

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة سعد دحلب بليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA
كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie
قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Mention Électronique
Systèmes de Télécommunications (ST)
présenté par
Bibi lakhdar
&
Medjebeur billel

Modélisation et test d'un émetteur RF NR d'un système 5G

Proposé par : Dr. ANOU Abderrahmane

Année Universitaire 2020-2021.

ملخص:

ويركز هذا العمل على الدراسة التكنولوجية التي ينبغي أن تكون محور شبكات الجيل المقبل من جيل 5G وعلى تكنولوجيا التعديل المتعدد الوسائط التي يمكن أن تكون بديلا لقوة الدفاع عن الذات. النتائج التي يتم الحصول عليها باستخدام بيئة Matlab ستبين لنا كيفية نمذجة واختبار مصدر RF NR نموذج المحاكاة لدينا عبارة عن معامل قياس IQ و عامل تصفية نطاق النطاق و ضخامات. وعند تقييم الأداء تؤخذ في الاعتبار قياسات ACLR و EVM. تؤكد المحاكاة على تأثير HPA غير الخطية على أداء RF

الكلمات الجوهرية: OFDM, UFMC, متعدد النواقل, المرشحات, الجيل الخامس.

Résumé :

Ce travail porte sur l'étude technologique qui devrait représenter le cœur des réseaux de la prochaine génération 5G et d'une technique de modulation multi-porteur alternative à l'OFDM. Les résultats qui seront obtenus en utilisant l'environnement Matlab vont nous montrer comment modéliser et tester un émetteur RF NR. Notre modèle de simulation se compose d'un modulateur IQ, d'un filtre passe-bande et d'amplificateurs. Afin d'évaluer les performances, prend en compte les mesures ACLR et EVM. La simulation met en évidence l'effet des non-linéarités HPA sur les performances de l'émetteur RF

Mots clés : 5G, OFDM, amplificateur non linéaire, modulateur IQ.

Summary:

This work focuses on the technological study that should represent the core of the next generation 5G networks and a multi-carrier modulation technique alternative to OFDM. The results that will be obtained using the Matlab environment will show us how to model and test an RF NR transmitter. Our simulation model consists of an IQ modulator, a strip filter and amplifiers. In order to evaluate performance, takes into account the ACLR and EVM measurements. The simulation highlights the effect of HPA non-linearity on the performance of the RF transmitter

Keywords 5G, OFDM, non-linear amplifier, IQ modulator.

Dédicace

Que ce travail témoigne de mes respects :

*À mes parents **Abelkader et Souad** :*

Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie Allah de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et réussite.

À ma grand-mère maternelle Chafika :

Grâce à tes conseils et tes prières, je suis une personne meilleure. Je te dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de longue vie .

À mes tantes

Elles vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'elles n'ont cessé de me porter. Leur générosité et leurs soutiens m'oblige de leur témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

À tous les membres de ma famille petits et grands :

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

À mon cher frère Nabile:

Tu vas trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une fraternité infinie, tu es et tu resteras toujours mon modèle de réussite .

Dédicace

 *Je dédie ce mémoire à ...* 

*À ma très chère mère **chrifa** tu représentes pour moi, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

*À mon très cher père **Boualem** aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

*À mes très chères sœurs **Meriem, Sabrina et Hanane** en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.*

*A mon binôme **Medjebeur** tu es toujours dans mon cœur comme un frère, Je te remercie pour ta présence à mon côté et pour tes encouragements, que ce travaille te garde pour moi pour toujours.*

*Au **Dr. Anou Abderrahmane** qui m'a énormément aidé durant toute l'année de mes fins d'études.*

Lakhdar

Table des matières

Introduction Générale.....	1
1.1 Introduction	2
1.2 Objectif de la 5G	3
1.3 Architecture du réseau 5G	4
1.4 Les services innovants de la 5G.....	4
1.5 Les spécifications techniques de la 5G.....	4
1.6 La 5G s’inscrit dans un processus continu d’amélioration de la téléphonie mobile.....	5
1.7 La 5G doit améliorer les performances (débit, réactivité, densité) par rapport à la 4G.....	5
1.8 L’évolution de la 4G a la 5G.....	6
1.8 La différence entre la 5G et la 4G	6
1.9 Les Bandes de fréquences de fonctionnements.....	7
1.10 La technologie MIMO	7
1.11 Illustration de la technique « MIMO ».....	8
1.13 La 5G et l'environnement.....	9
1.14 Conclusion.....	9
Chapitre 2 : Modélisation et test d’un émetteur RF NR d’un système 5G.....	10
2.1 Introduction	10
2.2 La chaine de transmission OFDM	10
2.3 Principe et fonctionnement de l’OFDM.....	11
2.4 Modulation OFDM	12
2.5 Démodulation OFDM	13
2.6 Implémentation numérique	14
2.7 Implémentation numérique du modulateur	14
2.8 Implémentation numérique du démodulateur	15
2.9 Avantages et inconvénients de l’OFDM.....	16
2.10 Conclusion	16

Chapitre 3 : Simulation et résultats	17
3.1 Introduction	17
3.2 Structure du modèle Simulink	17
3.3 L'organigramme général.....	18
3.3.1 Les paramètres de la simulation	19
3.3.2 Mesuré de la Quantité de fuite de puissance dans les canaux adjacents	19
3.3.3 L'intégration de puissance de signal	20
3.3.4 Traitement du signal en bande de base	21
3.4 Les composantes principales du calcul de l'EVM.....	22
3.4.1 Génération de la bande de base NR.....	22
3.4.2 Transmission RF.....	23
3.5 Performances du modèle.....	25
3.5.1 Résultats de simulation de l'émetteur RF NR.....	27
3.6 Réception et mesures en bande de base NR.....	28
3.7 Conclusion.....	32
Conclusion général.....	33
Bibliographie.....	34

Liste des figures

FIGURE 1. 1 : L'ARCHITECTURE DE LA CINQUIEME GENERATION DES RESEAUX MOBILES.	3
FIGURE 1. 2 : L'ARCHITECTURE DE LA 5G [2].	4
FIGURE 1. 3 : LA DIFFERENCE ENTRE LA 5G ET LA 4G	7
FIGURE 1. 4 : LES BANDES DE FREQUENCES [14].	7
FIGURE 1. 5 : EXEMPLE MIMO 3×4	8
FIGURE 1. 6 : ILLUSTRATION DE LA TECHNIQUE « MIMO »[14].	8
FIGURE 2 1: CHAINE DE TRANSMISSION OFDM [4].	11
FIGURE 2 2: REPRESENTATION FREQUENTIELLE ET TEMPORELLE D'UN SIGNAL OFDM [5].	12
FIGURE 2 3: SCHEMA DE MODULATION OFDM [7].	13
FIGURE 2 4: SCHEMA DE LA DEMODULATION OFDM [7].	14
FIGURE 2 5: MODULATEURS OFDM NUMERIQUE.	15
FIGURE 2 6: DEMODULATEURS OFDM NUMERIQUE [9].	15
FIGURE 3. 1 : L'ORGANIGRAMME DE SIMULATION GENERAL	18
FIGURE 3. 2 : LES ETAPES DE MESURE DE LA QUANTITE DE FUITES DE PUISSANCE DANS LES CANAUX ADJACENTS ACLR.	19
FIGURE 3. 3 : L'ORGANIGRAMME DE L'INTEGRATION DE PUISSANCE DE SIGNAL.	20
FIGURE 3. 4 : L'ORGANIGRAMME DE TRAITEMENT DU SIGNAL.	21
FIGURE 3. 5 : MODELISATION ET TEST D'UN EMETTEUR RF NR.	22
FIGURE 3. 6 : LES PARAMETRES NR-TM TRANSMISSION.	23
FIGURE 3. 7 : ÉMETTEUR RF SUPERHETERODYNE.	24
FIGURE 3. 8 : LES PARAMETRES RF TRANSMISSION.	25
FIGURE 3. 9 : GRAPHE DES PUISSANCES SORTIES EN FONCTIONS DES PUISSANCES D'ENTREES.	26
FIGURE 3. 10 : SCHEMA D'AMPLIFICATEUR AM DU HPA.	26
FIGURE 3. 11: DIAGRAMME DE LA CONSTELLATION (36-QAM) APRES LES ITERATIONS.	27
FIGURE 3. 12 : DENSITE SPECTRALE DE PUISSANCES A L'EMISSION.	28
FIGURE 3. 13 : REPONSE SPECTRALE D'EVM EN FONCTION SLOT NOMBRE.	29
FIGURE 3. 14 : REPONSE SPECTRALE D'EVM EN FONCTION D'OFDM.	29
FIGURE 3. 15: REPONSE SPECTRALE D'EVM EN FONCTION DU NOMBRE DES SOUS-PORTEUSES.	29
FIGURE 3. 16 : DIAGRAMME DE CONSTELLATION DES SYMBOLES REÇUS (36-QAM).	30
FIGURE 3. 17 : DENSITE SPECTRALE DE PUISSANCE A LA RECEPTION.	31
FIGURE 3. 18 : REPONSE SPECTRALE D'EVM EN FONCTION SLOT NOMBRE.	31
FIGURE 3. 19: REPONSE SPECTRALE D'EVM EN FONCTION D'OFDM.	31
FIGURE 3. 20: REPONSE SPECTRALE D'EVM EN FONCTION DU NOMBRE DES SOUS-PORTEUSES.	31

Liste des tableaux

TABLEAU 1 1 : CYCLE DES GENERATIONS DE TELEPHONIE MOBILE.....	5
TABLEAU 1 2 : L'EVOLUTION DES DIFFERENTS RELEASES DES 4G, 5G.	6
TABLEAU 2. 1 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'OFDM	16
TABLEAU 3. 1 : PARAMETRES DE LA SIMULATION.	19

Listes des acronymes et abréviations

1G	Première Génération
2G	Deuxième Génération
3G	Troisième Génération
3GPP	Génération Partner hip Project
4G	Quatrième Génération
5G	Cinquième Génération
5G NR	Fifth Génération New Radio
ACPR	Autorité de contrôle prudentiel et de résolution
BER	Bit Error Rate
CCDF	Complementary Cumulative Distri- bution Function
CDMA	Code Division Multiple Access
DSP	Densité spectrale de puissance
EVM	Earned Value Management
FDD	Frequency Division Duplexing
FFT	Fast Fourier transform
FSK	Frequency Shift Keying.
GSM	Globale Système For Mobile
HPA	Hectopascal
IBO	International Boxing Organization
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMT	International Mobile Télécommunications
IOT	Internet Of Things
ISI	Interference Inter Symboles
I'UIT	Union Internationale des Télécommunications
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multi Input Multi Output
NMT	Nordic Mobile Telephone
NR	New Radio
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Fréquence
RNTI	Revue des Nouvelles Technologies de l'Information
TDD	Test Driven Développement
<i>TDMA</i>	Time Division Multiple Access
UHD	Ultra High Definition
UMT	Unité Mixte Technologique
UMTS	Universel Mobile Télécommunication
VGA	Vidéo Graphics Array

Notations

$AT\text{Sinc}(fT_s)$:	sinus cardinal d'amplitude A et de largeur T .
B	:	Bande passante.
B_c	:	Largeur de bande de cohérence du canal.
B_d	:	Bande Doppler.
B_N	:	Largeur de sous-bande.
b_i	:	Données binaires.
$c_k = a_k + jb_k$:	Symbole transmis en bande de base, avec a_k la partie réelle et b_k la partie imaginaire.
Δ	:	Intervalle de garde.
Δf	:	Espacement minimal entre les sous-porteuses pour garder l'orthogonalité.
$\text{erfc}(\cdot)$:	Fonction d'erreur complémentaire.
E_b	:	Énergie par bit.
E_b/N_0	:	Rapport entre énergie par bit et densité spectrale du bruit.
E_s	:	Énergie par symbole.
$F_{i,k}$:	Matrice de Toeplitz du filtre.
f_0	:	Fréquence porteuse.
f_k	:	Fréquence porteuse d'indice k .
H	:	matrice Toeplitz.
H_k	:	Réponse fréquentielle.
$H_k(t)$:	fonction de transfert du canal.
$H_i(f_i)$:	Coefficient complexe de chaque sous-porteuse.
L	:	Longueur du filtre.
m	:	Nombre de bits.
$m(t)$:	Signal transmis.
L_{cp}	:	Longueur du préfixe cyclique.
M	:	Taille de l'alphabet du modulateur.
n_i	:	Nombre de symboles.
N	:	Nombre total de sous-porteuses pour un signal OFDM.
N_B	:	Puissance de bruit.
N_0	:	Densité spectrale de bruit unilatérale.
P	:	Puissance du signal.
P_e	:	Probabilité d'erreur par symbole.
$\Pi_{T_s}(t)$:	Fonction porte.
\otimes	:	Produit de convolution circulaire.
SNR	:	Signal to Noise Ratio.
$s(t)$:	Signal modulé.
s_k	:	Bloc de symboles QAM.
s_{ik}	:	Groupe de symboles.
$(TF\{\cdot\})$:	Transformé de Fourier.

T_b	:	Durée de données binaires.
T_g	:	Durée du préfixe cyclique.
T_m	:	Étalement temporel.
T_s	:	Durée d'un symbole de la modulation.
T_{tot}	:	Durée totale d'un symbole OFDM.
$\gamma_{am}(f)$:	La densité spectrale de puissance du signal en bande de base.
V_{ik}	:	Matrice de Toeplitz inclut les colonnes pertinentes de la matrice de Fourier inverse.
$w(t)$:	Bruit blanc additif gaussien.
x_i	:	Le symbole connu émis.
α_i	:	Le coefficient d'atténuation du canal.

