

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par :

Otmane Yassine BENIKHLEF et Radjaa MIDOUN

Sujet

Amélioration de la détection d'un signal d'ondes millimétriques dans les réseaux 5G

Soutenu publiquement, le **06 / 07 / 2021**, devant le jury composé de :

M. BORSALI A.R	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
M. KAMECHE S	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
M. ADARDOUR H.E	MCB	Univ. Chlef	Co- Directeur de mémoire
M. HADJILA M	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par :

Otmane Yassine BENIKHLEF et Radjaa MIDOUN

Sujet

Amélioration de la détection d'un signal d'ondes millimétriques dans les réseaux 5G

Soutenu publiquement, le **06 / 07 / 2021**, devant le jury composé de :

M. BORSALI A.R	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
M. KAMECHE S	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
M. ADARDOUR H.E	MCB	Univ. Chlef	Co- Directeur de mémoire
M. HADJILA M	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur

Je dédie ce modeste travail à :

À mon père (MIDOUN AZZEDDINE)

Merci pour ta présence et ton soutien, et que dieu te garde.

À la meilleure des mères (GUITOUNI NAIMA)

Quoi que je fasse ou quoi je dise, je ne saurai point de remercier comme il le doit, ta présence à mes coté, ton effort, ton affection, ta bienveillance me guide tu as été toujours ma source de force. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant mon parcours d'études, en ce jour merveilleux et mémorable je te dédie ce travail en signe de reconnaissance et de remerciement. Je prier Dieu Tout Puissant de te donner la santé, et te garder une place en paradis et de te protège de tout mal.

À ma sœur IMANE, son mari HAMZA et ma petite princesse SOUJOURD.

À ma sœur NEDJOUA, et à mon seul frère, ABDELMOUJIB, qui n'ont jamais cessé de m'apporter leur contribution morale.

À mes chers proches HANANE et SOUMIA.

À ma cousine FARAH que je considère comme une troisième sœur.

À toute ma famille.

À mon binôme OUTMANE par sa présence et son soutien durant ce long travail.

À tous mes amis.

Et enfin à tous ceux que j'aime et dont j'ai manqué de mentionner leurs noms à ce travail qui vous est dédié.

RADJAA

Je dédie ce modeste travail à :

*À mes chers parents **TAYEB ET KARIMA**, pour tous sacrifices, leur amour, leur tendresse,
leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*À ma chère sœurs **ASMAA** et sa petite famille **IBRAHIM, INES, YASMINE***

*À ma jumelle **MERIEM** et son mari **HAROUN EL RACHID** pour leurs encouragements
permanents et leur soutien moral,*

*À mon grand frère **ABDELHAK** et sa petite famille **ASMAA, ADEM, RANIA**
qui était toujours là pour moi et qui ma beaucoup aider par ses conseils et son
encouragement*

*À mon petit frère **mohamed boumedi** le fruit de la famille je te souhaite la réussite et le
bonheur dans ta vie*

*À ma source de joie ma grande mère **HALIMA** et deuxième mère **AMRA**
qui m'ont toujours encouragé et soutenue*

*Aux âmes de mes grands-parents **BOUMEDIEN ET MOBARKA**, et à mes grands-parents
MOHAMED ET HALIMA*

A mes tante et oncle

A mes cousin et cousine

*À tous mes amis... À vous **ALAE, ZOHIR, MOHMED, OTHMAN, ADEL, SIDI**
MOHAMED*

A toute autre personne que je n'ai pas citée et dont l'aide m'a été précieuse.

Otmane Yassine

Remerciements

« Louange à Allah qui nous a guidés à ceci. Nous n'aurions pas été guidés, si Allah ne nous avait pas guidés »

Notre reconnaissance, et mes sincères remerciements vont à notre directeur de mémoire, le Professeur KAMECHE Samir, pour nous avoir guidés tout au long de la réalisation de ce travail. Ses directives, ses encouragements, sa compréhension, sa disponibilité constante nous ont apporté une aide précieuse.

Nous tenons également à remercier Monsieur ADARDOUR Haroun Errachid, co-directeur de notre mémoire, qui nous a permis d'approfondir nos recherches et qui a été très généreux en informations et conseils, dont le mérite lui revient.

Nous tenons à remercier chaleureusement M. BORSALI Ahmed Riad d'avoir accepté de présider le jury.

Nous tenons également à remercier également Monsieur HADJILA Mourad pour avoir accepté d'examiner et de porter un jugement sur les travaux de ce Mémoire.

Nous tenons également à remercier tous mes professeurs pour leurs bonnes orientations et pour leur aide précieuse.

Nous souhaitons remercier tous les étudiants du MASTER du Département des Télécommunications de l'Université Abou Bakr Belkaïd - Tlemcen - Faculté de Technologie.

Résumé

La bande d'ondes millimétriques (ou mmWave) de 60 GHz est une bande de spectre sans licence qui peut être utilisée pour la communication par réseau local sans fil (WLAN) à courte portée. Elle offre de nombreux avantages. Cependant, la principale différence dans le comportement de propagation du signal à la fréquence de 60 GHz réside dans l'augmentation de l'atténuation.

En conséquence, dans ce projet, on propose un algorithme sert à améliorer la détection du signal primaire transmis par une station de base 5G (ou UP-5G) autour de la fréquence de 60 GHz dans un environnement fermé où il y a des obstacles fixes. En outre, l'algorithme proposé dans ce travail se base sur la performance de la détection en fonction de l'énergie (on installe un détecteur d'énergie sur un utilisateur secondaire 5G (ou US-5G)) et l'estimation du signal primaire 5G est effectuée par un simple estimateur récursif (ou SER). Enfin, les performances de cet algorithme proposé dans ce projet sont évaluées à l'aide de simulations et de résultats utilisant le logiciel MATLAB 2017a.

Mots clés : mmWave, 5G, UP-5G, US-5G, Détecteur d'énergie, SER.

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Table des matières	iii
Sigles et abréviations.....	v
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	xi
Introduction générale	2

Chapitre 1 : Technologies 60 GHz dans les réseaux sans fil

1.1. Introduction	5
1.2. C'est quoi 60 GHz ?.....	5
1.3. Analyse comparative avec d'autres systèmes sans licence.....	7
1.4. Applications éventuelles pour la technologie 60 GHz	11
1.5. Régulation et attribution des fréquences au niveau mondial.....	11
1.5.1. Amérique du Nord	12
1.5.2. Japon.....	13
1.5.3. Australie.....	13
1.5.4. Corée.....	13
1.5.5. Europe.....	14
1.6. Conclusion.....	15

Chapitre 2 : Propagation d'un signal électromagnétique dans un environnement RF

2.1. Introduction	17
2.2. Modèle de propagation	17
2.2.1. Propagation en espace libre	17
2.2.2. Trajets multiples	19
2.3. Évanouissements	24
2.3.1. Évanouissement à grande échelle	25
2.3.2. Évanouissement à petite échelle	25
2.4. Conclusion.....	26

Chapitre 3 : Résultats et interprétations

3.1. Introduction	28
3.2. Algorithme proposé.....	29
3.2.1. Processus du modèle de mobilité de Gauss-Markov	29
3.2.2. Estimateur récursif et sensibilisation au SNR	31
3.2.3. Modèle de détection locale d'un signal primaire 5G par énergie	34
3.3. Résultats des simulations et interprétations	36
3.3.1. Configuration de la simulation	36
3.3.2. Résultats et interprétations.....	36
3.4. Conclusion.....	43
Conclusion générale	45
Références bibliographiques	47

#

5G Cinquième Génération

A

ACMA Australian Communications and Media Authority

AM Amplitude Modulation

AWGN Additive White Gaussian Noise

C

CEPT Conference of Postal and Telecommunications Administrations

D

dBm Décibel Milliwatt

dB Décibel Isotope

E

EC Estimation Cycle

ECC Electronic Communications Committee

ERC European Radiocommunication Committee

ETSI European Telecommunications Standards Institute

F

FC **Fusion Center**
FCC **Federal Communications Commission**
FM **Frequency Modulation**

G

Gbps **GigaByte Per Second**
GHz **GigaHertz**
GMMM **Gauss Markov Mobility Model**

H

HD **Haut Définition**
Hz **Hertz**

I

IC-SMT **Industry Canada Spectrum Management and Telecommunications**
IEEE **Institute of Electrical and Electronics Engineers**
ISM **Industrial Scientific Medical**

L

LNS **Log-Normal Shadowing**
LOS **Line Of Sight**

M

MFSG	Millimeter wave Frequency Study Group
MPHPT	Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications
mW	milliWatt

N

NLOS	Non Line Of Sight
-------------	--------------------------

P

PA	Power Amplifiers
PIRE	Power Isotropic Radiated Equivalent
PCSN	Personal Communications Service Networks
PD	Probabilité de Détection
PFA	Probabilité de Fausse Alarme
PTED	Probabilité Totale d'Erreur de Détection

R

R-5G	Réseau Cinquième Génération
RF	Radio Frequency
RWMM	Random Walk Mobility Model
RWPMM	Random Waypoint Mobility Model
RPGMM	Reference Point Group Mobility Model

S

SB-5G Station de **B**ase **C**inquième **G**énération
SER Simple **E**stimateur **R**écurrent
RSB Rapport **S**ignal/**B**ruit

U

ULB Ultra **L**arge **B**ande
UWB Ultra-**W**ide **B**and
US-5G Utilisateur **S**econdaire **C**inquième **G**énération
UP-5G Utilisateur **P**rimaire **C**inquième **G**énération

W

WLAN Wireless **L**ocal **A**rea **N**etwork
WPAN Wireless **P**ersonal **A**rea **N**etwork

Chapitre 1

Figure 1.1. Distribution du spectre électromagnétique [2].....	6
Figure 1.2. Attribution et exploitation des fréquences mondiales de la bande passante de 60 GHz [2].....	7
Figure 1.3. Débit en fonction de la portée pour des normes WLAN et WPAN [2].	10

Chapitre 2

Figure 2.1. Visualisation d'un canal de propagation.	17
Figure 2.2. Ellipsoïde de Fresnel.....	18
Figure 2.3. Propagation par trajets multiples dans un environnement "extérieur".....	20
Figure 2.4. Propagation multi-trajets LOS [33].	20
Figure 2.5. Propagation multi-trajets NLOS [33].....	21
Figure 2.6. Fonctionnement des réflexions spéculaires et diffuses [36].	21
Figure 2.7. Mécanisme de réflexions ou de transmission [36].....	22
Figure 2.8. Mécanisme de diffraction [36].....	23
Figure 2.9. Mécanisme de diffusion [36].	23
Figure 2.10. Puissance reçue [dB] vs. Distance [m] [36].....	24
Figure 2.11. Classification des canaux à évanouissement [36].	25

Chapitre 3

Figure 3.1. Algorithme proposé.	29
Figure 3.2. Méthode d'estimation.	31
Figure 3.3. Modèle de détection locale du signal 60 GHz dans un R-5G.	34
Figure 3.4. Trajectoire estimée de l'US-5G en utilisant l'algorithme GMMM.	37
Figure 3.5. Vitesse estimée de déplacement de l'US-5G [m/s] en utilisant l'algorithme GMMM vs. Temps [s].	38
Figure 3.6. Puissance du signal reçu à l'US-5G [dBm] vs. Temps [s].	39
Figure 3.7. Rapport signal sur bruit entre l'US-5G et l'UP-5G [dB] vs. Temps [s].	40
Figure 3.8. Probabilité totale d'erreur de détection (ou PTED) vs. Temps [s].	41

