNIT - Electronic Eng. Dept., Université de Rome Tor Vergata.
- [7] "5G Use Cases and Requirements White Paper," in Nokia White Paper, July 2014, (online) Available : <http://resources.alcatel-lucent.com/asset/200010>.
- [8] Lin, J. et al, "A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications", IEEE Internet of Things Journal, Vol. 4, Issue: 5, Oct. 2017.
- [9] Rodriguez, Jonathan, ed. "Fundamentals of 5G mobile networks". John Wiley & Sons, 2015.
- [10] Sami Tabbane. "Réseaux Mobiles", Editions HERMES, Paris, 1997.
- [11] Cristiano Panazio, "Etude fréquentielle de l'étalement de spectre et impact sur la conception d'un récepteur de radiocommunications universel", Thèse de doctorat présentée au Conservatoire National des Arts et Métiers 2005.
- [12] Haas E., Lang H., and Schnell M., "Development and implementation of an advanced airport data link based on multi-carrier communications," European Transactions on Telecommunications (ETT). 13(5): 447-454, Sept./Oct. 2002.
- [13] Sklar B. "Digital Communications - Fundamentals and Applications", second edition, prentice-hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, 2001.
- [14] Baudais J.Y. Etude des modulations à porteuses multiples et à spectre étalé : analyse et optimisation. PhD thesis, Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, Mai 2001.
- [15] COST 207, "Digital land mobile radio communications," Final Report, 1989.
- [16] COST 231, "Digital mobile radio towards future generation systems," Final Report, 1996.
- [17] COST 259, "Wireless flexible personalized communications," Final Report, L. M. Correia (ed.), John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
- [18] ETSI UMTS (TR 101 112), "Universal mobile telecommunications system (UMTS)," Sophia Antipolis, France, 1998.
- [19] UTRA, Submission of Proposed Radio Transmission Technologies, SMG2, 1998.
- [20] 3GPP (TR 36.803), "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); user equipment (UE) radio transmission and reception (Release 8)," Technical Specification, Sophia Antipolis, France, 2007.

Références bibliographiques

- [21] Hervé BOEGLÉN."Traitement de signal,notion de filtrage adaptatif", cours en ligne.
- [22] Fateh Bouguerra."Contribution à l'optimisation des télécommunications dans les réseaux mobiles ». Mémoire de fin d'études master 2.
- [23] J.-F. Bercher& P. Jardin, "Introduction au filtrage adaptatif ». Cours en ligne.
- [24] Jean_yvesbaudot. "scr,mse,rmse,mae et mape".Cours en ligne.
- [25] Laid zakaria et daraoui Ayyoub. "Filtrage Adaptatif du signal Electrocardiogramme (ecg)" Memoire de fin d'etudes master 2.
- [26] FEKIH Raina."Commande et diagnostic de la machine asynchrone à l'aide d'observateur" Mémoire de fin d'études master 2.
- [27] Jacob Benesty, Senior Member, IEEE,Hernán Rey,Leonardo Rey Vega, andSara Tressens. "A non parametric VSS NLMS algorithm". Article en ligne.
- [28] LAIFAOUI Wafa. "Implémentation des filtres adaptatifs sur une carte FPGA pour l'annulation d'écho acoustique. Mémoire de fin d'études master 2.
- [29] S.N. Sivanandam, S.N. Deepa, "Introduction to Genetic Algorithms ", Edition Springer, 2008.
- [30] <http://www.statsoft.fr/concepts-statistiques/reseaux-de-neurones-automatisees/reseaux-deneurones-automatisees.php#type>.
- [31] Dreyfus G, "les réseaux de neurones, Mécanique Industrielle et Matériaux", No.51, septembre 1998
- [32] Eds.RICHARD C. DorfBoca Raton "Artificiel Neural Networks ", the Electrical Engineering Handbook: CRC Paris LIC,2000.
- [33] JF. Jodoin, " les réseaux Neuromimétiques", Dunod, paris 1987.
- [34] Jain A. K, Mao J, Muhuidin K.M, "Artificiel Neural Networks: A tutorial"IEEE, pp.3144, March 1996.
- [35] Dayan P, Abbott L.F, "Theoretical Neuroscience ", Book, 2000
- [36] Corina Botoca, Georgeta Budura, "Symbol Decision Equalizer using a Radial BasisFunctions Neural Network ", Proceedings of the 7th WSEAS International Conference onNeural Networks, Cavtat, Croatia, pp79-84, June 12-14, 2006
- [37] Youcefizadeh H, Zilouchian A, "Neural Network Architectures ", CRC Paress,2001.
- [38] Khadir M.T, "les Réseaux de Neurones Artificiels ",2005.
- [39] veelenturf L.P.J, "Analysis and applications of Arteficail Neural Networks "Book, print Hall Edition, 1995.