Introduction Générale

Introduction Générale

Actuellement et avec l'essor de nouveaux services dans les réseaux de communication mobile, la transmission demande un débit de plus en plus élevé, alors, les technologies de l'information sont devenues une partie très importante de notre société.

Les systèmes mobiles anciens font généralement référence à un changement de nature du système, de vitesse, de technologie, de fréquence, de capacité de donnée, ou de latence. Les modulations mono-porteuses étaient la base des premiers systèmes de communications numériques. Pour augmenter le débit de transmission en général, on doit réduire la durée des symboles, mais les canaux multi-trajet ont comme effet d'introduire de l'interférence inter-symboles ISI (Interférence Inter Symboles), ce qui nécessite une égalisation complexe à la réception. Donc, pour surpasser ces problèmes, les modulations multi-porteuses ont été proposées comme des solutions alternatives afin de contrer les effets des canaux multi-trajets.

Ce mémoire est constitué de trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons souligné certains des nouveaux services et leurs catalyseurs technologiques qui devraient représenter le cœur des réseaux de prochaine génération 5G et l'architecture d'un réseau 5G et ces composants principaux-à la fin, nous avons vu les prochains réseaux mobiles (5G).

Dans le second chapitre, on se concentre sur l'étude de la modulation OFDM, en commençant par les problématiques principales en passant par les principes de fonctionnement, et en évoquant ses avantages et ses inconvénients, et le traitement du similaire à celui de l'OFDM compris l'évaluation et finalement la compensation de la distorsion du canal et du décodage de l'OFDM

Dans le dernier chapitre des simulations qui vont nous permettre de tester l'émetteur RF NR. L'émetteur RF se compose d'un modulateur IQ, d'un filtre passe-bande et d'amplificateurs. Pour évaluer les performances.

CHAPITRE 1

1.1 Introduction

Aujourd'hui, l'utilisation des technologies de communication mobile est devenue très large, les réseaux de télécommunications sont confrontés à une grande hétérogénéité. Jusqu'à maintenant, chacune des générations (1G, 2G, 3G, 4G) de réseaux mobiles a été implémentée pour offrir l'utilisation des applications spécifiques. Le contraire en ce qui concerne la 5G (5th génération), qu'elle devra offrir de divers besoins. En effet, pour ce nouveau réseau 5G, ils apparaissent de nouveau type d'objets communicants à côté des utilisateurs cellulaires classiques, où ce qu'on appelle maintenant l'Internet des objets (IOT Internet Of Things).

La 5G est la cinquième génération. Elle a une multitude de fonctionnalités très avancées pour pouvoir résoudre plusieurs problèmes de notre vie quotidienne moderne. La 5G ne s'intéresse pas seulement aux besoins des opérateurs de téléphonie mobile et des communications grand public, mais elle ouvre aussi de nouvelles perspectives de la future. Elle permet la coexistence d'applications et d'utilisations très diverses, unifiées dans une même technologie pour faciliter l'arrivée à une société complètement connectée. Cela permettra à tout le monde d'avoir un accès illimité aux informations et aux conversations virtuelles à tout moment, et en tout lieu pour tout le monde. Et il ne s'agit pas seulement d'appeler les gens, mais cela inclut également la possibilité de se connecter à tous les appareils et la disponibilité n'importe où, n'importe quand. L'idée qui commence à se dessiner derrière la notion de la 5G est qu'elle ne correspondrait pas à une simple augmentation des vitesses, comme c'était le cas pour les générations précédentes (3G et 4G). La 5G cible une grande variété de secteurs, qui n'auraient pas forcément d'autre élément commun que cette technologie, mais qui sont des bases importantes de la société dans les domaines des : médias, l'énergie, la santé, l'éducation, l'industrie ou les transports.

La cinquième génération de téléphonie mobile faisant suite à la 4G, permet des débits plus importants, le débit maximum devrait se situer entre 1 et 10 G bit/s soit 100 à 1000 fois plus rapide que celui de la 4G. L'une des caractéristiques principales concerne l'internet des objets (IOT) qu'on va voir juste après, les applications IOT couvriront plus le domaine médical, le domicile (application domotique) et d'autres domaines.

Voici une la figure illustrant comment serait éventuellement l'architecture de la cinquième génération des réseaux mobiles.

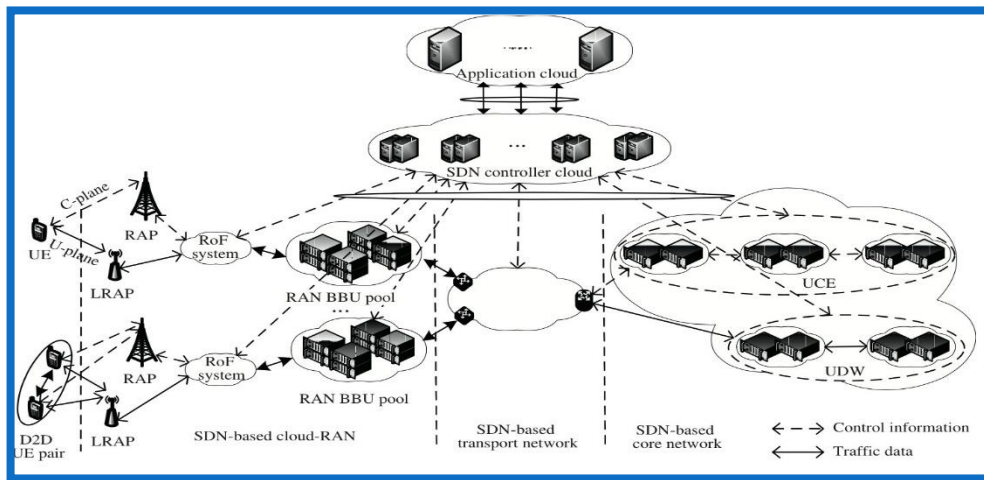


Figure 1. 1 : L'architecture de la cinquième génération des réseaux mobiles.

1.2 Objectif de la 5G

La 5G a cinq objectifs principaux, parmi lesquels l'augmentation de la vitesse et de la capacité des réseaux, mais aussi la préparation de l'évènement majeur qu'est l'Internet des objets, qui va nous permettre de construire un monde complètement connecté.

Des forfaits data plus volumineux : Le volume de données échangeables sur ce réseau de future devra être supérieur à ce que la norme 4G (LTE, Long Term Evolution) ne peut pas supporter.

Connectivité de masse : le nombre d'appareils pouvant être connecté par antenne devra être 100 fois plus élevé [1]. Le nombre d'antennes dépend principalement des fréquences utilisées, en fonction des différents phénomènes comme l'absorption des ondes, par les murs, les bâtiments,... Sachant que la technique 5G vise avant tout à connecter plus d'appareils (connectivité de masse).

Un débit de 1Gbps : les meilleurs débits qui peuvent être offerts actuellement par la 4G sont dix fois inférieurs. Il peut être équivalent ou même supérieur à celui proposé dans certaines offres internet résidentielles basées sur la fibre optique.

Faible Latence : Le temps de latence est le temps entre le moment où nous cliquons sur un lien, envoyons des informations via le réseau, et la réponse de serveur, un temps de latence très court donne l'impression que le réseau est très réactif, temps de latence très courts est très important dans les applications en temps réel (vidéo conférence, jeux vidéo ...).

Plus d'autonomie des batteries et moins de consommation : Pour connecter des appareils à internet, les terminaux ont besoin d'avoir une autonomie et une durée de vie considérablement améliorée. Pour arriver à ça, les constructeurs font des améliorations pour les batteries, mais ce n'est pas suffisant aussi, donc ils ont pensé à réduire la consommation avec de nouvelles

techniques, pour doubler la durée de vie des terminaux de dix fois pour une même charge.

1.3 Architecture du réseau 5G

Un réseau 5G est composé de trois couches principales, « Services innovants », « la plateforme d'activation » et « la radio hyper-connectée », nous les décrivons avec quelques détails.

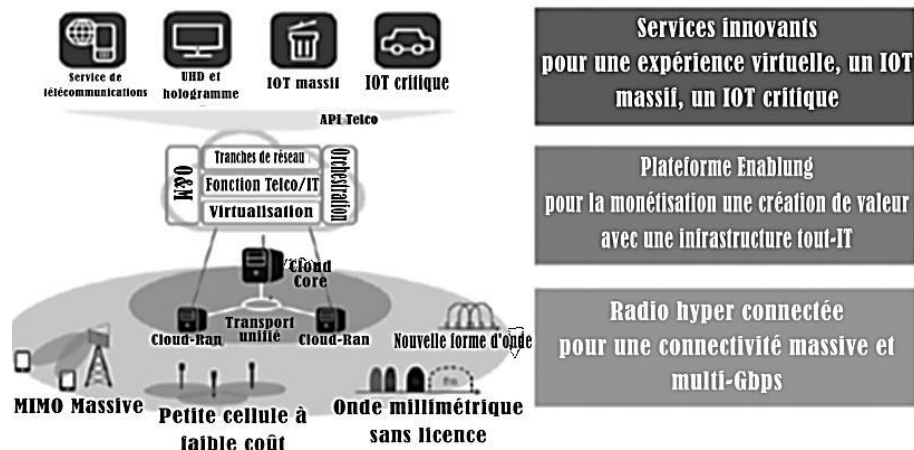


Figure 1. 2 : L'architecture de la 5G [2].

1.4 Les services innovants de la 5G

C'est la couche supérieure, elle comprend les services innovants de la 5G, basés sur les différentes capacités d'infrastructure 5G, les services offerts par la 5G peuvent fournir une expérience utilisateur immersive et hautement fiable. D'une façon particulière, les vidéos très haute définition (UHD, Ultra High Définition), deviendra parmi les services les plus dominants, qui offrent des expériences utilisateur virtuelles comme les vidéos streaming et les hologrammes. D'autre part, la bande passante et la haute fiabilité offerte par la 5G facilitera le lancement des services de contrôle des robots à distance et aussi les services de l'Internet des Objets.

1.5 Les spécifications techniques de la 5G

Les deux parties qui spécifient chaque nouvelle génération de téléphonie mobile sont : l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) et le 3GPP (3rd Génération Partner hip Project). L'UIT, est une agence des Nations Unies, qui est chargé par les technologies de communication et de l'information, fait des études avec son «Working Party 5D», qui est chargé du traitement des problèmes techniques et l'exploitation des radiocommunications.

En 2013, le groupe a commencé le travail sur la définition d'une nouvelle norme IMT (International Mobile Télécommunications), la norme IMT-2020 (5G), comme le cas de la 4G (IMT- Advanced) qui a été défini au début des années 2000. Avec les travaux de l'UIT, le 3GPP

aussi fait des études. Le groupe 3GPP a été établi en 1998, il regroupe sept organismes de normalisation, d’industriels, des associations et des organismes publics [3].

Ce groupe est chargé du développement et de la maintenance des spécifications techniques relatives aux normes de téléphonie mobile. Quand une nouvelle norme est en cours de définition par l’UIT, en même temps le 3GPP travaille sur les solutions techniques qui permettent la réponse aux objectifs définis par l’UIT.

La définition de la release 15 qui est la première norme 3GPP pour la 5G est déjà lancée (en décembre 2016), la définition d’une nouvelle architecture a commencé à partir de mars 2017, pour l’étude d’une nouvelle interface air (appelée NR pour New Radio). En septembre 2018, la première version de la norme a été validée. En mars 2020, la deuxième release (3GPP).

1.6 La 5G s’inscrit dans un processus continu d’amélioration de la téléphonie mobile

La 5G est la dernière-née des générations de téléphonie mobile. Son déploiement s’inscrit dans une évolution continue depuis les années 1980 de technologies (GSM, UMT, LTE...) visant, au cours des générations successives, à transmettre la voix, les données, puis les données mobiles, avec un accroissement concomitant du débit d’information.

Période	Années 1980	Années 1990	Années 2000	Années 2010	Années 2020
Generation de mobile	1G	2G	3G	4G	5G
Objet de la transmission	Voix	Voix et texte	Données mobiles	Mobile à large bande	Tous types de transferts
Débits typiques	2,4 kbps	64 kbps	384 kbps	100 Mbps, 1 Gbps	10 Gbps
Exemples de technologies utilisées	NMT, AMPS, TACS	GSM, IS-95, D-AMPS	W-CDMA, UMTS, CDMA1x, EV-DO	LTE	IMT 2020

Tableau 1 1 : Cycle des générations de téléphonie mobile [12].

1.7 La 5G doit améliorer les performances (débit, réactivité, densité) par rapport à la 4G

Le déploiement de la 5G, objet du présent rapport, ne doit pas faire oublier l’importance de la couverture 4G. Le déploiement de la 4G, enjeu majeur d’aménagement du territoire, est en cours d’achèvement en France. Au 31 mars 2020, selon les opérateurs, entre 97 % et 99 % de la population métropolitaine est desservies et entre 88 % et 89 % des sites sont couverts, avec un objectif de couverture des zones blanches résiduelles d’ici fin 2022

Par rapport à la génération antérieure 4G, la 5G doit fournir des débits maximaux de 1 à 10 Gb/s, un temps de latence (et donc de réaction) réduit à 1 ms et, à terme, doit

permettre de gérer une forte densité d'objets connectés, jusqu'à potentiellement 1 million d'objets par km². release 16) a été publiée. Le passage d'une génération à la suivante se fait d'une façon progressive, le LTE continuera l'évolution en parallèle avec la NR (New Radio), probablement les deux normes seront très complémentaires. Avec les premiers déploiements 5G, le LTE reste une partie du réseau et du contrôle des antennes 5G NR (Fifth Génération New Radio). D'autre part, les objectifs de la 5G qui pourra être atteints ont été mises en place dans les releases du 3GPP, 13, 14 et 15 qui ne seront pas uniquement pour la 5G, mais aussi qui représenteront des évolutions de la 4G (donc on parle de la 4.9G ou de LTE Advanced Pro) .