Chapitre 1

Tableau 1.1. Comparaison de la réalisation typique des systèmes 60 GHz, ULB et IEEE802.11n [2].....	9
Tableau 1.2. Analyse comparative de l'efficacité spectrale des technologies 60 GHz, ULB et IEEE 802.11n [2].....	9
Tableau 1.3. Plan des bandes de fréquences et les limites sur la puissance d'émission, la PIRE et le gain d'antenne pour différents pays [2].	12

Chapitre 3

Tableau 3.1. Points essentiels de la méthode d'estimation.....	32
Tableau 3.2. Scénarios de détection locale du signal UP-5G (ou 60 GHz).	36
Tableau 3.3. Paramètres de simulation considérés [46-48].....	37
Tableau 3.4. Amélioration de la probabilité totale d'erreur de détection à $t = 139$ s, dans le troisième scénario.....	42
Tableau 3.5. Comparaison des performances de détection d'un signal primaire de 60 GHz dans différents scénarios.	42

Introduction générale

De nos jours, avec le progrès de l'ère de la technologie, la croissance se fait de plus en plus forte. La technologie des réseaux locaux sans fil (ou WLANs) a été retenue en raison de sa flexibilité, son faible coût et d'autres avantages par rapport au réseau câblé rendent le réseau sans fil populaire. En conséquence, la demande de communications sans fil à haut débit est considérable. En raison de la demande très élevée de bande passante et de débit de données plus élevés, de nombreuses bandes de fréquences sont de plus en plus encombrées et il est nécessaire de disposer d'un réseau plus performant. Parallèlement, il existe une grande quantité de spectre sans licence dans les 60 GHz qui n'est pas exploitée. Actuellement, les systèmes de communication sans fil sont devenus une partie essentielle de notre vie quotidienne et ne cessent d'évoluer afin de fournir une meilleure qualité et une meilleure expérience aux utilisateurs [1-3].

Cependant, La technologie des ondes millimétriques est l'une des technologies sans fil les plus importantes qui ont émergé ces dernières années. Bien que cette technologie soit connue depuis des décennies, les progrès effectués dans la technologie des processus de silicium et les solutions d'intégration à faible coût n'ont rendu la technologie des ondes millimétriques pertinente d'un point de vue commercial qu'au cours des cinq ou six dernières années [1-3].

Aussi cette technologie a-t-elle suscité un intérêt considérable de la part du monde universitaire, de l'industrie et des organismes de normalisation. La technologie 60 GHz offre divers avantages par rapport aux systèmes de communication actuels ou existants. La disponibilité à l'échelle mondiale d'une large bande de spectre dans la bande des 60 GHz pour un usage sans licence, entraîne l'émergence de nouvelles technologies autorisant la communication Wi-Fi dans cette bande de fréquences. Toutefois, la propagation des signaux dans la bande des 60 GHz diffère considérablement de celle des bandes des 2.4 et 5 GHz [1-3]. De ce fait, l'objectif de ce projet est l'étude et l'évaluation des performances de détection d'un signal primaire 5G autour de la fréquence 60 GHz.

En vue d'atteindre l'objectif fixé, ce travail de projet de fin d'études comprend trois chapitres, outre une introduction générale, une conclusion et une perspective générales, ainsi qu'une bibliographie.

Au premier chapitre, on donnera l'exemple d'une grande partie de la technologie 60 GHz en la présentant de manière ponctuelle et en la comparant à plusieurs systèmes.

Au deuxième chapitre, on va introduire les phénomènes de propagation d'un signal RF en mettant l'accent sur les problèmes qu'un signal peut rencontrer lors de sa propagation tels que

la réflexion, la diffusion, etc. Ensuite, on expliquera l'existence des évanouissements à petite et grande échelle dans un environnement RF.

Dans le troisième chapitre, on présentera l'algorithme proposé dans le but de pouvoir améliorer la détection d'un signal primaire 5G provenant d'une station de base 5G (ou UP-5G) autour de la fréquence de 60 GHz dans un réseau 5G (ou R-5G) plus encombré. En particulier, on interprétera les résultats de simulation obtenus.

Enfin, on résumera le travail réalisé par une conclusion générale, puis on suggérera quelques perspectives à étudier dans le futur.

CHAPITRE 1

Technologies 60 GHz dans les réseaux sans fil

1.1. Introduction

Depuis une dizaine d'années, la fréquence de 60 GHz suscite énormément d'intérêt pour la prise en charge des transmissions à très haut débit, essentiellement en raison de la largeur de bande incomparable de la bande ISM, de la très faible puissance de rayonnement permettant l'utilisation de la fréquence pour la propagation à courte ou très courte distance, ce qui rend le système de communication plus fiable. Effectivement, la bande de fréquence de 60 GHz offre une atténuation sur le trajet de distance entre l'émetteur et le récepteur mille fois (30 [dB]) plus importante que la même atténuation subie au niveau d'un signal de 2 GHz en espace libre. Elle est conçue pour les applications de réseaux sans fil nécessitant des taux de transfert de données très élevés. À titre d'exemple, cette bande permet de supporter les échanges de fichiers volumineux, le streaming de vidéo haute définition, etc., dans les réseaux locaux sans fil (WLAN), les réseaux personnels sans fil (WPAN) et également pour les liaisons point à point.

Les premières réglementations concernant la bande 60 GHz prévoyaient une largeur de bande minimale de 7 GHz dans la bande sans licence [59 à 66] GHz destinée aux applications à courte portée. La disponibilité dans le monde entier de la largeur de bande de 7 GHz sans licence (ISM) a provoqué de nouvelles activités de recherche internationales. En effet, deux groupes de travail sur les normes internationales liées aux réseaux personnels sans fil (WPAN) à 6 GHz ont été créés. En juillet 2003, l'IEEE a créé le groupe de travail 802.15.3 afin de traiter des radiocommunications à 60 GHz et, durant la même année, le groupe IEEE 802.15.3c a été créé dans le but de définir les exigences techniques initiales pour les systèmes sans fil multi-Gigabit.

Après cette introduction, on présentera brièvement la technologie sans fil autour de la fréquence de 60 GHz et leur contribution en comparant les autres technologies existantes.

1.2. C'est quoi 60GHz ?

La communication sans fil a connu un développement considérable depuis la première démonstration transatlantique de transmission d'ondes radio réalisée par Marconi entre l'Angleterre et le Canada en 1901.

Au départ, ils étaient surtout employés par l'armée et les sociétés de transport maritime. Par la suite, ils ont rapidement été adaptés à un usage commercial, comme les services de

radiodiffusion (AM, FM et télévision terrestre), les services téléphoniques cellulaires, le suivi par la technologie GPS et les réseaux sans fil locaux et personnels (WLAN et WPAN).

Ces systèmes de communication sans fil constituent aujourd'hui des éléments essentiels de notre vie quotidienne, et évoluent continuellement afin d'offrir une meilleure qualité d'expérience aux utilisateurs. Parmi les dernières technologies sans fil, on trouve les "ondes millimétriques". Il est important de faire attention à la technique des ondes. Les ondes millimétriques sont connues depuis plusieurs décennies, mais elles ont été exploitées dans le cadre d'applications militaires.

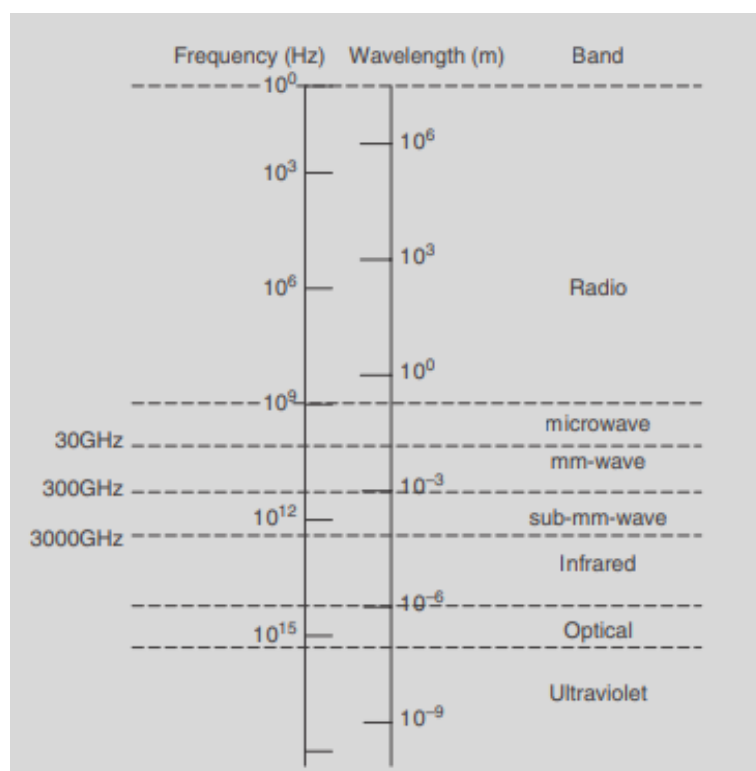


Figure 1.1. Distribution du spectre électromagnétique [2].

Durant la dernière décennie, les progrès réalisés dans le développement d'une technologie de communication très intégrée et à très faible coût ont rendu la technologie des ondes millimétriques particulièrement attrayante pour de nombreux utilisateurs. Diverses applications dans les universités et l'industrie. De manière plus générale, cette technologie est associée à la recherche et au développement du spectre. Les ondes électromagnétiques entre 30 et 300 GHz correspondent à une longueur d'onde de 10 mm à 1 mm, comme illustré dans la figure 1.1. Dans le cadre de ce projet, on s'intéressera plus particulièrement à la bande de fréquences radio de 60 GHz [2,5].

1.3. Analyse comparative avec d'autres systèmes sans licence

La technologie 60 GHz apporte de multiples avantages par rapport aux systèmes de communication existants ou en cours. Une raison majeure de l'intérêt récent pour la technologie 60 GHz est son énorme bande passante sans licence. La figure 1.2 montre qu'une bande passante régulière d'au moins 5 GHz est accessible dans de nombreux pays du monde. Alors que cette bande passante est similaire à la bande passante sans licence attribuée à des utilisations à Ultra Large Bande (ou ULB), la bande passante de 60 GHz est constante et moins limitée en termes de puissance. Le système ULB est en effet un système superposé et est donc confronté à des réglementations très sévères et différentes. La bande passante étendue de 60 GHz constitue l'une des plus grandes bandes passantes sans licence qui n'ait jamais été attribuée. Cette largeur de bande énorme offre un grand potentiel en termes de capacité et de flexibilité, faisant de la technologie 60 GHz, une technologie extrêmement attrayante pour les applications sans fil Gigabit [2,6-8].