1.8 L'évolution de la 4G a la 5G

Le tableau suivant représente l'évolution des différents releases du 4G, 5G et depuis la release 8 jusqu'à release 17, la date de libération et des détails sur chaque release.

Spécifications	4G	5G
Libellé complet	Quatrième Generation	Cinquième Generation
Débit de crête	1 Gbps (pour 4G+)	10 Gbps
Largeur de bande (debit)	2 Mbps à 1 Gbps	1 Gbps et plus selon les besoins
Efficience spectral	30 b/s/Hz	120 b/s/Hz
Intervalle de temps de transmission	1 ms	variable (100 µs (min.) à 4ms (max.))
Latence	10 ms (radio)	<1 ms (radio)
Mobilité – vitesse maximale de déplacement à laquelle l'on peut utiliser la nG	350 km/h	500 km/h
Densité de connexion	1 000/km ²	1 000 000/km ²
Bande de fréquences	2 à 8 GHz	3 à 300 GHz
Services	Accès dynamique à l'information, appareils portables, streaming haute définition, <i>roaming</i> mondial	Accès dynamique à l'information, appareils portables, <i>streaming</i> haute définition, toute demande utilisateur

Tableau 1 2 : l'évolution des différents releases du 4G, 5G [13].

1.8 La différence entre la 5G et la 4G

Cette Figure représente les différences entre la quatrième génération et la cinquième génération :

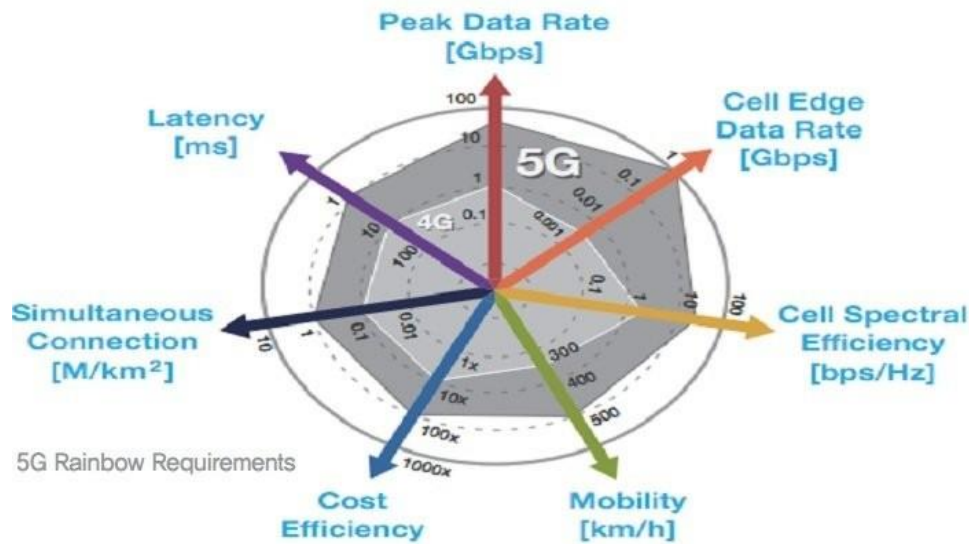


Figure 1. 3 : La différence entre la 5G et la 4G

1.9 Les Bandes de fréquences de fonctionnements

Le tableau 1.4 représente les plages de fréquence de 5G de fonctionnement dans les différents services :

Bande de fréquences	Services
100 kHz – 30 MHz	Services HF (ondes courtes, moyennes et longues)
30 MHz – 87,5 MHz (hors TV)	PMR (Réseaux radio mobile professionnels)
87,5 MHz – 108 MHz, 174 MHz – 223 MHz	Radiodiffusion sonore (FM – RNT)
108 MHz – 880 MHz (hors RNT, TV & TM), GSM R (921 – 925 MHz)	PMR – BALISES – Objets communicants
47 MHz– 68 MHz, 470 MHz – 790 MHz	TV
758 MHz – 788 MHz ^e	TM 700 (Téléphonie Mobile en bande 700 MHz)
791 MHz – 821 MHz	TM 800 (Téléphonie Mobile en bande 800 MHz)
925 MHz – 960 MHz	TM 900
960 MHz – 1710 MHz	RADARS - BALISES – FH
1805 MHz – 1880 MHz	TM 1800
1880 – 1900 MHz	DECT (Téléphones sans fil domestiques numériques)
2100 – 2170 MHz	TM 2100
2620 – 2690 MHz	TM 2600
2200 – 6000 MHz (hors RLAN et TM)	RADARS – BLR – FH
2400 – 2483,5 MHz, 5150 – 5350 MHz, 5470 – 5725 MHz	Réseaux locaux radioélectriques ou RLAN (Wi-Fi)

Figure 1. 4 : Les Bandes de fréquences [14].

1.10 La technologie MIMO

La technologie **MIMO** (Multiple Input Multiple Output) consiste à transmettre simultanément N flux d'informations sur N antennes d'émission (un flux d'information par antenne d'émission) et chaque flux est reçu par M antennes en réception

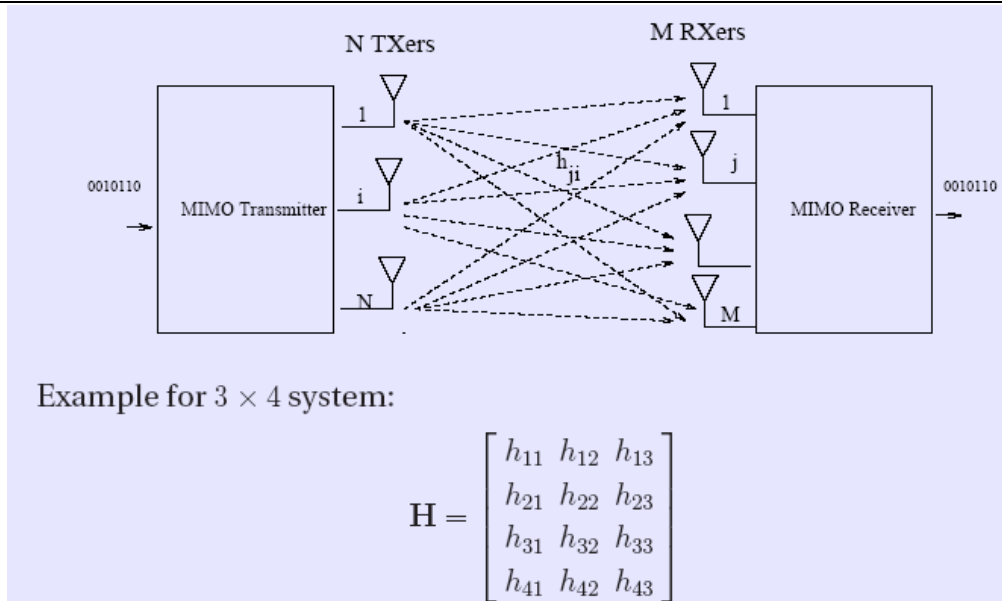


Figure 1. 5 : Exemple MIMO 3×4

1.11 Illustration de la technique « MIMO »

Par ailleurs, les antennes actives permettent de mettre en œuvre des techniques bien connues de « MIMO » (un routeur *wifi* domestique utilise du MIMO 2x2 ou 4x4 et du *beamforming*), mais de façon massive et un contrôle beaucoup plus fin du rayonnement global de l’antenne. L’effet « MIMO » permet de profiter de la diversité spatiale du canal de propagation en envoyant plusieurs flux simultanés vers un terminal, ce qui accroît le débit, comme le montre l’illustration suivante.

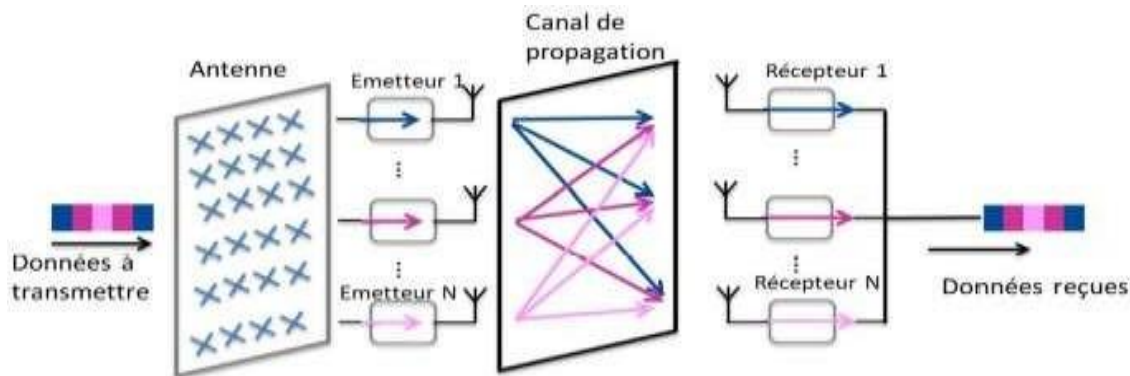


Figure 1. 6 : Illustration de la technique « MIMO »[14].

1.12 Portée d'une antenne 5G

À termes, en effet, la 5G va en effet utiliser les ondes millimétriques. Des ondes avec une portée de seulement quelques centaines de mètres. Dans les villes, cela nécessitera donc l'installation de dizaines de milliers de nouvelles antennes.

1.13 La 5G et l'environnement

Le vrai problème concerne les périphériques : la 5G obligera les utilisateurs à réapprovisionner leurs téléphones portables plus rapidement qu'ils ne le feraient normalement, générant plus de déchets. La 5G risque aussi d'augmenter la consommation, ce qui va augmenter le bilan de son énergie et ainsi se transformer en énergie négative sur l'environnement et l'entourage.

1.14 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons souligné certains des nouveaux services et leurs catalyseurs technologiques qui devraient représenter le cœur des réseaux de prochaine génération 5G aussi nous avons cité quelques techniques et technologies candidates pour la nouvelle génération, et les buts visés par les chercheurs pour améliorer la 5G pour offrir de nouveaux services aux utilisateurs. Nous avons aussi vu l'architecture d'un réseau 5G et ces composants principaux, nous avons parlé de la normalisation de la 5G et les l'évolution des différents 'Releases'. À la fin, nous avons vu les prochains réseaux mobiles (5G), les ambitions que les chercheurs veulent atteindre, les inconvénients majeurs face à eux, ainsi que les exigences fondamentales pour la mise en œuvre.

Chapitre 2

Chapitre 2 : Modélisation et test d'un émetteur RF NR d'un système 5G

2.1 Introduction

L'OFDM (Orthogonal Fréquence Division Multiplex) est utilisé dans les réseaux sans fil et les réseaux cellulaires et pour la télévision numérique. Il consiste à transmettre les données en parallèle sur un très grand nombre de sous-porteuses. Ce traité montre comment une telle transmission se fait simplement à partir de transformées de Fourier et comment est obtenue l'orthogonalité entre sous-porteuses. Il aborde les avantages, mais aussi les problèmes posés par l'OFDM dans les systèmes radio et les techniques permettant de les compenser. Il expose enfin brièvement le paramétrage de l'OFDM pour différents systèmes radios

2.2 La chaîne de transmission OFDM

Le synoptique de la figure (2.1) illustre les différents modules qui composent la chaîne de transmission OFDM. Le modulateur numérique (M -QAM) transforme les données binaires b_i de durée T_b en symboles complexes C_k de durée $T_s = \log_2 M T_b$, le convertisseur série parallèle divise les données à son entrée en des flux de données parallèles à un débit réduit. La transformée de Fourier discrète inverse (IFFT), permet de générer le signal dans le domaine temporel constitué de N_{sc} échantillons. En général, toutes les sous-porteuses sont modulées en utilisant les symboles de données, mais certaines sous-porteuses sont des porteuses pilotes. Les pilotes (Estimation des Pilots (EP)) sont connus au niveau des émetteurs et des récepteurs et utilisés pour l'estimation du canal. Le nombre de pilotes insérés entre les données dépend du canal et de la précision requise pour son estimation. Les symboles pilotes peuvent être répartis sur plusieurs symboles OFDM consécutifs. Le préfixe cyclique (CP) de longueur T_g est ajouté pour éliminer les interférences entre symboles tout en gardant l'orthogonalité entre les sous porteuses. Enfin le symbole OFDM est transmis à l'étage radiofréquence comportant la conversion numérique/analogique et la translation sous la fréquence porteuse [4].

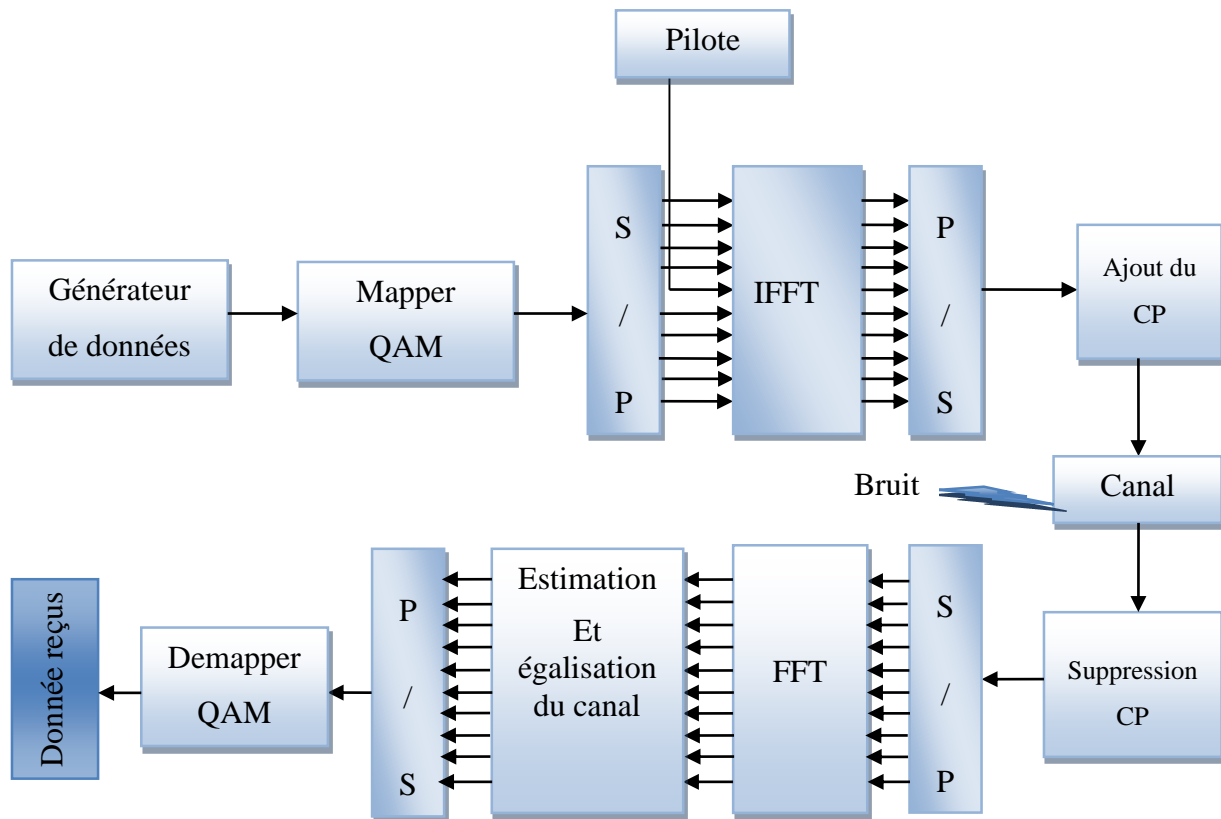


Figure 2 1: Chaîne de transmission OFDM [4].

À la réception, les opérations inverses sont réalisées, en commençant par la suppression du préfixe cyclique la décomposition spectrale des échantillons reçus calculée en utilisant l'algorithme FFT et enfin la démodulation pour retrouver les données binaires transmises.

2.3 Principe et fonctionnement de l'OFDM

Le principe de l'OFDM est de transmettre les informations sur plusieurs porteuses orthogonales entre elles, ainsi le spectre du signal présente une occupation optimale de la bande allouée. Comme le montre la Figure (2.2), l'OFDM découpe le canal en cellule selon les axes du temps et des fréquences. Une sous-porteuse est attribuée à chaque cellule temps/fréquence. L'information à transmettre est répartie sur l'ensemble de ces porteuses, modulée chacune à faible débit par une modulation du type PSK ou QAM. Un symbole OFDM comprend l'ensemble des informations contenues dans l'ensemble des porteuses à un instant [5].

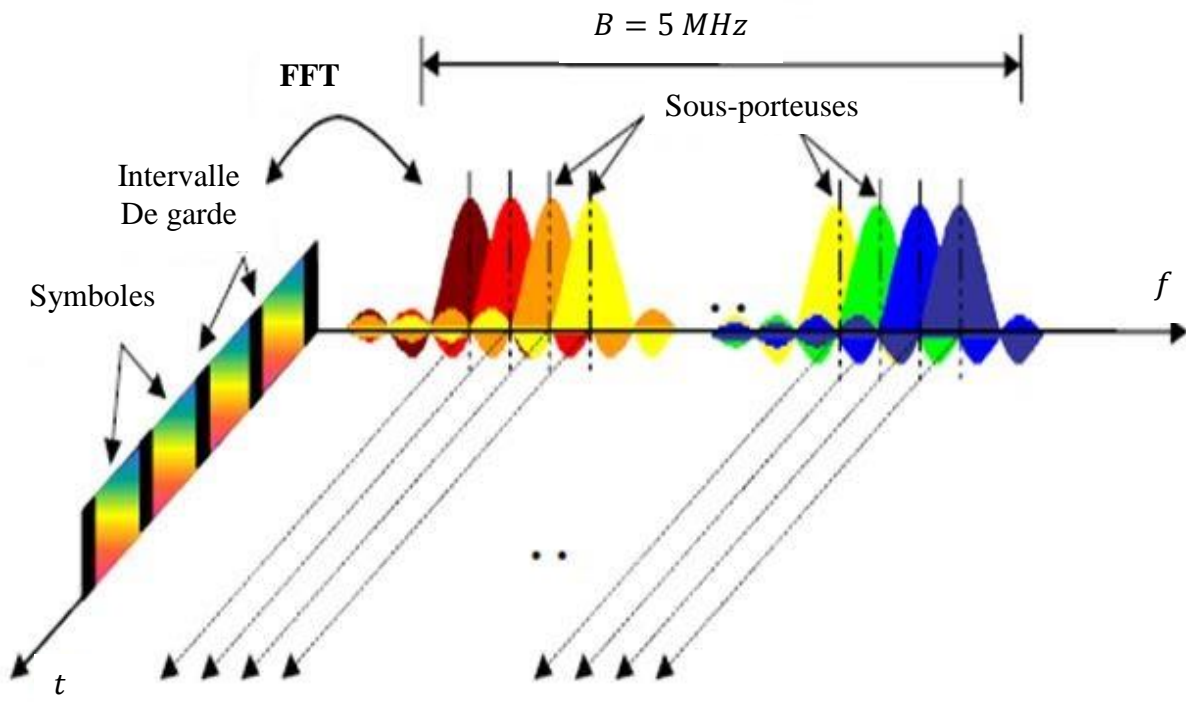


Figure 2 2: Représentation fréquentielle et temporelle d'un signal OFDM [5].

2.4 Modulation OFDM

Pour répartir les données à transmettre sur les N porteuses, on groupe les symboles par paquets de N . Les symboles c_k sont des nombres complexes définis à partir des éléments binaires par une constellation souvent de modulation PSK et QAM [6].

Considérons une séquence de N symboles c_0, c_1, \dots, c_{N-1} .

Appelons T_s la durée du symbole OFDM, c'est-à-dire le temps qui sépare deux séquences de N données. Chaque donnée c_k module un signal à la fréquence f_k tel que :

$$f_k = f_0 + \frac{k}{T_s}, \quad k = 0, 1, \dots, N - 1 \tag{2.1}$$

Le signal individuel s'écrit sous forme complexe :

$$c_k e^{2j\pi f_k t} \tag{2.2}$$

Le signal $m(t)$ total correspondant à toutes les données d'un symbole OFDM est la somme des signaux individuels :

$$m(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi f_k t} \tag{2.3}$$

Le multiplexage est orthogonal et si l'espace entre les fréquences est $1/T_s$ l'équation (2.3) devient :

$$m(t) = e^{2j\pi f_0 t} \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi \frac{kt}{T_s}} \quad (2.4)$$

Le schéma de principe de la modulation OFDM est illustré par la figure (2.3) :

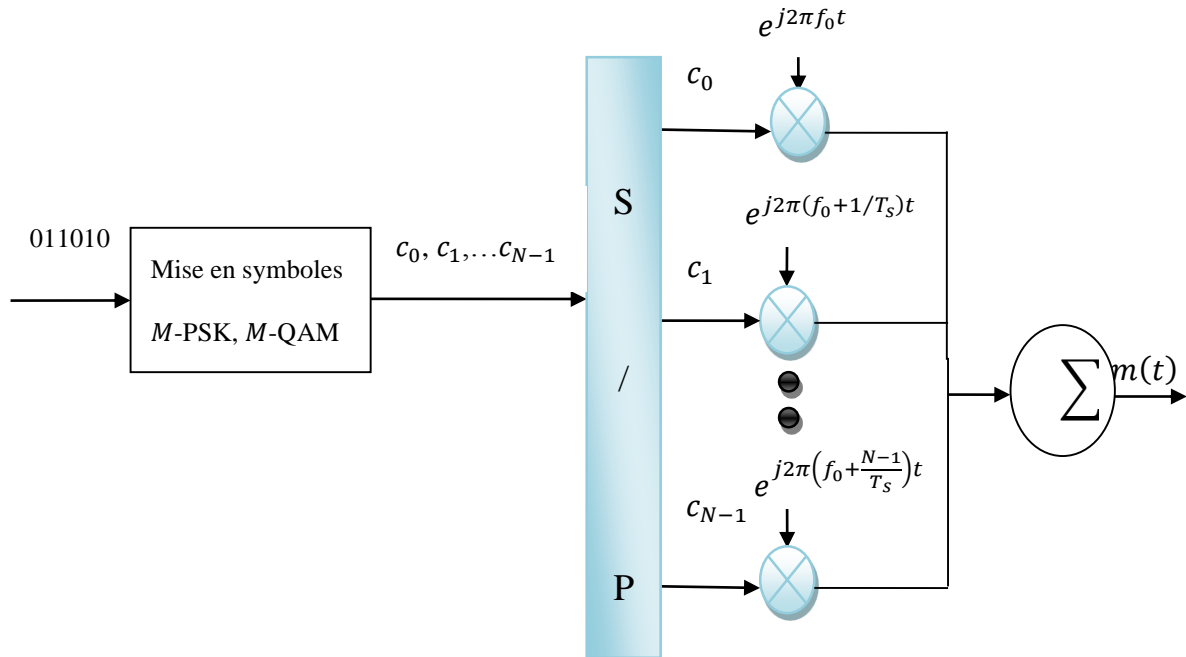


Figure 2.3: Schéma de modulation OFDM [7].

Plus précisément les données numériques c_k sont des nombres complexes définis à partir d'éléments binaires par une constellation de modulation d'amplitude en quadrature QAM à plusieurs états (4, 16, 64, de façon générale à $M = 2^n$ symboles M -aires). Ainsi un symbole M -aire véhicule l'équivalent de :

$$n = \log_2 M \text{Bits.}$$

2.5 Démodulation OFDM

Le signal parvenu au récepteur s'écrit sur une durée de symbole T_s :

$$y(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k(t) e^{2j\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t} \quad (2.5)$$

$H_k(t)$: est la fonction de transfert du canal autour de la fréquence f_k à l'instant t . Cette fonction varie lentement, on peut la supposer constante sur la période T_s ($T_s \ll 1/B_d$).

La démodulation consisterait à démoduler le signal suivant les N sous porteuses, la figure (2.4) présente le principe de la démodulation OFDM [6].

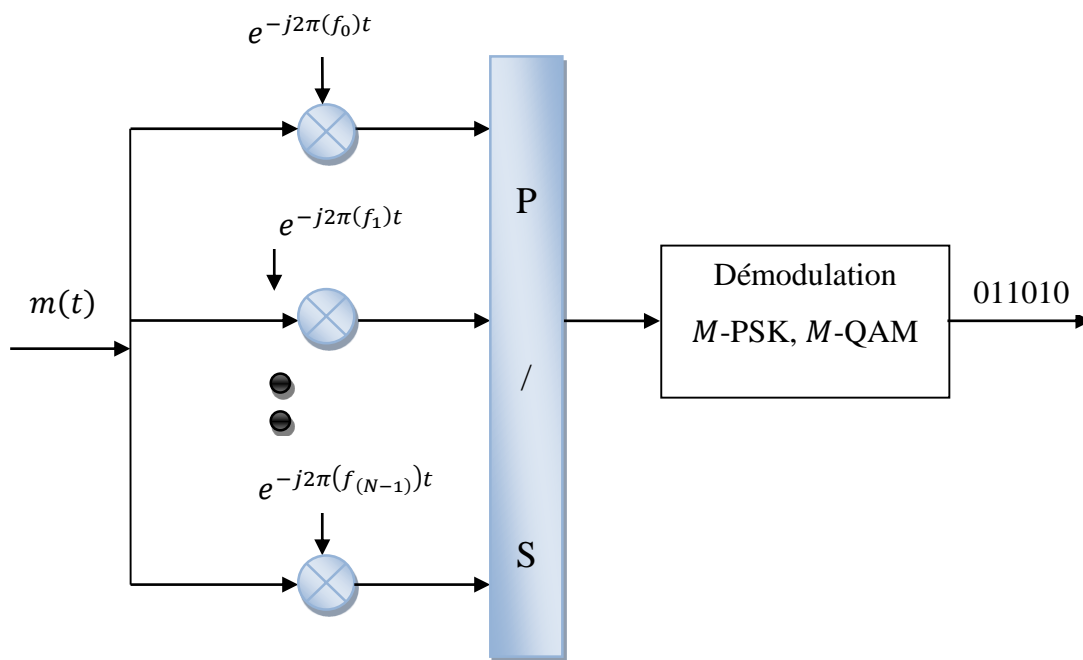


Figure 2 4: Schéma de la démodulation OFDM [7].

2.6 Implémentation numérique

Dans les communications à haut débit, les débits sont limités par des contraintes physiques, le bruit dû aux imperfections des systèmes et la nature physique des composants affectent la transmission du signal émis. On réduit dans ce cas les erreurs de transmission en numérisant les informations. De plus l'implémentation numérique offre aussi l'opportunité d'ajouter des codes correcteurs d'erreurs afin de protéger le signal des perturbations engendrées par le canal de transmission.