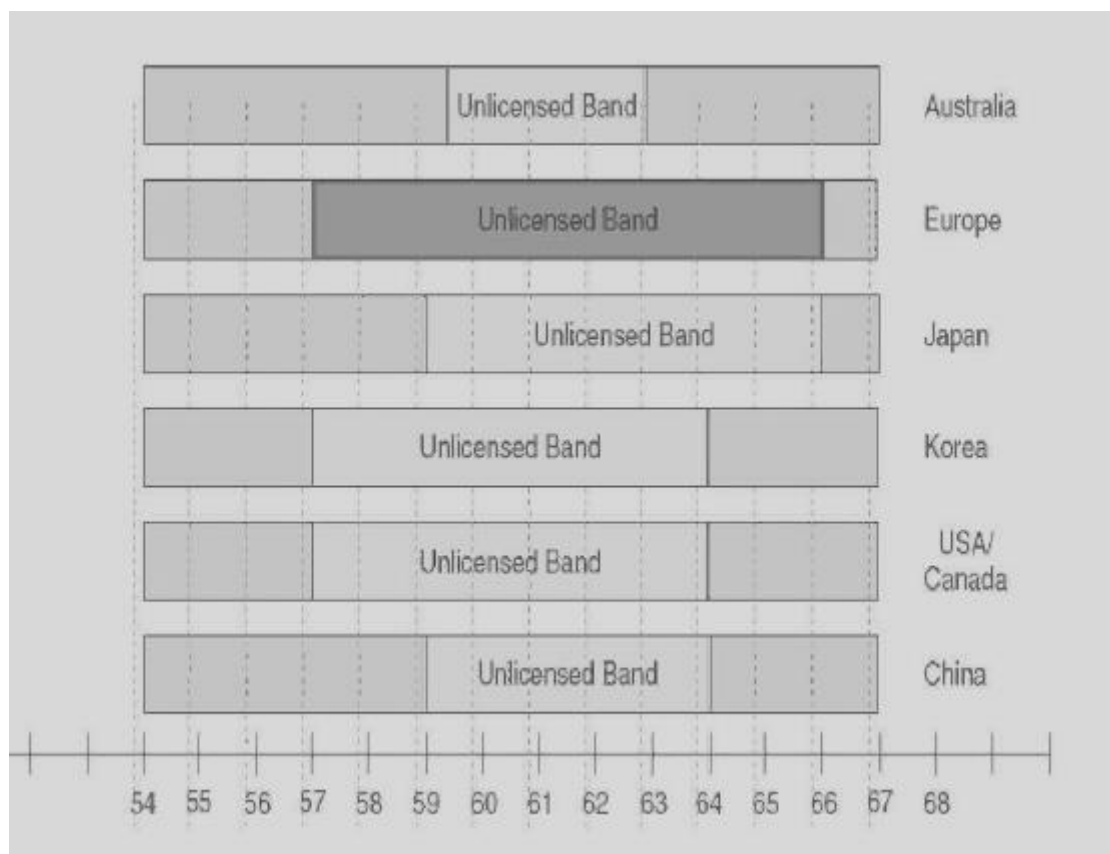


Figure 1.2. Attribution et exploitation des fréquences mondiales de la bande passante de 60 GHz [2].

En outre, la régulation à 60 GHz autorise une puissance d'émission beaucoup plus élevée (puissance isotrope rayonnée équivalente (ou PIRE)) que celle des autres systèmes WLAN et WPAN disponibles. Le tableau 1.1 illustre des exemples de systèmes 60 GHz, ULB et IEEE 802.11n qui fonctionnent à un niveau proche de la limite réglementaire de la commission fédérale des communications (ou FCC) des États-Unis.

La valeur de la puissance de sortie d'un amplificateur de puissance pour 60 GHz est généralement limitée à 10 dBm en raison de la difficulté à mettre en œuvre des amplificateurs de puissance efficaces à cette fréquence, alors que les réglementations de la FCC autorisent jusqu'à 27 dBm.

Cependant, le gain élevé des antennes (jusqu'à 40 dBi) a considérablement augmenté les limites de PIRE autorisées. En revanche, les systèmes ULB qui sont tenus de respecter un masque du spectre de puissance limité à -41,3 dBm/MHz conformément à la réglementation de la FCC, n'offrent donc qu'une PIRE très limitée de l'ordre de -10 dBm. Cela fait que le système ULB un périphérique à très courte portée et à faible puissance. Par contre, la conception des amplificateurs de puissance pour 2.4/5.0 GHz est plus simple et peut produire une puissance beaucoup plus élevée que le système à 60 GHz. Cependant, la PIRE est généralement limitée à 30 dBm en raison de la saturation de la bande industrielle, scientifique et médicale. Le tableau 1.1 indique que la PIRE du système 60 GHz est environ 10 fois plus élevée que celle du système IEEE 802.11n et 30 000 fois plus élevée que celle du système ULB.

La puissance d'émission élevée est donc nécessaire afin de surmonter l'affaiblissement sur le trajet qui est plus élevé à 60 GHz. Bien que l'affaiblissement élevé sur le trajet soit un inconvénient à 60 GHz, cela limite le fonctionnement à 60 GHz à une chambre dans un environnement intérieur. En conséquence, les niveaux des interférences effectives à 60 GHz sont moins importants que ceux des systèmes situés dans les zones encombrées de 2.0-2,5 GHz et de 5.0-5.8 GHz.

En outre, la grande largeur de bande disponible pour les systèmes 60 GHz et ULB simplifie la conception de ces technologies. Il est possible de concevoir un système avec une efficacité spectrale beaucoup plus faible pour assurer une transmission à Gbps, de manière à offrir un faible coût et une mise en œuvre simple. Le tableau 1.2 expose l'efficacité spectrale requise par les systèmes 60 GHz, UWB et IEEE 802.11n afin d'atteindre une transmission de 1 Gbps ainsi que l'efficacité spectrale du déploiement réel de ces systèmes. Un système standard à 60 GHz ne nécessite que 0,4 bps/Hz afin d'atteindre 1 Gbps, ce qui en fait une solution idéale

pour la prise en charge d'applications à très haut débit de données au moyen d'une modulation simple. Bien que le système ULB ne nécessite que 2 bps/Hz afin d'atteindre 1 Gbps, son déploiement réel est limité à 400 Mbps avec 1 m de portée. Les systèmes similaires à l'IEEE 802.11n ont besoin de 25 bps/Hz pour atteindre 1 Gbps, ce qui rend l'extension de ces systèmes à plus de 1 Gbps non attrayante en termes de coût et de mise en œuvre [2,6-8].

Technologies	Fréquence (GHz)	Sortie de PA (dBm)	Gain d'antennes (dBi)	Sorties PIRE (dBm)
60 GHz	57-66	10	25	35
ULB	3.1-10.6	-11.5	1.5	-10
IEEE 802.11n	2.4/5	22	3	25

Tableau 1.1. Comparaison de la réalisation typique des systèmes 60 GHz, UWB et 802.11n en termes de puissance de sortie, de gain d'antenne et de PIRE de sortie [2].

Technologies	Bande passante (MHz)	Efficacité à 1 Gbps (bps/Hz)	Débit de données visé (Mbps)	Efficacité requise (bps/Hz)
60 GHz	2000	0.5	4000	2
ULB	528	2	480	1
IEEE 802.11n	40	25	600	15

Tableau 1.2. Analyse comparative de l'efficacité spectrale des technologies 60 GHz, ULB et IEEE 802.11n [2].

En outre, la grande perte sur le trajet à 60 GHz autorise une réutilisation de fréquences plus élevées dans tout environnement intérieur, ce qui donne un réseau à très haut débit. La taille compacte de la radio à 60 GHz offre également des solutions à antennes multiples au niveau

du terminal de l'utilisateur, ce qui est normalement difficile, voire impossible, à des fréquences inférieures. En comparaison avec les systèmes 5 GHz, les systèmes 60 GHz ont un facteur de forme environ 140 fois plus petit et peuvent donc être facilement intégrés dans les produits électroniques grand public. Malgré les différents avantages offerts, les communications fondées sur la fréquence 60 GHz souffrent d'un certain nombre de problèmes critiques qui doivent être résolus. La figure 1.3 illustre les débits de données et les exigences de portée de plusieurs systèmes WLAN et WPAN [2,6-8].

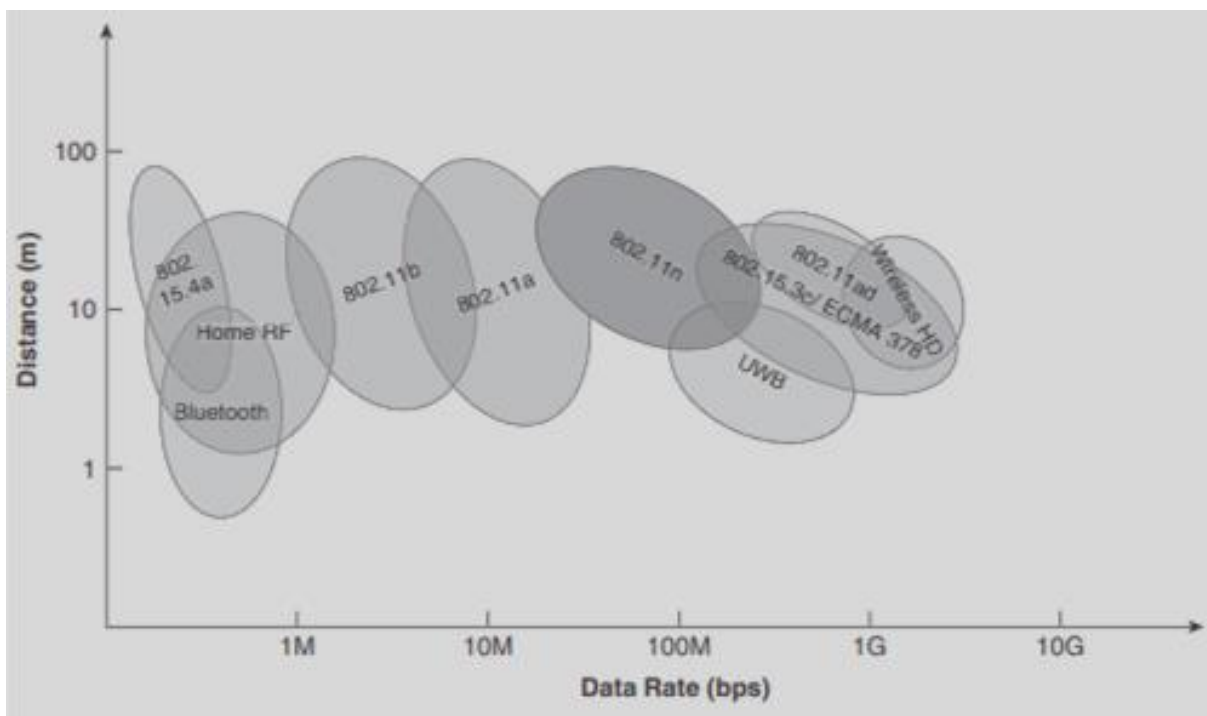


Figure 1.3. Débit en fonction de la portée pour des normes WLAN et WPAN [2].

Dans la mesure où il est nécessaire de faire la distinction entre des normes différentes pour une exploitation plus large sur le marché, les normes relatives aux 60 GHz sont en mesure de fournir des débits de l'ordre du Gigabits et une portée de service plus longue que celle des systèmes ULB, mais plus courte que celle des systèmes IEEE 802.11n.

En règle générale, les systèmes à 60 GHz sont destinés à fournir des débits de données de plusieurs Gigabits avec une portée de fonctionnement inférieure à 20 m pour prendre en charge diverses applications. Avec un tel débit et une telle portée, les systèmes à 60 GHz auront pour tâche non négligeable de fournir une marge de puissance suffisamment importante afin de garantir une liaison de communication fiable. En outre, l'étalement du délai du canal considéré est un autre facteur limitatif pour les transmissions à grande vitesse. La

complexité du système peut facilement dépasser la limite pratique de l'égalisation si les valeurs d'étalement de retard sont élevées [2,6-8].