2.7 Implémentation numérique du modulateur

Si on pose que le signal modulé en bande de base $m(t)$ échantillonné par une période T_s/N . Appelons T_s la durée symbole OFDM, c'est-à-dire le temps qui sépare 2 séquences de N données. Les échantillons S_n s'écrivent sous la forme :

$$S_n = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{2j\pi \frac{k_n}{N}} \quad (2.6)$$

L'équation représente la Transformé de Fourier Inverse des symboles c_k déduis de la constellation de la modulation PSK ou QAM. Pour réaliser la modulation OFDM il suffit d'appliquer l'algorithme de la FFT (Fast Fourier Transform) sur ces symboles c_k . Le schéma

de principe du modulateur OFDM en utilisant l'algorithme de la transformée de Fourier rapide inverse (IFFT) est présenté dans la figure (2.5).

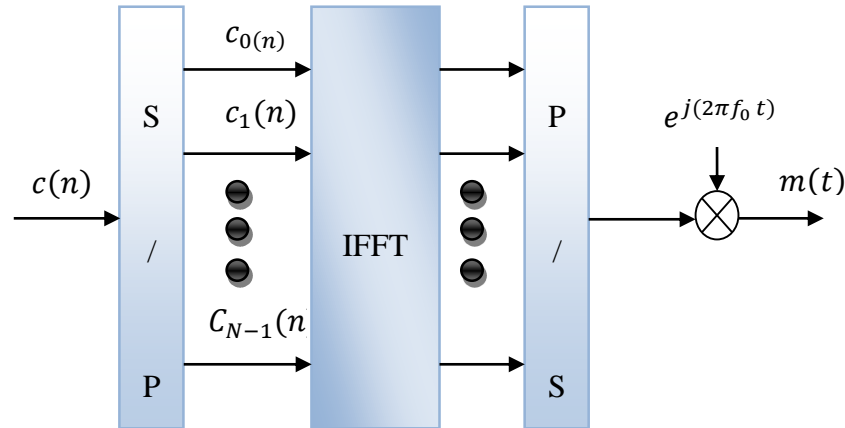


Figure 2 5: Modulateurs OFDM numérique.

2.8 Implémentation numérique du démodulateur

L'analyse théorique définit le signal discret reçu au niveau du démodulateur sous la forme :

$$z(t_n) = z(nT_s/N) = z_n = (-1)^n \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k e^{2j\pi \frac{k n}{N}} \quad (2.7)$$

Où $z(t_n)$ est la Transformée de Fourier discrète inverse de $c_k H_k$. La démodulation consiste à effectuer une Transformée de Fourier rapide de $z = [z_0, \dots, z_{N-1}]$. Le nombre de porteuses est choisi tel que $N = 2^n$, on peut réaliser ce calcul à l'aide d'une FFT. La Figure (2.5) présente le schéma de principe du démodulateur OFDM [8].

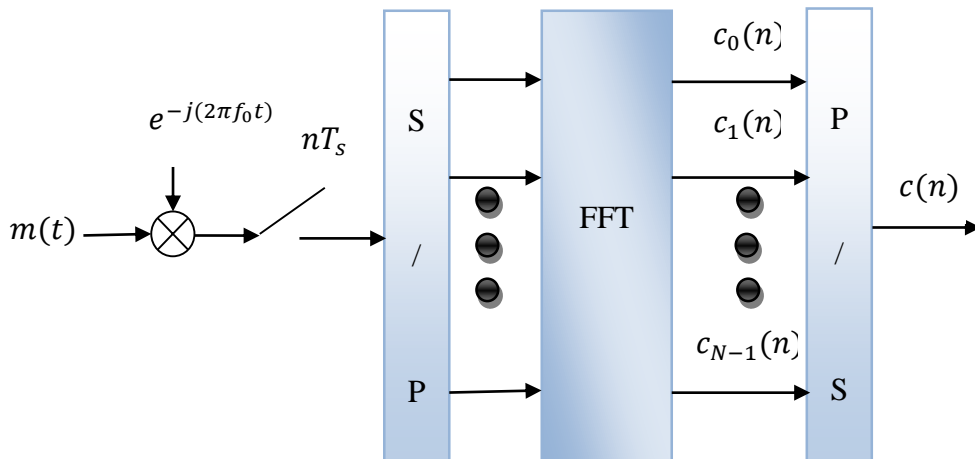


Figure 2 6: Démodulateurs OFDM numérique [9].

2.9 Avantages et inconvénients de l'OFDM

Le tableau suivant regroupe les principaux avantages et inconvénients de la technique OFDM.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Robuste au bruit impulsif • Remédier aux interférences entre symboles (IES) et entre porteuses (IEP). • Suppression des influences des multi-trajets • La simplicité de mise en œuvre par les algorithmes IFFT/FFT • évités les chevauche entre canaux. • Garder une orthogonalité parfaite des sous-porteuses. 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilité • Évolutive • Robuste et fiable • Fluctuation d'enveloppe • Rapide

Tableau 2. 1 Avantages et inconvénients de l'OFDM

2.10 Conclusion

Au cours de ce chapitre a présenté quelques généralités sur les techniques de modulation nommées OFDM respectivement :

- En raison du préfixe cyclique, l'OFDM est plutôt inefficace
- Le traitement du similaire à celui de l'OFDM y compris l'évaluation et la compensation de la distorsion du canal, de la démodulation, du décodage de l'OFDM.

Chapitre 3

Chapitre 3 : Simulation et résultats

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, on décrit les différents organigrammes ainsi que leurs explications utilisées par notre simulation.

Le premier organigramme décrit le développement modélisation et test d'un metteur RF NR, Le deuxième concerne la simulation des étapes mesuré la quantité de fuites de puissance dans les canaux adjacents ACLR, le troisième est dédié à l'intégration de puissance de signal. Le quatrième concerne les Traitements du signal, finalement le cinquième organigramme est consacré à la densité spectrale de puissance et sa constellation.

3.2 Structure du modèle Simulink

Cet Simulink montre comment caractériser l'impact des dégradations RF telles que le déséquilibre IQ, le bruit de phase et les non-linéarités PA sur les performances d'un émetteur RF NR. Pour évaluer les performances, considère les mesures suivantes :

- Magnitude vectorielle d'erreur (EVM) : différence vectorielle à un instant donné entre le signal idéal (émis) et le signal mesuré (reçu).
- Rapport de fuite dans les canaux adjacents (ACLR) : mesure de la quantité de puissance fuyant dans les canaux adjacents et est défini comme le rapport de la puissance moyenne filtrée centrée sur la fréquence de canal attribuée à la puissance moyenne filtrée centrée sur une fréquence de canal adjacente.
- Bande passante occupée : bande passante qui contient 99 % de la puissance totale intégrée du signal, centrée sur la fréquence de canal attribuée.
- Puissance du canal : puissance moyenne filtrée centrée sur la fréquence du canal attribuée.
- Fonction de distribution cumulative complémentaire (CCDF) : probabilité que la puissance instantanée d'un signal est d'un niveau spécifié supérieur à sa puissance moyenne.

Le modèle fonctionne sous-trame par sous-trame. Pour chaque sous-trame, le workflow-(c'est un flux de travail ou encore flux opérationnel est la représentation d'une suite de tâches ou d'opération effectuées par une personne) se compose de ces étapes :

1. Générez la forme d'onde de la bande de base à l'aide des fonctions de la boîte à outils 5G.

2. Convertissez la forme d'onde générée en fréquence passe-bande et appliquez un filtrage et une amplification RF à l'aide de RF « Blockset ».
3. convertissez la forme d'onde transmise en fréquence de bande de base.
4. Calculez l'ACLR/ACPR, la bande passante occupée, la puissance du canal et le CCDF à l'aide du bloc Analyseur de spectre.
5. Démodulez la forme d'onde au niveau du récepteur pour mesurer l'EVM.

Notre simulation utilise un modèle de Simulink pour effectuer ces opérations. Le traitement du signal en bande de base (étapes 1 et 5) utilise des blocs fonctionnels MATLAB®, tandis que la modélisation de l'émetteur RF (étapes 2 à 4) utilise RF « Blockset ».

3.3 L'organigramme général

Pour évaluer les performances le principe de notre simulation suit l'organigramme suivant :

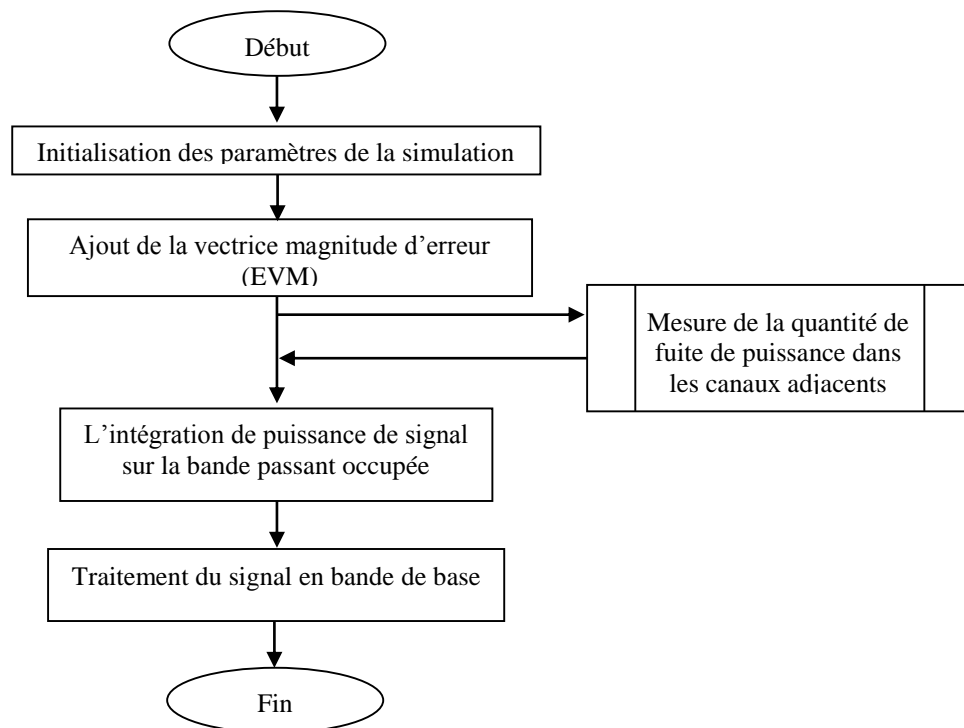


Figure 3. 1 : L'organigramme de Simulation général

3.3.1 Les paramètres de la simulation

Les paramètres de la simulation sont donnés dans le tableau suivant :

Paramètre	Spécification
Nombre de sous porteuse	1024 1024
Nombre échantillonnage	32-QAM
Modulation numérique	2140 MHz
Porteuse centrale	

Tableau 3. 1 : paramètres de la simulation.

3.3.2 Mesuré de la Quantité de fuite de puissance dans les canaux adjacents

Cet organigramme permet de mesurer la quantité de fuites de puissance dans les canaux adjacents ACLR :

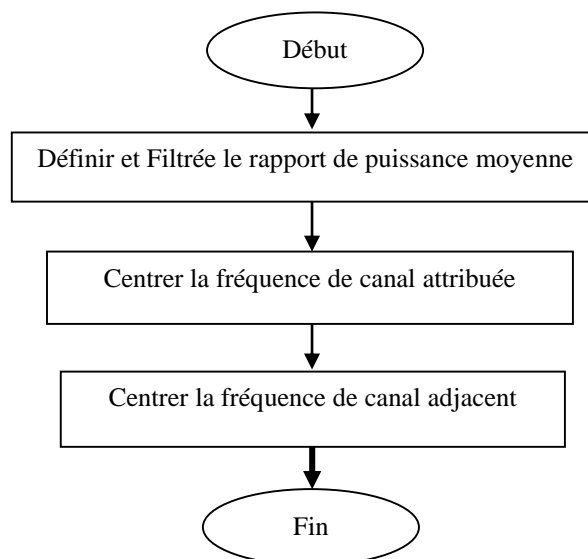


Figure 3. 2 : Les étapes de mesure de la quantité de fuites de puissance dans les canaux adjacents ACLR.

3.3.3 L'intégration de puissance de signal

Cet organigramme pressant l'étape pour l'intégration de la puissance du signal sur la bande occupée :

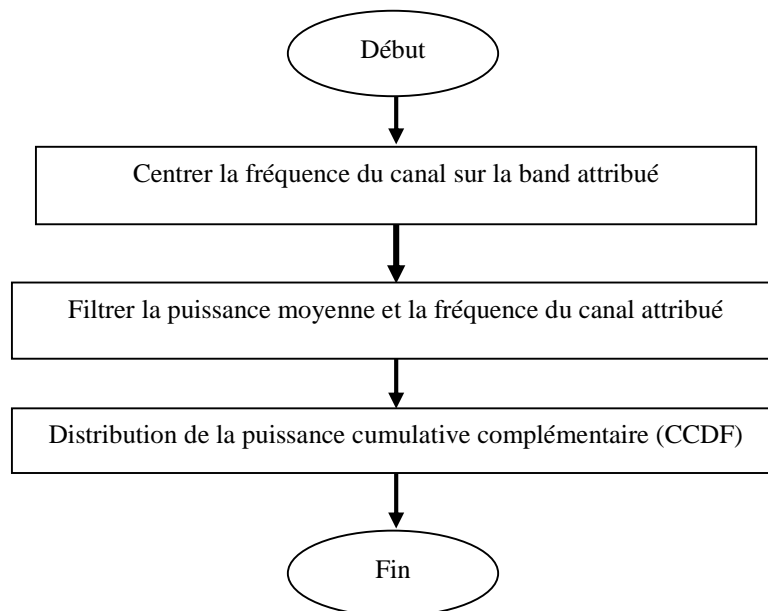


Figure 3. 3 : L'organigramme de l'intégration de puissance de signal.