1.4. Applications éventuelles pour la technologie 60 GHz

Grâce à la bande passante de 7 GHz allouée dans la plupart des pays, la technologie radio à 60 GHz est devenue la solution pour de nombreuses applications de transmission Gigabit qui sont techniquement limitées à une fréquence inférieure. De nombreuses applications intérieures sont envisagées [2,9-13], telles que :

- la substitution du câble ou le streaming vidéo haute définition (ou HD) non compressé qui permet aux utilisateurs d'afficher sans fil du contenu sur un écran distant avec une qualité/expérience similaire en mode câblé ;
- transfert de fichiers. Elle peut transférer des Gigaoctets de fichiers en quelques secondes ;
- les stations d'accueil sans fil permettant de connecter plusieurs périphériques (y compris un écran externe) sans avoir à les brancher et les débrancher fréquemment ;
- Ethernet Gigabit sans fil autorisant un trafic Ethernet multi-gigabit bidirectionnel ;
- des jeux sans fil qui garantissent des performances de haute qualité et une faible latence pour une expérience d'utilisation exceptionnelle.

Ces applications ont toutes discutées dans le cadre de diverses normes et alliances industrielles. Le streaming vidéo non compressé est l'une des applications les plus attrayantes et des produits connexes basés sur la spécification WirelessHD sont désormais disponibles sur le marché par des sociétés telles que Panasonic, LG Electronics et Toshiba [2,9,14].

1.5. Régulation et attribution des fréquences au niveau mondial

Dans cette section, on examine l'état actuel de la régulation et de la normalisation mondiale pour la bande 60 GHz. Les autorités de régulation des États-Unis, du Japon, du Canada et de l'Australie ont déjà fixé des bandes de fréquences et des régulations pour le fonctionnement à 60 GHz, tandis qu'en Corée et en Europe, des efforts considérables sont actuellement en cours. Cependant, Un résumé des attributions de fréquences accordées et proposées et des principales spécifications de la régulation radio dans un certain nombre de pays est présenté dans le tableau 1.3. Notons que même si une puissance de transmission maximale de 27 dBm est autorisée aux États-Unis, la puissance de transmission réelle peut être limitée par la

capacité des amplificateurs de puissance (PA), en particulier dans le cas d'antennes simples. En général, la sortie maximale du PA de 60 GHz est limitée à environ 10 dBm [2].

1.5.1. Amérique du Nord

Dans la bande [54 à 66] GHz, la FCC a alloué en 2001 7 GHz pour un usage sans licence. En ce qui concerne les limites de puissance, les règles de la FCC autorisent une transmission avec une densité de puissance moyenne de $9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ à 3 mètres et une densité de puissance maximale de $18 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ à 3 mètres, depuis la source rayonnante. Ces valeurs correspondent à une PIRE moyenne et une PIRE maximale de 40 dBm et 43 dBm, respectivement. En outre, la FCC a spécifié une puissance de transmission maximale totale de 500 mW pour une bande passante de transmission de plus de 100 MHz. On note que la puissance de transmission maximale est limitée à 10 dBm après prise en compte des questions de sécurité RF. Ensuite, chaque émetteur doit transmettre l'identification de l'émetteur au moins une fois, dans un intervalle de 1 seconde après la transmission du signal. Il est important de savoir que la régulation de la bande de 60 GHz au Canada, appliquée par Industrie Canada, gestion du spectre et télécommunications (ou IC-SMT), est en conformité avec celle des États-Unis [2,15,16].

Région	Bande-passante sans-licence (GHz)	Puissance de transmission (dBm)	PIRE (dBm)	Gain d'antenne maximum (dBi)
USA/Canada	7	27 (max)	40 (moy) 43 (max)	33 (max) si la P_{Tx} est de 10 dBm
Japon	7	10 (max)	58 (max)	47
Corée	7	10 (max)	27 (max)	17
Australie	3.5	10 (max)	51.7 (max)	41.8
Europe	9	13.01 (max)	57	30

Tableau 1.3. Plan des bandes de fréquences et les limites sur la puissance d'émission, la PIRE et le gain d'antenne pour différents pays [2].

1.5.2. Japon

Au Japon, en 2000, le ministère de la gestion publique, des affaires intérieures, des postes et des télécommunications (ou MPHPT) a publié un règlement sur les radiocommunications dans la bande des 60 GHz permettant une utilisation sans licence dans la bande [59 à 66] GHz. La bande [54,25 à 59] GHz est attribuée en vue d'une utilisation sous licence. La puissance de transmission maximale pour une utilisation sans licence est limitée à 10 dBm et le gain d'antenne maximal autorisé est de 47 dBi. À la différence de l'Amérique du Nord, la réglementation japonaise exige que la largeur de bande de transmission maximale ne dépasse pas 2,5 GHz. Il n'existe aucune spécification concernant l'exposition aux rayonnements RF et les exigences en matière d'identification des émetteurs [2,17-19]. Pour plus d'informations et les dernières mises à jour de la réglementation au Japon, veuillez vous référer à [20].

1.5.3. Australie

Suite à la publication des réglementations au Japon et en Amérique du Nord, les autorités australiennes des communications et des médias (ou ACMA) ont pris des mesures similaires pour réguler la bande de 60 GHz en 2005. Cependant, la seule largeur de bande de 3,5 GHz ([59,4 à 62,9] GHz) est allouée pour un usage sans licence. La puissance de transmission et la PIRE maximales sont limitées à 10 dBm et 51,7 dBm, respectivement. Les transmetteurs de communication de données qui fonctionnent au sein de cette bande de fréquences sont limités à des déploiements terrestres et maritimes [2,21]. Pour plus d'informations et les dernières mises à jour de la réglementation en Australie, veuillez consulter la référence [22].

1.5.4. Corée

Au mois de juin 2005, le groupe d'étude des fréquences d'ondes millimétriques (ou MFSG) a été formé sous les auspices de l'association coréenne de promotion de la radio. Le MFSG a préconisé un spectre sans licence de 7 GHz ([57 à 64] GHz) sans limitations sur les types d'application à utiliser. Pour les applications intérieures, la puissance de transmission maximale est de 10 dBm, comme au Japon et en Australie, et le gain d'antenne maximal autorisé est de 17 dBi. Dans le cas des applications extérieures, la puissance de transmission est limitée à -20 dBm et 10 dBm pour les bandes de fréquences [57 à 58] GHz et [58 à 64] GHz, respectivement, tandis que le gain d'antenne maximal est de 47 dBi [14]. En outre, tout dispositif qui utilise des fréquences dans la bande [57 à 64] GHz doit transmettre le code d'identification de l'émetteur par lui-même, afin de permettre aux autres dispositifs de détecter pleinement les défaillances et de s'en protéger, à une exception près : tout système fixe point à

point [2,23,24]. Pour plus d'informations et les dernières mises à jour de la régulation en Corée, veuillez vous référer à [25].

1.5.5. Europe

L'Institut européen des normes de télécommunications (ou ETSI) et la Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications (ou CEPT) ont étroitement collaboré à l'établissement d'un cadre juridique pour le déploiement de dispositifs sans licence à 60 GHz. De manière générale, la bande [59 à 66] GHz a été attribuée aux services mobiles sans que des décisions spécifiques aient été prises quant à la régulation. Le site recommandation T/R 22-03 de la CEPT attribuait provisoirement la bande [54,25 à 66] GHz aux systèmes mobiles terrestres et fixes.

Dans le cadre du Comité européen des radiocommunications (ou ERC), on a envisagé en 2004 l'utilisation de la bande [57 à 59] GHz pour les services fixes sans planification des fréquences. Ensuite, le Comité des communications électroniques (ECC) au sein de la CEPT a recommandé l'utilisation de services fixes point à point dans la bande [64 à 66] GHz. Plus tard, l'ETSI a suggéré à l'ECC de prendre en compte la régulation à 60 GHz pour les applications WPAN. Dans le cadre de cette proposition, 9 GHz de spectre sans licence est attribué pour un fonctionnement à 60 GHz. Cette bande représente l'union des bandes actuellement approuvées et proposées par les principaux pays, comme illustré à la figure 1.2. De plus, il faut un spectre minimal de 500 MHz pour le signal transmis avec une PIRE maximale de 57 dBm. Aucune spécification n'est donnée pour la puissance de transmission maximale et le gain maximal de l'antenne.

En Octobre 2009, la CEPT a recommandé une PIRE maximale de 25 dBm avec une densité spectrale de puissance maximale de -2 dBm/MHz pour les applications extérieures, bien que une installation extérieure fixe n'est pas autorisée. En ce qui concerne les applications intérieures, une PIRE maximale de 40 dBm avec une densité spectrale de puissance maximale de 13 dBm/MHz est spécifiée. Il est difficile de savoir quand la régulation finale sera mise en place, mais la tendance actuelle semble encourageante pour le déploiement de la technologie 60 GHz [2,26-30]. Pour plus d'informations et les dernières mises à jour de la régulation en Europe, veuillez vous référer à [31].

1.6. Conclusion

Tout au long de ce chapitre, on a résumé une grande généralité sur la technologie 60 GHz où on a défini cette technologie et on l'a comparée à d'autres systèmes. Le prochain chapitre sera consacré à la propagation d'un signal électromagnétique dans un environnement RF.

CHAPITRE 2

Propagation d'un signal électromagnétique dans un environnement RF

2.1. Introduction

Le milieu de propagation de l'onde et la fréquence exploitée jouent un rôle essentiel. Ce chapitre a pour but de présenter et d'expliquer quelques notions de propagation des signaux électromagnétiques, indispensables à la compréhension du travail effectué dans le cadre de ce projet. Dans un premier temps, on définit le modèle de propagation en espace libre, ensuite les mécanismes à l'origine des multi-trajets tels que la réflexion, la diffusion, la diffraction et le chemin d'onde, puis on expose les différents types d'évanouissement y compris les évanouissements à petite et à grande échelle.

2.2. Modèle de propagation

2.2.1. Propagation en espace libre

Avant de détailler le concept d'espace libre, on définit tout d'abord ce que constitue un canal de propagation. En transmission hyperfréquence, par exemple, le signal $e(t)$ transmis au moyen de l'antenne d'émission se propage à travers le milieu de transmission, traverse les ondes électromagnétiques et est alors reçu par l'antenne de réception. Au cours de la transmission, le signal $e(t)$ se transforme en signal $s(t)$ En raison des interférences et des changements causés par le support de transmission, il agit sur les ondes électriques. En conséquence, l'espace où se produit cette transition est appelé "canal de propagation", comme le montre la figure 2.1.

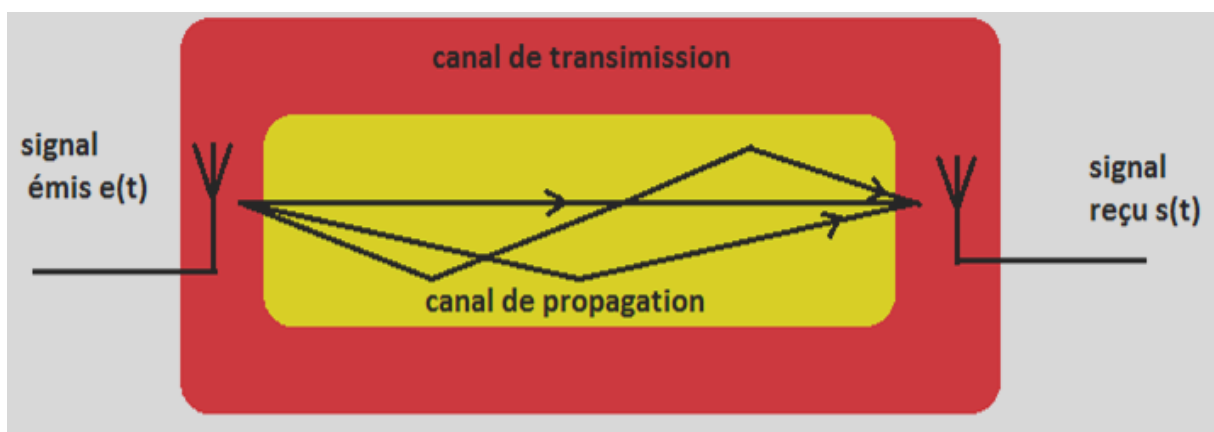


Figure 2.1. Visualisation d'un canal de propagation.