3.3.4 Traitement du signal en bande de base

Notre simulation utilise un modèle de Simulink pour effectuer ces opérations. Le traitement du signal en bande de base (Figure 3.4) utilise des blocs fonctionnels MATLAB, et

Cet organigramme présente tous les traitements du signal :

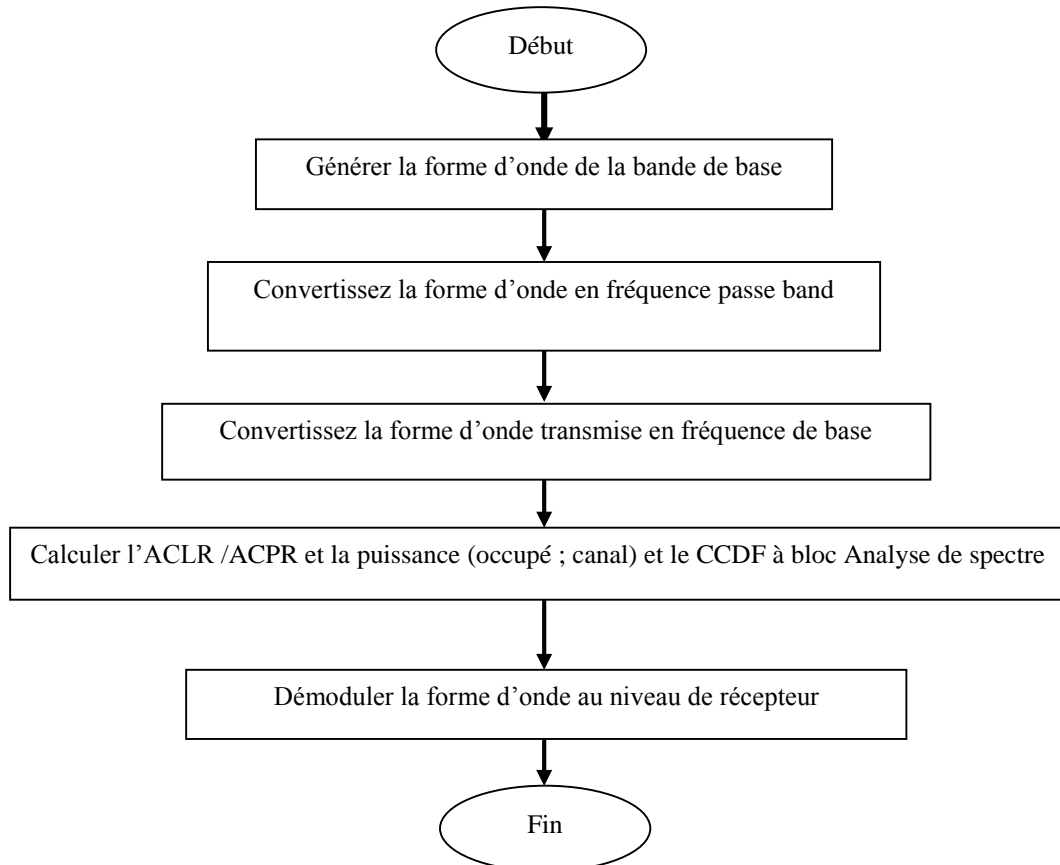


Figure 3. 4 : L'organigramme de traitement du signal.

3.4 Les composantes principales du calcul de l'EVM

Le modèle contient trois composantes principales (permettant de calculer l'EVM) :

- NR Base band Génération : génère la forme d'onde de la bande de base.
- Transmission RF : convertis la forme d'onde de la bande de base à la bande passante, applique un filtrage RF et une amplification et effectue une conversion descendante.
- Réception et mesures en bande de base NR : effectue les mesures RF et démodule la forme d'onde en bande de base pour calculer l'EVM

Le modèle simulink correspondant est représenté sur la figure 3.5.

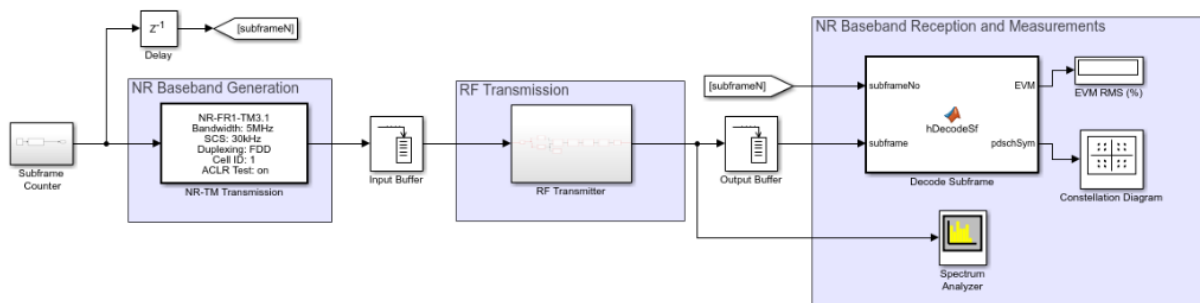


Figure 3. 5 : Modélisation et test d'un émetteur RF NR.

3.4.1 Génération de la bande de base NR

Dans ce sous-paragraphe, on explique les configurations des différents blocs du modèle simulink de notre projet (figure 3.6) :

Le bloc de transmission NR-TM transmet des formes d'onde de modèle de test 5G NR (NR-TM) conformes à la norme pour la plage de fréquences 1 (FR1) et la plage de fréquences 2 (FR2) . Pour la génération de forme d'onde NR-TM, on spécifier le nom NR-TM, la bande passante du canal, l'espacement des sous-porteuses (SCS), le mode de duplexage, l'identité de la cellule et la version TS 38.141[10] à l'aide du masque de bloc de transmission NR-TM. De plus, ce bloc offre la possibilité d'activer ou de désactiver le test ACLR. Lorsque la mesure ACLR est activée, la forme d'onde est sur échantillonnée pour visualiser la réponse spectrale.

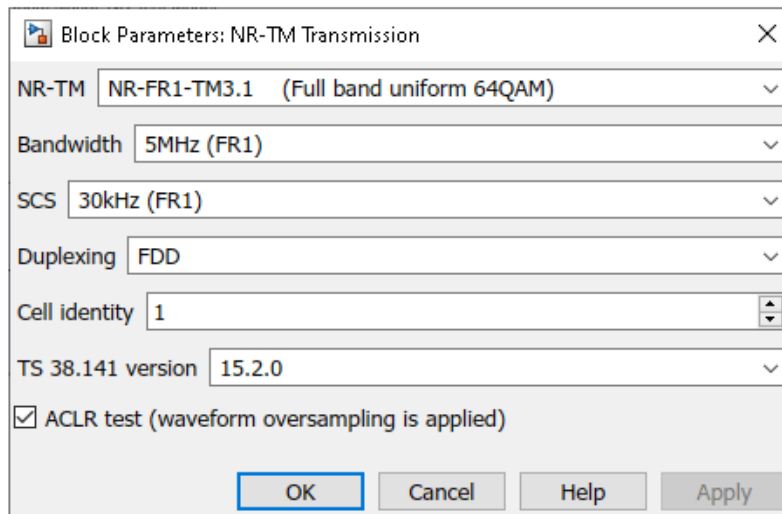


Figure 3. 6 : les paramètres NR-TM Transmission

Le bloc de transmission NR-TM envoie une sous-trame à la fois. L'émission de dix sous-frames, correspondant à une trame dans le cas du mode duplexage FDD, dure 10 ms. Si le temps de simulation est supérieur à 10 ms, le bloc de transmission NR-TM transmet cycliquement la même trame. Le bloc compteur de sous-trame stocke le numéro de la sous-trame actuellement transmise. Si le temps de simulation est plus long qu'une période de trame, le bloc compteur de sous-frames est remis à 0.

3.4.2 Transmission RF

Le bloc émetteur RF est basé sur une architecture d'émetteur superhétérodyne (figure 3.7). Cette architecture convertit la forme d'onde en fréquence de bande passante et applique un filtrage et une amplification RF avant de transmettre le signal. Les composants typiques de l'émetteur superhétérodyne sont :

- Un modulateur IQ composé de mélangeurs, d'un déphaseur et d'un oscillateur local
- Un filtre passe-bande
- Un amplificateur

En plus de ces composants, ce bloc émetteur RF comprend également un amplificateur à gain variable (VGA) pour contrôler le niveau de recul d'entrée (IBO) de l'amplificateur haute puissance (HPA).

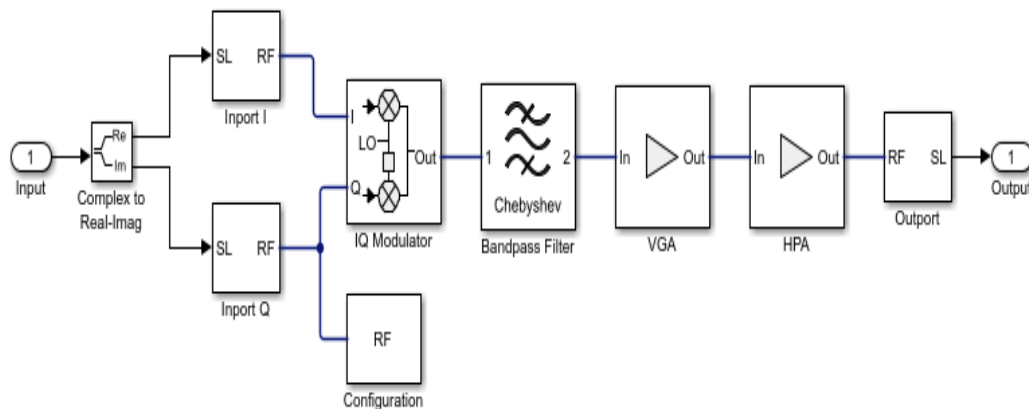


Figure 3. 7 : Émetteur RF superhétérodyne.

Le bloc In port convertit la forme d'onde de bande de base en un signal RF et le bloc Out port reconvertit le signal RF en bande de base. Étant donné que l'émetteur RF accepte un maximum de 1024 échantillons par sous-trame, le buffer d'entrée, situé avant le bloc de l'émetteur RF, réduit le nombre d'échantillons envoyés à l'émetteur RF. Avant d'envoyer les échantillons sur le bloc de sous-trame de décodage, le buffer de sortie (après l'émetteur RF) met en mémoire tampon tous les échantillons dans une sous-trame. Le bloc Delay prend en compte les retards induits par le tampon. La durée du retard étant équivalente à la transmission d'une sous-trame, le bloc décode la sous-trame ne démodule pas les premières informations reçues pendant une période de sous-trame. On configure les composants de l'émetteur RF à l'aide du masque de bloc de l'émetteur RF.

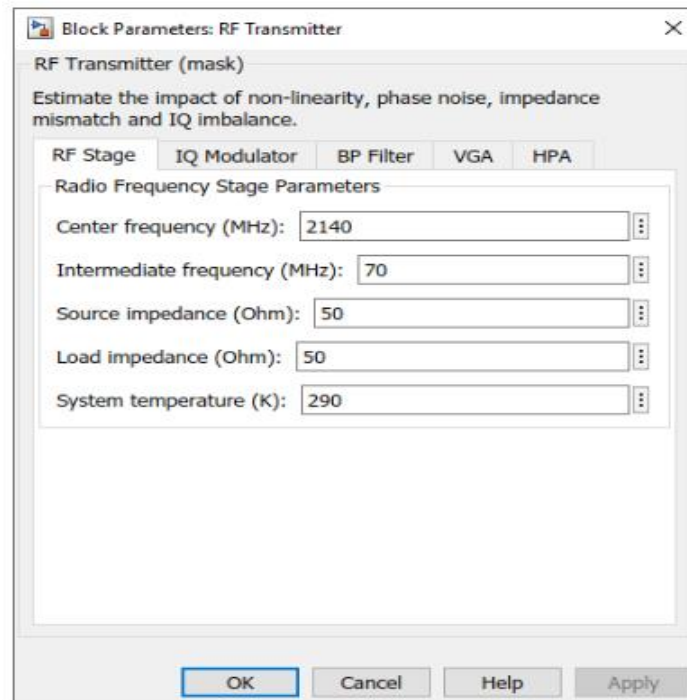


Figure 3. 8 : les paramètres RF Transmission

Le bloc de l'émetteur RF, met en évidence l'effet du comportement non linéaire du HPA. Les dégradations typiques sont :

- Déséquilibre I/Q en raison de décalages de gain ou de phase entre les sections parallèles de la chaîne d'émetteur traitant les chemins de signal IQ.
- Le bruit de phase comme effet secondaire directement lié au bruit thermique au sein des dispositifs actifs de l'oscillateur.
- Non-linéarités HPA dues à la limitation de la puissance CC lorsque l'amplificateur fonctionne dans la région de saturation.

3.5 Performances du modèle

La simulation nous a permis de visualiser sur la figure 3.9 l'impact des non-linéarités HPA, par l'exécution de la fonction «hPlot HPA Curve ». Cette visualisation nous a permis d'évaluer EVM et ACLR, pour cela on mesure la modulation amplitude-amplitude (AM/AM) du HPA. L'AM/AM fait référence au niveau de puissance de sortie en termes de niveaux de puissance d'entrée.