Parfois, on confond "canal de propagation" et "canal de transmission", le second contenant plus d'antennes que le premier. On parle du modèle de propagation, ce qui consiste à

visualiser l'évolution. La puissance de la transmission entre un émetteur et un récepteur repose sur la distance entre ces deux éléments dans un environnement déterminé.

La présence d'un espace libre entre les deux antennes est indispensable pour que le support soit libre, autrement dit, l'espace entre les deux antennes doit être "libre", ce qui implique qu'aucun objet ou corps étranger n'interfère avec la transmission du signal direct entre les deux antennes [13, 32].

Pour établir que la zone située entre les deux antennes doit impérativement être "dégagée", le concept "d'espace libre" se réfère à ce que l'on appelle la première zone de Fresnel, comme indiqué à la figure 2.2.

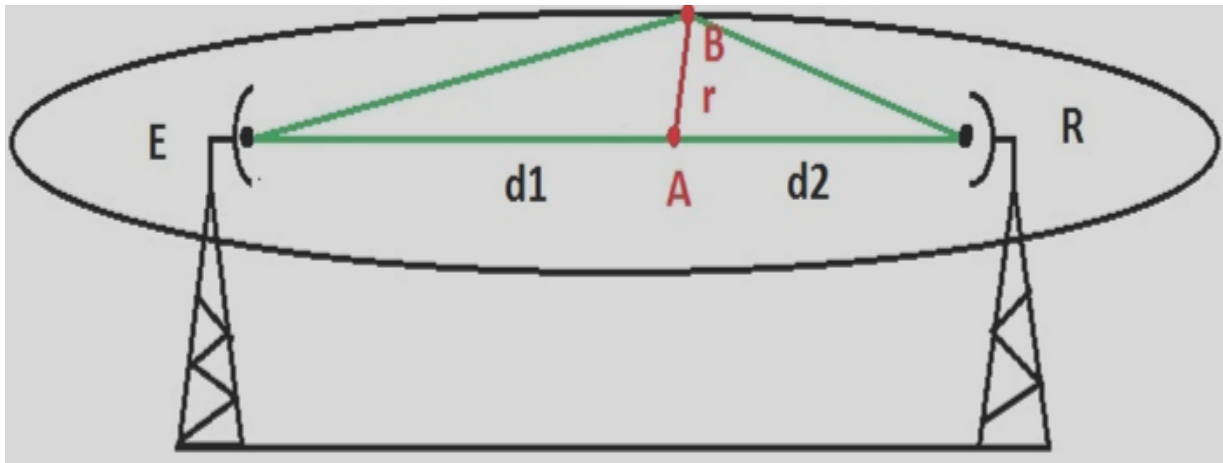


Figure 2.2. Ellipsoïde de Fresnel.

En figure 2.2, on voit deux antennes E et R qui sont séparées par une distance $d1 + d2$. Ensuite, on verra que la formule mathématique permettant de déterminer le rayon r (ou [AB]) du premier ellipsoïde de Fresnel. La notation est les paramètres utilisés sont tirés des paramètres de la figure 2.2.

$$BE + BR = ER + \frac{\lambda}{2} \iff \Delta d = \frac{\lambda}{2} \text{ et } \Delta\varphi = \pi \tag{2.1}$$

$$\sqrt{d1^2 + r^2} = \sqrt{d2^2 + r^2} = d1 + d2 + \frac{\lambda}{2} \tag{2.2}$$

$$r = \sqrt{\lambda \frac{d1 \cdot d2}{d1 + d2}} \tag{2.3}$$

Si on ne trouve aucun objet étranger d'un rayon r dans la zone, on considère que l'espace concerné est "libre", et on peut alors employer le modèle de propagation afin de répondre aux

exigences. Avec celui-ci, on peut facilement déterminer la puissance reçue au moyen de la formule FRIIS, aussi appelée équation des télécommunications :

$$Pr(d) = \frac{Pt.Gt.Gr.\lambda^2}{16.\pi^2.d^2} \quad (2.4)$$

Où

Pr : Elle correspond à la puissance reçue par l'antenne de réception en fonction de la distance (d) entre les deux antennes ;

Pt : représente la puissance émise ;

Gt : désigne le gain de l'antenne d'émission ;

Gr : désigne celui de l'antenne de réception.

Les gains sont calculés selon la formule suivante :

$$G = \frac{4\pi}{\varepsilon^2} \quad (2.5)$$

ε : est la surface intérieure par laquelle l'antenne réceptrice est capable de capter l'onde émise.

λ : correspond à la longueur d'onde du signal transmis.

Toutefois, la propagation en milieu libre ne constitue qu'une hypothèse théorique idéale. En conséquence, les transmissions exécutées en pratique peuvent être affectées par de multiples interférences provoquées par tous les éléments existant dans l'environnement réel. Le signal peut donc subir une variation et une multiplication de sa trajectoire. On présentera donc ultérieurement cette notion de chemins multiples [4].

2.2.2. Trajets multiples

Le schéma de propagation en milieu libre présenté précédemment est impossible à appliquer en pratique. Effectivement, quand on envoie un signal radio, celui-ci peut transiter par plusieurs chemins de propagation (consulter la figure 2.3), dont le principal correspond au cas où le chemin direct envoie le plus d'énergie. Selon l'environnement, l'impact sur les ondes et le nombre de chemins sont plus ou moins importants [4].

En prenant l'exemple d'une mine, on verra l'aspect physique de ce mur très irrégulier comme on l'a vu précédemment, cela met en valeur la réflexion de l'onde donc double le nombre de chemins. On distingue deux types de chemins : le chemin direct ou ligne de vue (ou LOS, Line Of Sight) l'amplitude d'évanouissement est déterminée par la distribution de

Rice (consulter la figure 2.4). Et le second chemin indirect ou sans ligne de vue (ou NLOS, None Line Of Sight) Aucune ligne de vue n'existe entre l'émetteur et le récepteur. En effet, dans ce cas, la densité de probabilité de l'amplitude totale de l'évanouissement du signal reçu évolue selon la loi de Rayleigh (consulter la figure 2.5) [33]. Dans le cadre de notre projet, on utilise les deux chemins pour prédire la puissance reçue à l'utilisateur 5G, à savoir : LOS et NLOS.



Figure 2.3. Propagation par trajets multiples dans un environnement "extérieur".

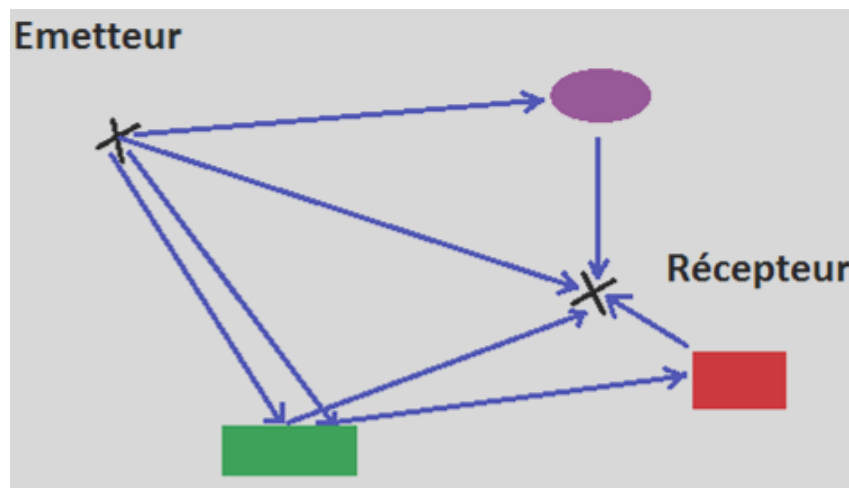


Figure 2.4. Propagation multi-trajets LOS [33].

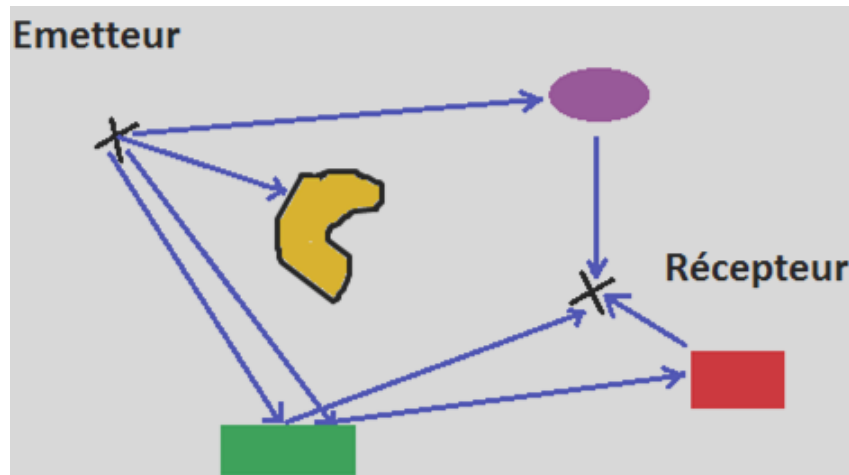


Figure 2.5. Propagation multi-trajets NLOS [33].

La figure 2.6 illustre les différentes formes de phénomènes que peuvent subir les signaux radio. On parle de réflexion, de diffraction, de diffusion et de guides d'ondes que par la suite on détaillera [34, 35].

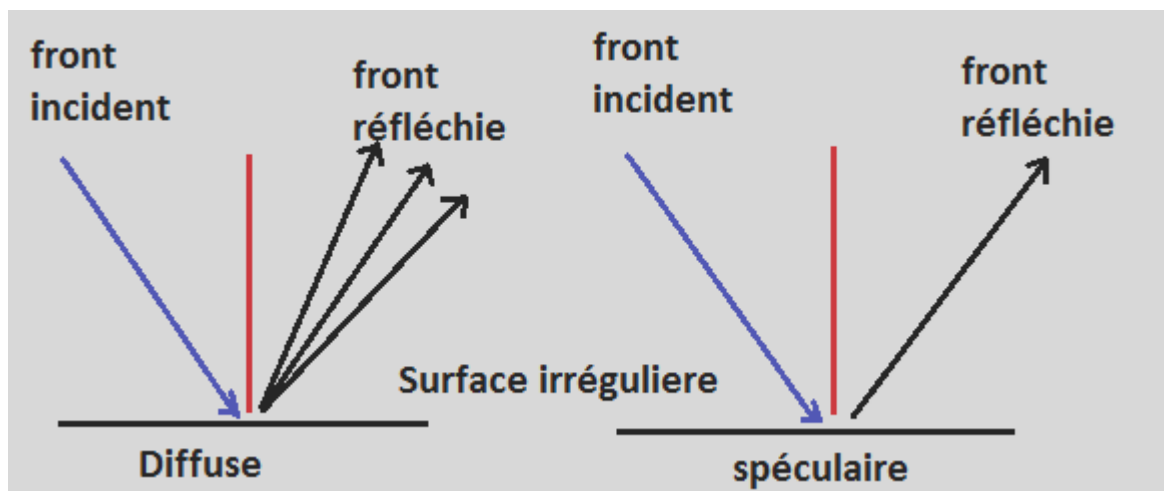


Figure 2.6. Fonctionnement des réflexions spéculaires et diffuses [36].

a. Réflexion

Au même titre que la réflexion (voir la figure 2.7), la réfraction apparaît également sur les grands obstacles relativement à λ . La surface de l'obstacle permet de séparer deux milieux aux caractéristiques électriques différentes. Cette réfraction désigne la transmission des ondes à travers les obstacles (murs, parois). En comparaison avec l'onde incidente, cela va provoquer un changement de direction de l'onde qui traverse l'obstacle et une atténuation de la puissance [4].