Ce graphique présente la modulation amplitude-amplitude (AM/AM) du HPA. L'AM/AM fait référence au niveau de puissance de sortie en termes de niveaux de puissance d'entrée :

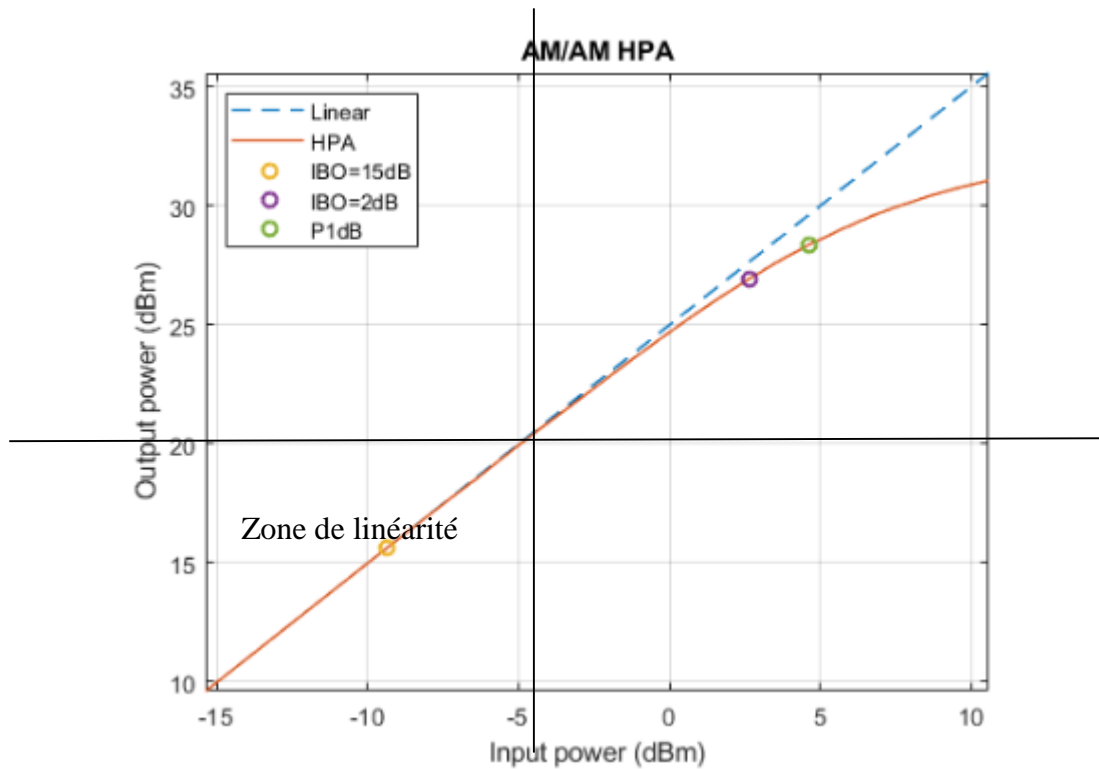


Figure 3. 9 : Graphe des puissances sorties en fonctions des puissances d’entrées.

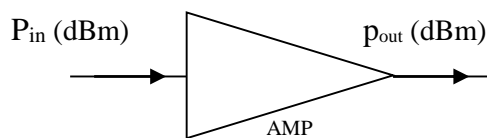


Figure 3. 10 : schéma d’amplificateur AM du HPA.

$P1$ en dB est la puissance au point de compression de 1 dB et est utilisé comme référence lors de la sélection du niveau IBO du HPA. On peut estimer l’impact du HPA sur l’émetteur RF en analysant les résultats EVM et ACLR pour différents points de fonctionnement du HPA. Par exemple pour :

- IBO = 15 dB, correspondant à HPA fonctionnant dans la zone linéaire
- IBO = 2 dB, correspondant à HPA fonctionnant en pleine saturation.

Le gain du VGA contrôle le niveau IBO. Pour conserver un comportement VGA linéaire, on choisit des valeurs de gain inférieures à 20 dB.

3.5.1 Résultats de simulation de l'émetteur RF NR

Cette simulation nous a permis de tester l'émetteur RF NR. L'émetteur RF se compose d'un modulateur IQ, d'un filtre passe-bande et d'amplificateurs. Pour évaluer les performances, le modèle Simulink prend en compte les mesures ACLR et EVM.

La simulation a mis en évidence l'effet des non-linéarités HPA sur les performances de l'émetteur RF. Si on augmente le déséquilibre I/Q en utilisant les paramètres I/Q gain « mismatch (dB) » et I/Q phase « mismatch (Deg) » sur l'onglet IQ « Modulator » du bloc RF « Transmitter », et le bruit de phase en utilisant les paramètres Phase noise offset (Hz) et Phase noise level (dBc/Hz) dans l'onglet IQ Modulator du bloc RF « Transmitter ». On a apprécié l'impact sur la constellation (figure 3.11) :

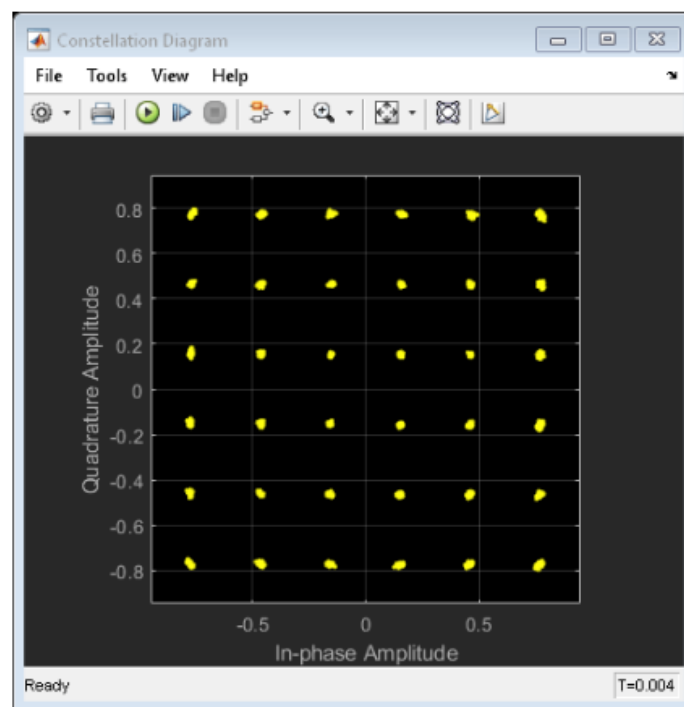


Figure 3. 11: Diagramme de la constellation (36-QAM) après les itérations.

Si on augmente le bruit de phase en utilisant les paramètres Phase noise offset (Hz) et Phase noise level (dBc/Hz) dans l'onglet IQ Modulator du bloc « RF Transmitter ». La bande passante occupée ainsi que la puissance est représentée par la figure (3.12).

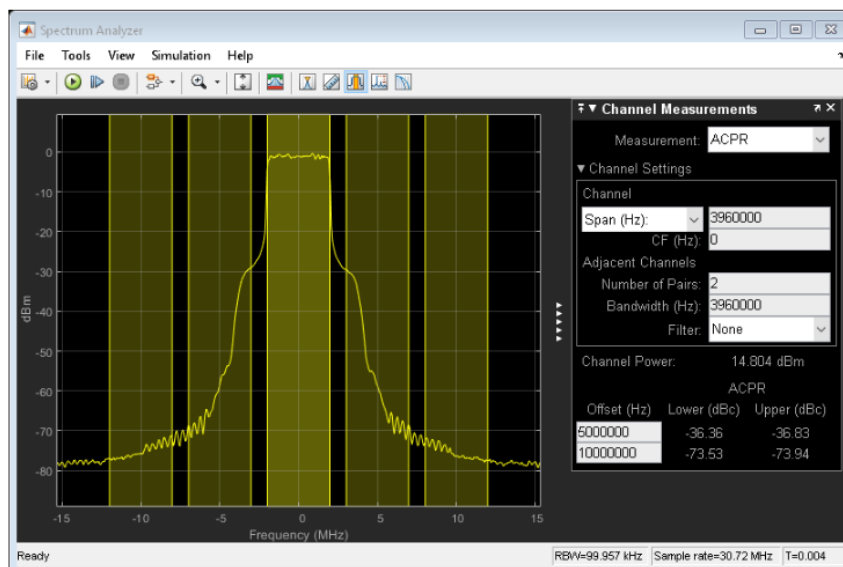


Figure 3. 12 : Densité spectrale de puissances à l'émission.

3.6 Réception et mesures en bande de base NR

Le bloc de sous-trame de décodage effectue une démodulation OFDM de la sous-trame reçue, une estimation du canal et éventuellement une égalisation pour récupérer et tracer les symboles PDSCH dans le diagramme de constellation. Ce bloc fait également la moyenne de l'EVM au fil du temps et de la fréquence et trace ces valeurs :

- EVM par symbole OFDM : EVM moyenné sur chaque symbole OFDM.
- EVM par slot : EVM moyenne sur les symboles PDSCH alloués dans un slot.
- EVM par sous-porteuse : EVM moyenné sur les symboles PDSCH alloués au sein d'une sous-porteuse.
- EVM global : EVM moyenné sur les symboles PDSCH alloués transmis.

En utilisant le RNTI, la fonction d'assistance « hListTarg et PDSCHs » sélectionne les symboles PDSCH cibles à analyser. Le bloc Analyseur de spectre fournit des mesures dans le domaine fréquentiel telles que l'ACLR (appelé ACPR), la bande passante occupée, la puissance du canal et le CCDF pour visualiser la réponse spectrale, le test ACLR sur l'échantillon la forme d'onde figure (3.12). Sachant que le facteur de sur-échantillonnage dépend de la configuration de la forme d'onde et doit être fixé de telle sorte que le signal généré doit être capable de représenter le premier et le deuxième canal adjacent. Sachant que l'évaluation de l'ACLR suit les spécifications de la norme TS 38.141-1 [10].

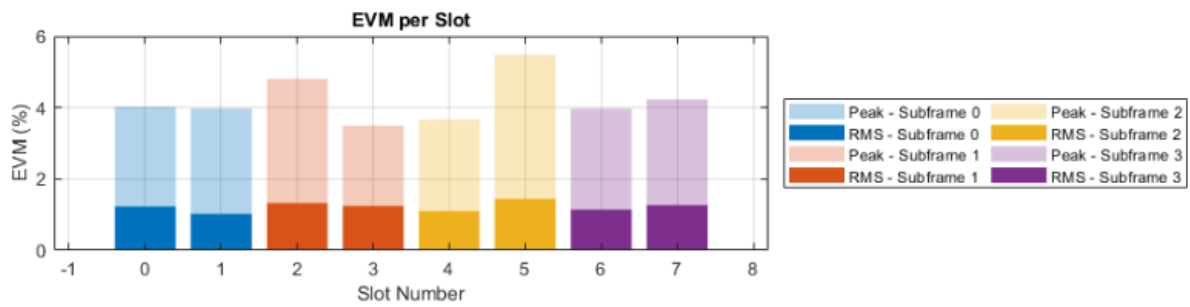


Figure 3. 13 : Réponse spectrale d'EVM en fonction slot nombre.

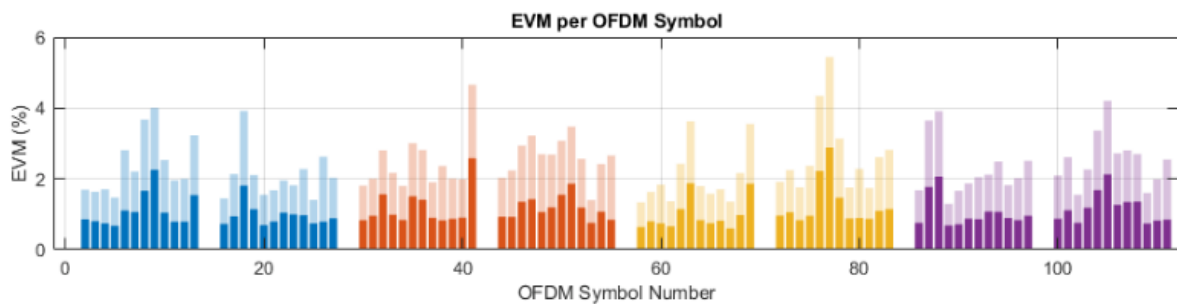


Figure 3. 14 : Réponse spectrale d'EVM en fonction d'OFDM.

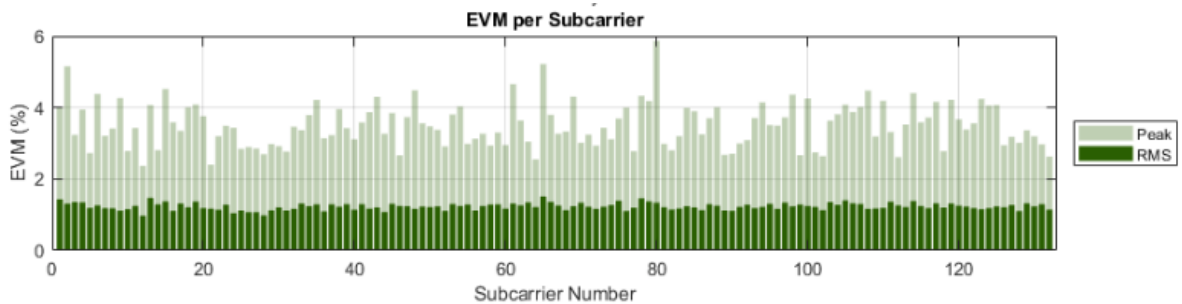


Figure 3. 15: Réponse spectrale d'EVM en fonction du nombre des sous-porteuses.