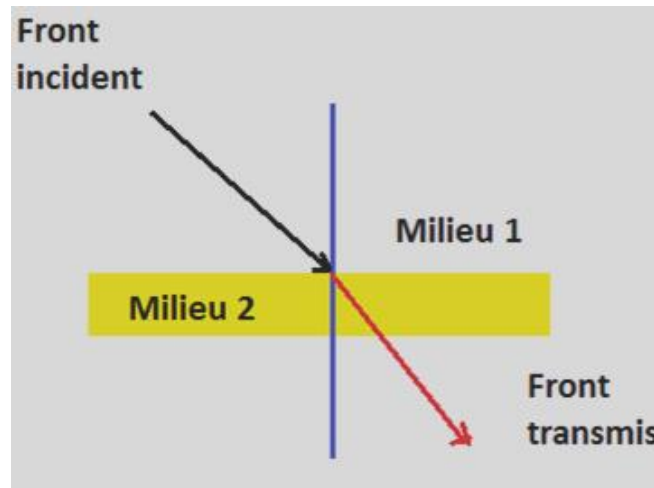


Figure 2.7. Mécanisme de réflexions ou de transmission [36].

L'onde émise est soumise à deux types de réflexions :

- **Réflexion spéculaire** : Il faut noter que dans ce cas, l'onde incidente va produire une seule onde réfléchi, de sorte que cette dernière va économiser la totalité de l'énergie du signal. Néanmoins, en fait, il est possible qu'une partie de l'énergie soit absorbée ou diffusée au niveau de la surface de contact, un phénomène appelé transmission, on en déduit alors que la qualité de la réflexion repose essentiellement de la qualité de la surface de contact. On pourra alors déterminer si l'onde a été réfléchi et si la taille du défaut du miroir est inférieure à l'amplitude de la dispersion [4].
- **Réflexion diffuse** : Ce phénomène s'applique aux situations où la surface de contact présente une irrégularité trop importante, ce qui revient à dire que la taille du défaut est largement supérieure à la longueur d'onde. En effet, dans ce cas, l'onde incidente va être réfléchi en plusieurs ondes partagées la puissance initiale [4].

b. Diffraction

Permet de sauter les obstacles. En effet, l'onde émise est capable de suivre le contour de l'obstacle puis de restituer sa trajectoire, ce qui signifie que la direction et la puissance d'atténuation de la trajectoire seront changées. Ces changements sont plus ou moins significatifs selon la nature et la taille de l'obstacle (consulter la figure 2.8) [4].

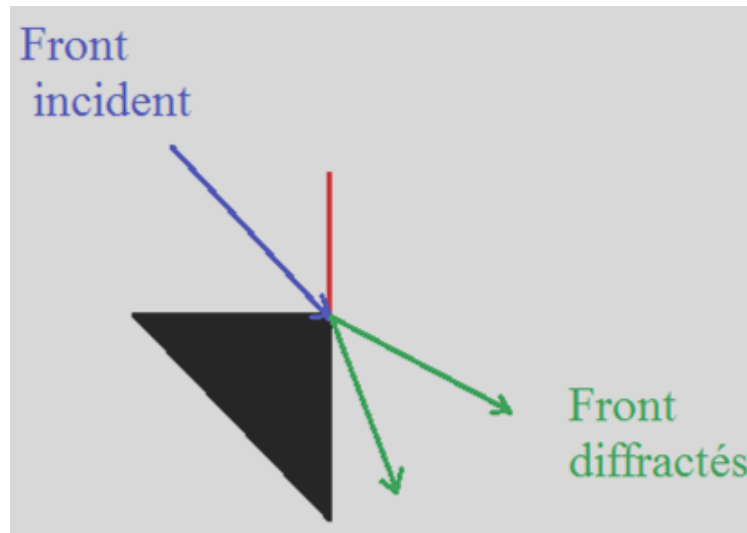


Figure 2.8. Mécanisme de diffraction [36].

c. Diffusion

Comme le montre la figure 2.9, le signal transmis est confronté à de petits obstacles (de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde) semblables à la poussière présente dans l'air. Ce phénomène est similaire à la réflexion diffuse, mais le nombre d'ondes réfléchies est ici plus élevé [4].

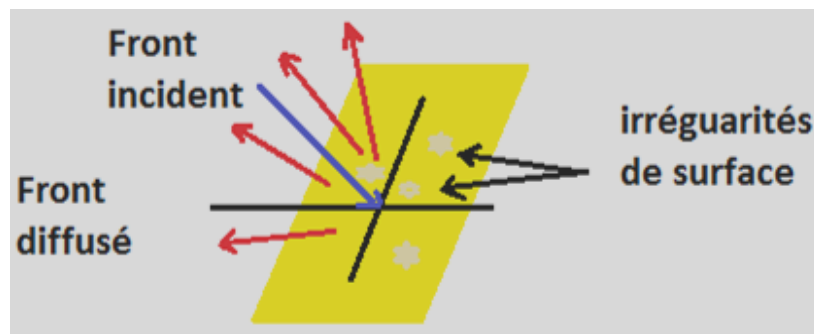


Figure 2.9. Mécanisme de diffusion [36].

d. Guidage d'ondes

Ce phénomène est observable lorsque le milieu de propagation des ondes possède une surface lisse et parallèle. Lors du suivi de la surface, le signal est constamment réfléchi. On vient de percevoir que les changements de trajectoire et de niveau de puissance ont un impact sur l'onde transmise en présence d'obstacles. Maintenant, on va aborder un autre phénomène que subira un signal lors de sa propagation appelé évanouissement ou " fading " en anglais [4].

2.3. Évanouissements

Pendant qu'une onde se propage dans l'air, cette dernière est confrontée à divers obstacles tout au long de son chemin de propagation, provoquant des perturbations du signal. En constatant ce dernier, on observe des interruptions de la propagation de l'onde. Ce phénomène s'appelle l'effet d'évanouissement. Il existe deux types d'évanouissement : l'évanouissement à petite échelle et l'évanouissement à grande échelle.

La figure 2.10 illustre la puissance reçue en fonction de la distance. Les courbes correspondantes de la figure 2.10 sont respectivement l'atténuation moyenne du signal, également appelée "PathLoss", l'évanouissement à grande échelle, également appelé "effet de masquage" ou "Shadowing", et l'évanouissement à petite échelle [4].

Les canaux sont classés en fonction du type d'évanouissement et de la nature des changements de canal en temps et en fréquence. Cette classification est illustrée par l'organigramme ci-dessous (consulter la figure 2.11) [36].

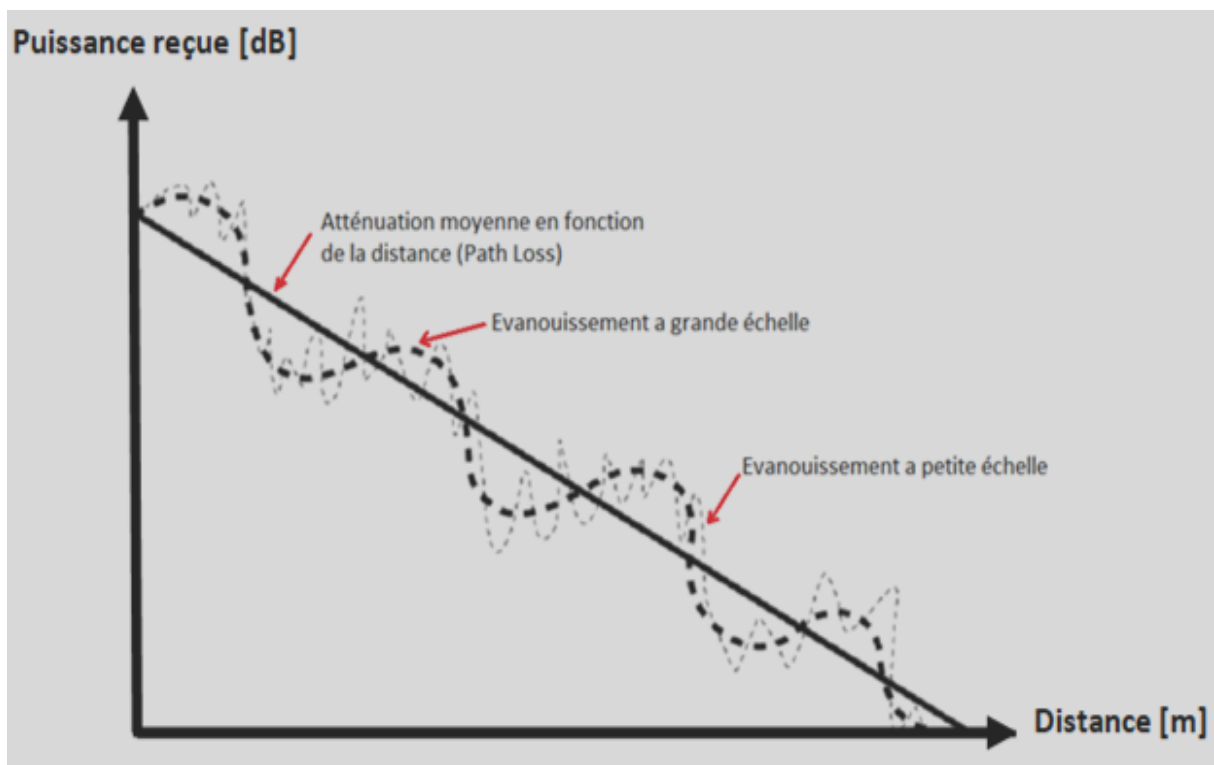


Figure 2.10. Puissance reçue [dB] vs. Distance [m] [36].

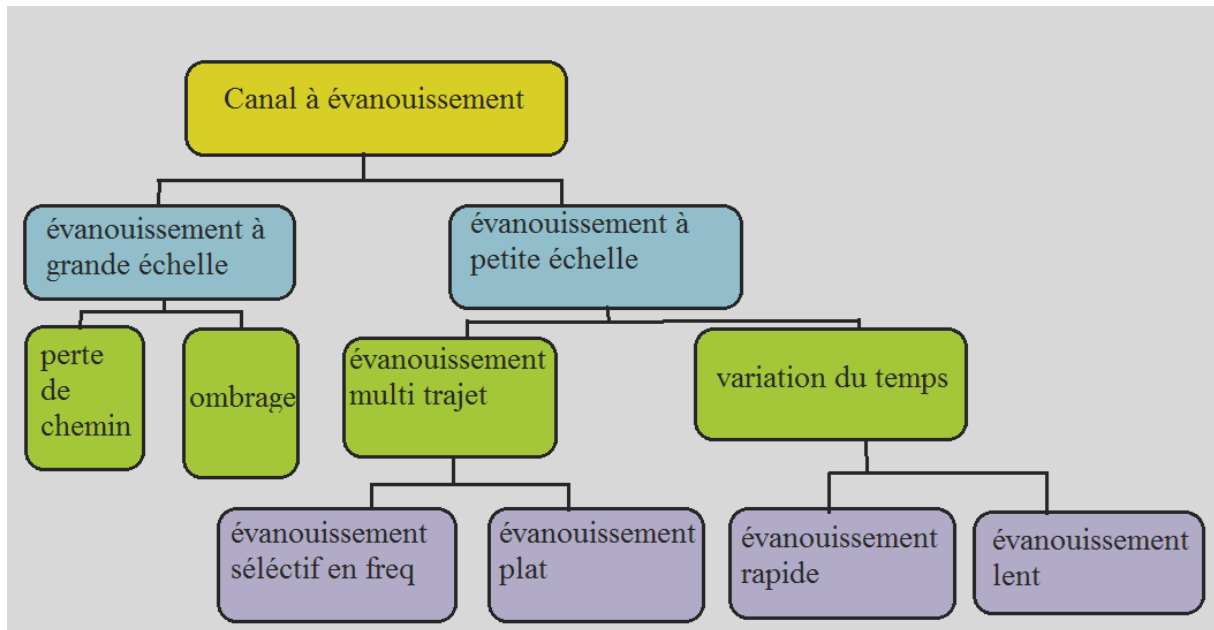


Figure 2.11. Classification des canaux à évanouissement [36].

2.3.1. Évanouissement à grande échelle

L'évanouissement à grande échelle est caractérisé par des fluctuations de la puissance du signal mesurée au cours d'un déplacement sur de grandes distances (de multiples fois la longueur d'onde). Ces fluctuations de puissance sont liées à la distance entre les deux antennes et leur positionnement l'une par rapport à l'autre dans l'environnement. À titre d'exemple, pour des antennes directionnelles, si celles-ci ne sont pas alignées, un évanouissement peut être observé. Il en est de même si les antennes sont en position LOS ou NLOS [4], Pour plus de détails, veuillez consulter ces références [36-39].

2.3.2. Évanouissement à petite échelle

Le phénomène se produit lorsque le détecteur se déplace relativement à la source de rayonnement sur de très petites distances, de telle sorte que la puissance instantanée du signal varie considérablement, ce qui provoque cet effet d'évanouissement.

En effet, le signal reçu résulte de la somme de plusieurs signaux provenant des différents trajets que peuvent emprunter les ondes radio. Ces trajets, dont les longueurs variables, sont liés aux réflexions effectuées par les objets présents dans l'environnement.

Pour étudier le phénomène d'évanouissement sur une série de mesures effectuées, il faut exploiter des "distributions" qui servent à établir la loi statistique de l'enveloppe du signal reçu.

Comme mentionné dans les paragraphes précédents, les deux distributions les plus fréquemment appliquées sont la distribution de Rayleigh si les deux antennes d'émission et de réception ne se trouvent pas en ligne de vue (NLOS), et la distribution de "Rice" si les antennes se trouvent en ligne de vue directe (LOS) [4]. La théorie des télécommunications est particulièrement vaste, pour cette raison, veuillez consulter ces références [36-39] pour une meilleure compréhension des évanouissements à petite échelle.

2.4. Conclusion

Dans le présent chapitre, on a exposé en détail le concept de la propagation d'un signal RF dans un environnement bien défini, en considérant différents problèmes qui sont susceptibles d'être observés en phase de propagation du signal, tels que la réflexion, la diffusion et etc. On a ensuite bien expliqué l'existence des évanouissements à petite et grande échelle dans un environnement RF. Dans le prochain chapitre, le but est de présenter l'application de l'algorithme proposé afin d'améliorer la détection d'un signal 5G autour de la fréquence de 60 GHz.

CHAPITRE 3

Résultats et interprétations de la contribution proposée

3.1. Introduction

Récemment, la problématique de la détection du spectre d'ondes millimétriques (ou 5G) dans les réseaux 5G (ou R-5Gs) a été largement évoquée dans la littérature. Ce projet présente une nouvelle stratégie visant à améliorer la fiabilité de la détection du spectre dans un réseau 5G. L'un des défis dans les R-5Gs est de détecter toutes les informations concernant l'utilisateur secondaire 5G (ou US-5G) qui se déplace, en particulier dans un environnement encombré, car la mobilité de cet utilisateur (ou US-5G) a un impact considérable sur la performance de détection de l'utilisateur primaire 5G (UP-5G ou station de base 5G). On propose donc un algorithme qui assure un niveau de détection élevé, dans le cas d'un US-5G se déplaçant à faible vitesse dans un environnement encombré. En outre, l'élément d'ombrage devient important dans les environnements encombrés. Il est donc important de prévoir un mécanisme de moyenne pondérée pour obtenir une mesure stable de la puissance du signal à l'US-5G. Pour ce faire, un simple estimateur récursif est utilisé. Au final, l'algorithme proposé est évalué par des simulations et des résultats en utilisant MATLAB 2017a.

Cependant, la figure 3.1 illustre la carte de l'algorithme proposé dans ce projet avec deux phases de mise en œuvre.

Pour la première phase, on se fonde sur trois étapes afin de la terminer, telles que :

1. **Première étape:** Le modèle de mobilité qu'on doit l'utiliser dans ce projet est le modèle de mobilité aléatoire de Gauss-Markov (ou GMMM) [40-42].
2. **Deuxième étape:** En ce qui concerne les modèles de propagation, on doit employer le modèle d'ombrage log-normal (ou LNS) avec LOS et NLOS, afin de prédire la puissance du signal reçu à l'US-5G [43]. Ensuite, on calcule le lien du rapport signal/bruit (ou RSB) entre la station de base 5G (ou UP-5G) et l'US-5G.
3. **Troisième étape:** Après avoir prédit la puissance du signal reçu à l'US-5G dans un environnement encombré, on va se baser sur un simple estimateur récursif (ou SER) afin d'estimer la puissance du signal reçu au niveau de l'US-5G avec une stabilité de mesure accrue et meilleure [42]. Ensuite, on peut estimer le lien du rapport signal/bruit entre la station de base 5G (ou UP-5G) et l'US-5G.

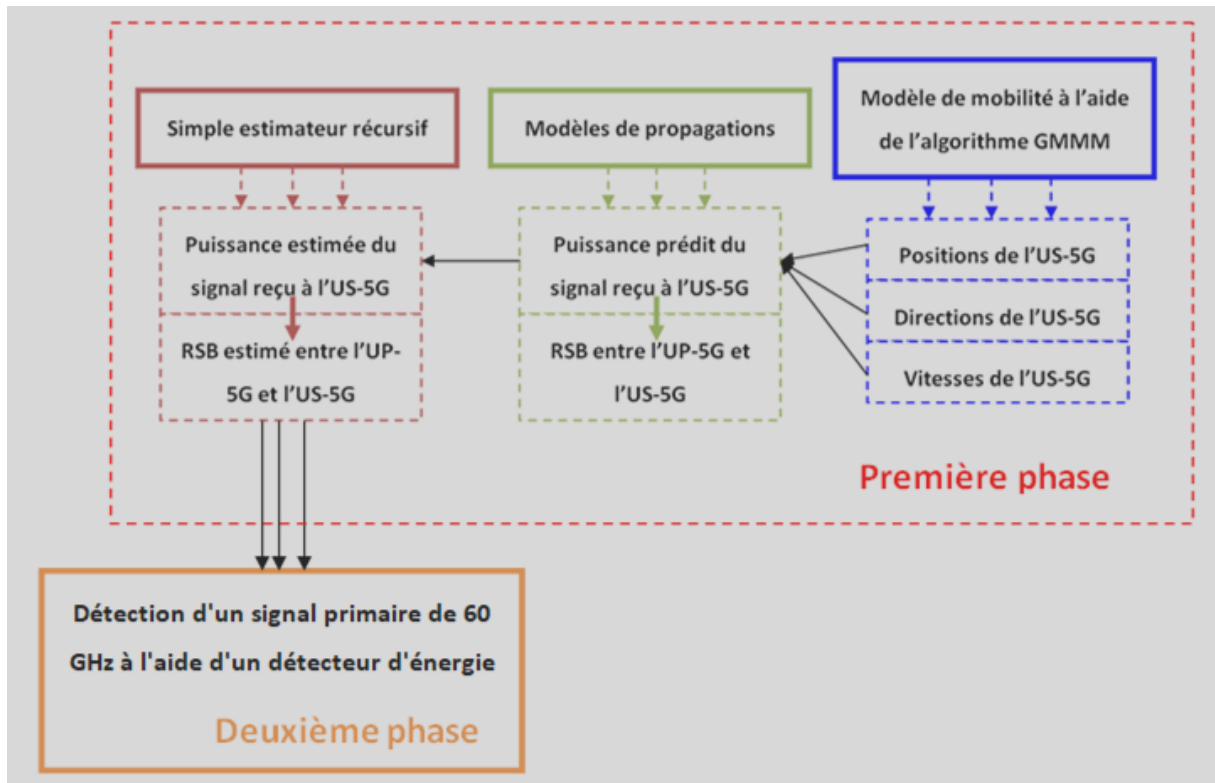


Figure 3.1. Algorithme proposé.

En ce qui concerne la deuxième phase :

Afin d'identifier le niveau de la détection du signal primaire 60 GHz transmis par la station de base 5G (ou UP-5G), on utilise l'algorithme de la détection par énergie [42,44].

3.2. Algorithme proposé

3.2.1. Processus du modèle de mobilité de Gauss-Markov

Dans le domaine des communications sans fil, la puissance du signal reçu correspond à la mesure de la puissance de réception des signaux en espace libre ou à l'intérieur. Cette mesure est généralement appliquée en radiofréquence afin de déterminer la distance et la position estimées d'un nœud d'équipement utilisateur (ou US-5G). Dans le cas du suivi d'un objet en temps réel (position) ou de l'estimation de la distance, une réception constante des mesures RSS est indispensable pour obtenir la position exacte d'un objet (US-5G). Toutefois, on trouve dans la littérature divers algorithmes qui peuvent être employés (modèle de mobilité) afin d'estimer la position visée d'un objet en mouvement. On peut citer les modèles suivants :

- Modèle de mobilité à cheminement aléatoire (ou RWMM) ;
- Modèle de mobilité par points de cheminement aléatoire (ou RWPM) ;

- Modèle de mobilité des groupes de points de référence (ou RPGMM) ;
- Modèle de mobilité de Gauss-Markov (ou GMMM).

En principe, un modèle de mobilité vise à décrire le modèle de mouvement du nœud de l'US-5G, qui inclut sa position, sa vitesse et sa direction réelles dans le temps. Le modèle examiné et étudié dans ce projet est le modèle de mobilité de Gauss-Markov (ou GMMM). Ce modèle a été initialement présenté par les auteurs, Liang et Haas, en 1999 et était destiné à l'analyse d'un nœud de communication sans fil mobile dans les réseaux de services de communication personnels (ou PCSN). Il a été largement appliqué, notamment dans les réseaux ad-hoc.

La première étape a pour but d'estimer la position et la vitesse du nœud US-5G se déplaçant dans la zone de couverture de la station de base 5G (ou UP-5G). Ensuite, on estime la distance de liaison entre le nœud de l'US-5G et l'UP-5G et on l'applique dans la deuxième étape.