Selon la norme TS 38.104 pour la constellation est 64-QAM, l'ACLR minimum requis est de 45dB et l'EVM maximum requis est de 8 %.

Comme les valeurs ACLR sont supérieures à 45 dB et que l'EVM global, d'environ 1,3 %, est inférieur à 8 %, les deux mesures sont conformes aux exigences figure3.16. HPA non linéaire (IBO = 2 dB). Pour fonctionner à un niveau IBO de 2 dB, on fixe le paramètre « Available power gain » du bloc VGA sur 12 dB figure 3.15.

```
set_param([modelName '/RF Transmitter'],'vgaGain','12');  
sim(modelName);  
slmsgviewer.DeleteInstance();% Restore to default parameters  
set_param([modelName '/RF Transmitter'],'vgaGain','0');  
  
--- Starting simulation ---  
Transmitting subframe 0 ...  
Transmitting subframe 1 ...  
Transmitting subframe 2 ...  
Transmitting subframe 3 ...  
--- End of simulation ---
```

On apprécie l'impact sur la constellation à la réception sur la figure (3.16) et le spectre de puissance sur la figure (3.17) :

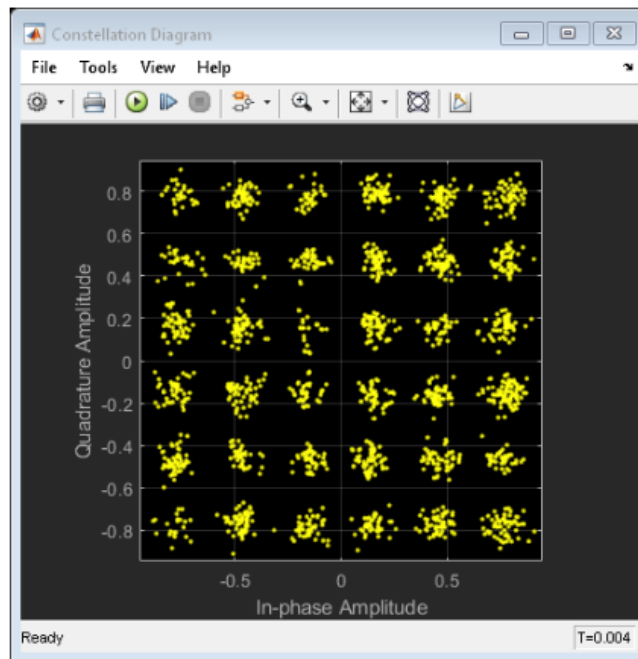


Figure 3. 16 : Diagramme de constellation des symboles reçus (36-QAM).

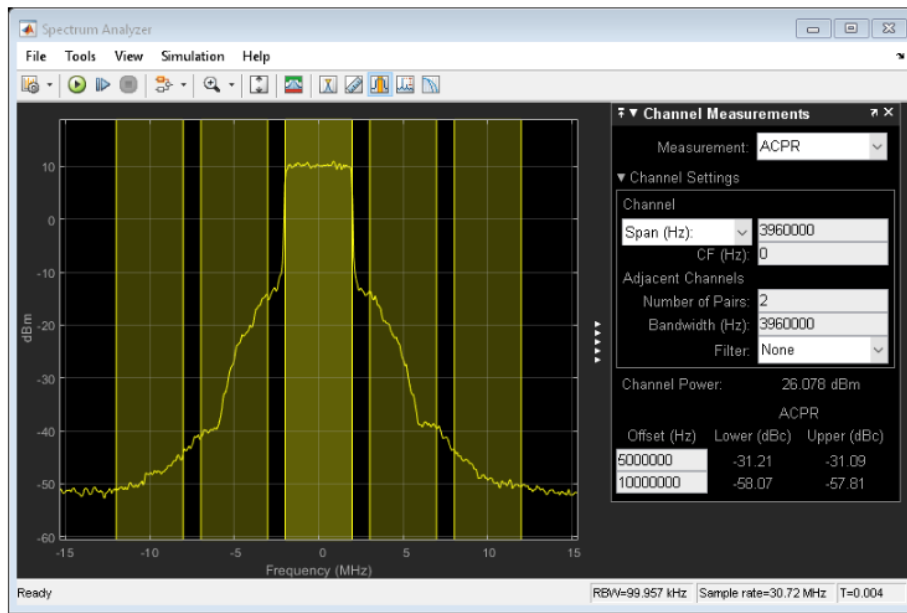


Figure 3. 17 : Densité spectrale de puissance à la réception.

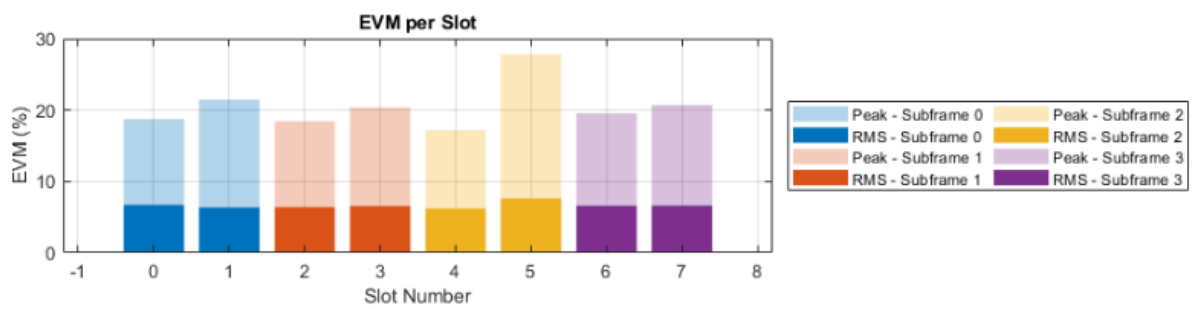


Figure 3. 18 : Réponse spectrale d'EVM en fonction slot nombre.

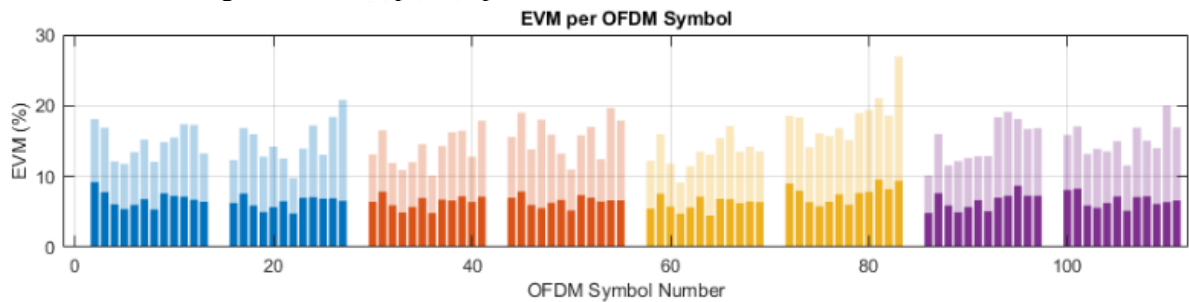


Figure 3. 19: Réponse spectrale d'EVM en fonction d'OFDM.

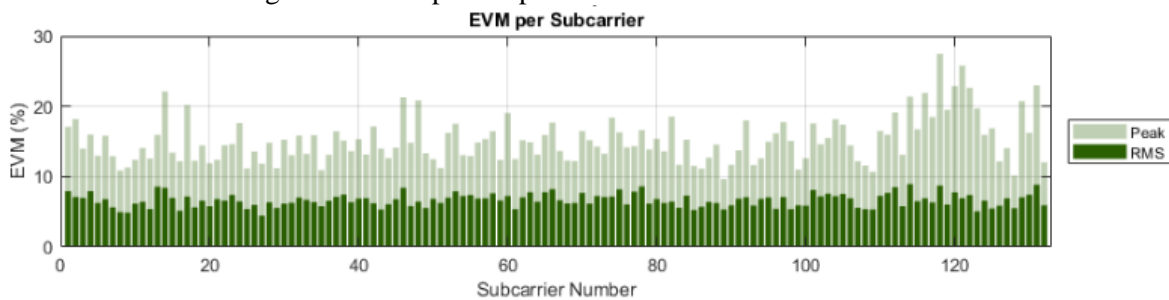


Figure 3. 20: Réponse spectrale d'EVM en fonction du nombre des sous-porteuses.

Par rapport au cas précédent, le diagramme de constellation est déformé et la réponse spectrale est plus élevée. En termes de mesures, le premier canal adjacent ACLR ne répond pas aux exigences de la norme TS 38.104 et l'EVM global, d'environ 7 %, est plus élevé figures (3.19-3.20). L'émetteur RF est configuré pour fonctionner avec les valeurs par défaut du bloc de transmission NR-TM et avec une porteuse centrée autour de 2140 MHz (première fréquence). Si on modifie la fréquence porteuse ou les valeurs dans le bloc « Paramètres de forme d'onde », une mise à jour est requise.

3.7 Conclusion

Cette simulation montre comment modéliser et tester un émetteur RF NR dans Simulink. L'émetteur RF se compose d'un modulateur IQ, d'un filtre passe-bande et d'amplificateurs. Pour évaluer les performances, le modèle Simulink prend en compte les mesures ACLR et EVM. La simulation met en évidence l'effet des non-linéarités HPA sur les performances de l'émetteur RF ; pourrait servir de base pour tester les formes d'onde NR-TM pour différentes configurations RF. Vous pouvez essayer de remplacer le bloc émetteur RF par un autre sous-système RF de votre choix et configurer le modèle en conséquence.

Conclusion Générale

Conclusion général

L'objectif de ce projet de fin d'étude est d'expliquer comment l'effet des nouvelles radiofréquences (RF) telles que le déséquilibre de phase quadripolaire (IQ), la distorsion de phase et la non-répétition des augmentations de puissance (PA) peut être caractérisé dans la performance du nouvel émetteur RF.

Nous avons expliqué quelques informations de base sur les techniques de modulation définies par l'OFDM sous la forme de préfixe cyclique. Un traitement similaire du traitement de l'OFDM comprenant l'évaluation et la compensation de la distorsion du canal UPDF, la modulation et le décodage. Notre simulation a montrée comment modéliser et tester un émetteur RF NR dans Simulink. L'émetteur RF se compose d'un modulateur IQ, d'un filtre passe-bande et d'amplificateurs. Pour évaluer les performances, le modèle Simulink prend en compte les mesures ACLR et EVM. La simulation met en évidence l'effet des non-linéarités HPA sur les performances de l'émetteur RF pour servir de base afin de tester les formes d'onde NR-TM pour différentes configurations RF. Comme perspective, on peut envisager de remplacer le bloc émetteur RF par un autre sous-système RF d'un autre choix et configurer le modèle en conséquence.

,

Bibliographie

- [1] Dr Slimani, " Cours de réseau de la 5^{ème} génération, les cinq objectifs de la 5G", département d'Electronique, Université d'Alger, Algérie, Mars 2020.
- [2] S.Sébastien, "Les Enjeux De La 5G, " ARCEP, 2017.
- [3] Sassan Ahmadi, "5G NR_ Architecture, Technology, Implémentation, and Operation of 3gpp New Radio Standards," Academic Press, Elsevier, Paris, France, no. 50-1/2, pp. 86, 2019.
- [4] Ali RACHINI, « Etude de la synchronisation temporelle dans les systèmes MIMO –OFDM appliqués aux réseaux mobiles », thèse de doctorat de L'INSA DE RENNES, Page 2-12-13, 2014.
- [5] Helmi BEN HNIA et all, « Etude des performances de la modulation OFDM pour l'utilisation dans les systèmes de communication sans fils de la 4G »,SETIT 2004 Conférence Internationale : Sciences Electronique, Technologies de l'Information et des Télécommunications 15-20 Mars 2004, Sousse – TUNISIE
- [6] <https://www.coursehero.com/file/25294606/ofdmpdf/>
- [7] Hasnaoui Saida & Nouas Wissam, « Allocation efficace des bits pour un système multi-porteuses OFDM », mémoire de master en réseaux & télécommunications, département d'électronique, université de blida1, 2013.
- [9] BEKKAI Ryma& BENSALAH Amel ; « Analyse du PAPR dans les systèmes SISO/MIMO OFDM », mémoire de Master en Électronique option théorie de l'information et système électronique, université de Blida 1, Page 24-25, 2013.
- [10] EWODO ONOMO HERVE ROMUALD, « Simulation d'un système de communication MISO avec le codage OFDM-CDMA », mémoire de Master Traitement de l'information et Systèmes électroniques, Page 10-30, 2015.
- [11] 3GPP TS 38.141-1. « NR ; Tests de conformité de la station de base (BS) Partie 1 : tests de conformité effectués." Projet de partenariat de 3^e génération ; Groupe de spécifications techniques Réseau d'accès radio.
- [12] 3GPP TS 38.104. « NR ; transmission et réception radio de la station de base (BS)." Projet de partenariat de 3^e génération ; Groupe de spécifications techniques Réseau d'accès radio.
- [12] Évaluation de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques 5G – Volet 1 : présentation générale de la 5G, ANFR, juillet 2019, <https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/expace/CND/Rapport-ANFR- presentation-generale-5G.pdf>
- [13] <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/4G-vs-5G-difference-between-4G-and-5G.html>.
- [14] <https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/expace/CND/Rapport-ANFR- presentation-generale-5G.pdf>.