Dans cette partie, les détails du modèle choisi sont présentés. Le GMMM peut être représenté au moyen des équations suivantes [40-42] :

$$\begin{cases} V_t = \alpha * V_{t-1} + (1 - \alpha) * \bar{V} + (\sqrt{1 - \alpha^2}) * W_{V_{t-1}} \\ D_t = \alpha * D_{t-1} + (1 - \alpha) * \bar{D} + (\sqrt{1 - \alpha^2}) * W_{D_{t-1}} \end{cases} \quad (3.1)$$

Où V_t et D_t sont la vitesse et la direction respectivement du chemin du nœud de l'équipement utilisateur, au temps t , \bar{V} et \bar{D} sont des constantes désignant les valeurs moyennes de la vitesse V et de la direction D , respectivement, et $W_{V_{t-1}}$ et $W_{D_{t-1}}$ sont des variables aléatoires provenant d'une distribution gaussienne avec une moyenne nulle et un écart type σ . Le caractère aléatoire du GMMM est généré par l'application du paramètre de réglage α ($0 \leq \alpha \leq 1$).

Pour chaque intervalle de temps, la position visée de l'US-5G peut être dérivée de la position réelle, de la vitesse et de la direction du mouvement. De manière plus pratique, en supposant que le nœud de l'US-5G se déplace sur les axes X et Y , alors à l'instant t de l'intervalle, la position de celui-ci peut être déterminée à l'aide des équations d'état suivantes [40-42].

$$\begin{cases} x_t = x_{t-1} + V_{t-1} * \cos D_{t-1} \\ y_t = y_{t-1} + V_{t-1} * \sin D_{t-1} \end{cases} \quad (3.2)$$

Où (x_t, y_t) et (x_{t-1}, y_{t-1}) sont les coordonnées $x_{i(US-5G)}$ et $y_{j(US-5G)}$ de la position de l'US-5G aux instants t et $(t - 1)$, respectivement ; D_{t-1} et V_{t-1} sont la direction et la vitesse de l'UE, respectivement, à l'instant $(t - 1)$.

3.2.2. Estimateur récursif et sensibilisation au SNR

Au sein des réseaux de communication sans fil basés sur les radiofréquences, la localisation des objets (ici, c'est l'US-5G) est souvent effectuée à l'aide de la puissance du signal reçu, qui sert à estimer la distance entre un mobile (ici, c'est l'US-5G) et un point d'accès (ici, c'est l'UP-5G). En vue de l'utilisation de la radiofréquence pour suivre des objets et estimer des distances, certains défis doivent être abordés, tels que l'atténuation du signal, le bruit, les effets de trajets multiples, les obstacles physiques, les erreurs de fabrication des dispositifs, la température, etc.

En raison de ces difficultés et leur interférence avec d'autres signaux reçus, la détection du signal devient difficile. En outre, cette deuxième étape a également comme objectif d'estimer le RSB entre l'émetteur (ou UP-5G) et le récepteur (ou US-5G), pour chaque distance qui les lie, comme illustré dans la figure 3.2 [42,43].

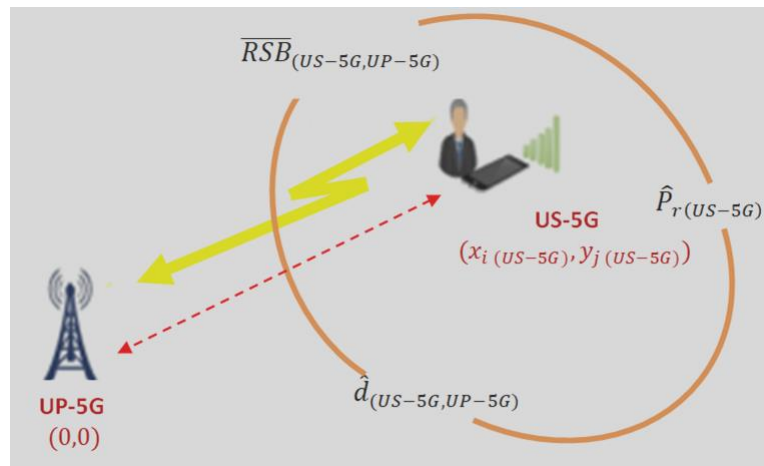


Figure 3.2. Méthode d'estimation.

Cette section décrit la méthode d'estimation qui est utilisée dans le modèle de réseau 5G proposé. Les éléments principaux de cette méthode sont résumés dans le tableau 3.1.

Au départ, le modèle de réseau 5G est formé par un UP-5G et un US-5G, et le paramètre essentiel qui sépare l'UP-5G et l'US-5G est le canal de détection (où le signal primaire 5G se propage). En outre, il convient d'évaluer l'état actuel du canal par l'incertitude du rapport

signal/bruit ($\overline{RSB}_{(US-5G,UP-5G)}$) à chaque liaison entre l'UP-5G et l'US-5G (voir la figure 3.2). Par conséquent, l'évaluation de l'incertitude du $\overline{RSB}_{(US-5G,UP-5G)}$ doit utiliser des paramètres tels que la distance ($\hat{d}_{(US-5G,UP-5G)}$) entre l'US-5G et l'UP-5G, l'estimation du $\hat{P}_r(US-5G)$ au niveau de l'US-5G et la puissance du bruit (P_{Noise}). Néanmoins, lorsque l'US-5G est en mouvement dans un environnement encombré, il faut prévoir un mécanisme de moyenne pondérée afin de produire une mesure stable de la puissance du signal reçu au niveau de l'US-5G. Pour ce faire, on utilise un simple estimateur récursif (ou SER). La méthode d'estimation est représentée par les points suivants :

Pour les variables d'état de position: $(x_0(US-5G), y_0(US-5G))$ à $(x_i(US-5G), y_j(US-5G))$ faire:

1. Estimer la distance entre l'US-5G et l'UP-5G ($\hat{d}_{(US-5G,UP-5G)}$).
2. Estimer la puissance du signal reçu au niveau de l'US-5G ($\hat{P}_r(US-5G)$) dans un environnement encombré.
3. Estimer l'incertitude du rapport signal/bruit entre l'UP-5G et l'US-5G ($\overline{RSB}_{(US-5G,UP-5G)}$) dans un environnement encombré.

Fin de pour

Tableau 3.1. Points essentiels de la méthode d'estimation.

a. Estimation de la distance

La distance euclidienne est employée pour calculer la distance estimée entre deux nœuds l'US-5G et l'UP-5G ; elle est exprimée comme suit [42,43]:

$$\hat{d}_{(US-5G,UP-5G)} = \sqrt{(x_i(UP-5G) - x_i(US-5G))^2 + (y_j(UP-5G) - y_j(US-5G))^2} \quad (3.3)$$

Où les coordonnées $(x_i(US-5G), y_j(US-5G))$ d'un US-5G sont obtenues au moyen de GMMM et les coordonnées $(x_i(UP-5G), y_j(UP-5G))$ d'un UP-5G sont fixées à (0, 0).

b. Puissance estimée du signal reçu à l'US-5G

La puissance estimée du signal reçu en dB de l'UP-5G vers l'US-5G est formulée comme suit [42,43]:

$$\hat{P}_r(US-5G) = P_{t(UP-5G)} - \left(PL_0 + 10PLE_{(LOS/NLOS)} \log_{10} \left(\frac{\hat{d}_{(US-5G,UP-5G)}}{d_0} \right) \right) \quad (3.4)$$

D'après l'équation (3.3), on suppose que le modèle de perte de trajectoire à log-distance est décrit comme suit :

$$\left[\frac{\hat{P}_{r(US-5G)}(\hat{d}_{(US-5G,UP-5G)})}{P_{r(US-5G)}(d_0)} \right]_{[dB]} = -10PLE_{(LOS/NLOS)} \log_{10} \left(\frac{\hat{d}_{(US-5G,UP-5G)}}{d_0} \right) \quad (3.5)$$

$$P_{r(US-5G)}(d_0) = P_{t(UP-5G)} - PL_0 \quad (3.6)$$

$$PL_0 = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \quad (3.7)$$

En outre, pour avoir le modèle des effets d'ombrage log-normal, il faut ajouter un élément supplémentaire $X_{\sigma(LOS/NLOS)}$ dans le modèle de perte de trajectoire log-distance, et ce dernier modèle correspondant :

$$\left[\frac{\hat{P}_{r(US-5G)}(\hat{d}_{(US-5G,UP-5G)})}{P_{r(US-5G)}(d_0)} \right]_{[dB]} = -10PLE_{(LOS/NLOS)} \log_{10} \left(\frac{\hat{d}_{(US-5G,UP-5G)}}{d_0} \right) + X_{\sigma(LOS/NLOS)} \quad (3.8)$$

Où, $\hat{P}_{r(US-5G)}$, $P_{t(UP-5G)}$, PL_0 , $\hat{d}_{(US-5G,UP-5G)}$, λ et $PLE_{(LOS/NLOS)}$ (ou $n_{(LOS/NLOS)}$), sont : la puissance estimée du signal reçu à l'US-5G en [dB], la puissance de transmission par l'UP-5G en [dB], la perte de trajectoire en fonction d'une distance de référence d_0 en [dB], la distance estimée entre l'US-5G et l'UP-5G en [m], la longueur d'onde du signal primaire 5G en [mm] et l'exposant de perte de trajectoire en ligne de visibilité (ou, line-of-sight (LOS)) ou hors de la ligne de visibilité (ou, non-line-of-sight (NLOS)), respectivement, et $X_{\sigma(LOS/NLOS)}$ représente une variable aléatoire gaussienne distribuée à moyenne nulle avec un écart-type $\sigma_{(LOS/NLOS)}$ en [dB].

Il faut cependant appliquer une technique fiable afin de détecter la puissance estimée du signal reçu au niveau de l'US-5G plus stable dans un environnement encombré. Ici, un simple estimateur récursif est employé, comme indiqué sur l'équation ci-dessous :

$$\bar{P}_{r(US-5G)}(t) = [\delta \cdot \hat{P}_{r(US-5G)}(t)] + [(1 - \delta) \cdot \bar{P}_{r(US-5G)}(t - 1)] \quad (3.9)$$

Où, δ est le facteur de pondération [42,43].

c. Estimation de l'incertitude du rapport signal/bruit

L'estimation de l'incertitude du $\overline{RSB}_{(US-5G,UP-5G)}$ de la liaison entre deux nœuds l'UP-5G et l'US-5G est effectuée comme suit [42,43] :

$$\overline{RSB}_{(US-5G,UP-5G)}[dB] = \frac{\bar{P}_{r(US-5G)}}{P_{Noise}} \quad (3.10)$$

$$\overline{RSB}_{(US-5G,UP-5G)}[dB] = 10\log_{10}\left(\frac{\bar{P}_{r(US-5G)}}{P_{Noise}}\right) \quad (3.11)$$

$$\overline{RSB}_{(US-5G,UP-5G)}[dB] = \bar{P}_{r(US-5G)} [dB] - P_{Noise} [dB] \quad (3.12)$$

3.2.3. Modèle de détection locale d'un signal primaire 5G par énergie

Cette sous-section présente le modèle de détection locale du signal 5G par énergie, comme illustré à la figure 3.3.

La méthode de détection du spectre 5G ou de la station de base (ou UP-5G) est très simple, elle est divisée en deux phases : la détection locale du signal 5G et la détection coopérative du signal 5G. Pour ce projet, la détection locale du signal 5G autour de la fréquence 60 GHz est exploité. Cependant, on considère que l'US-5G dispose d'un détecteur d'énergie pour détecter le signal 5G afin d'identifier si l'UP-5G est présent ou absent dans la zone considérée. On peut le résumer comme suit [42,44]:

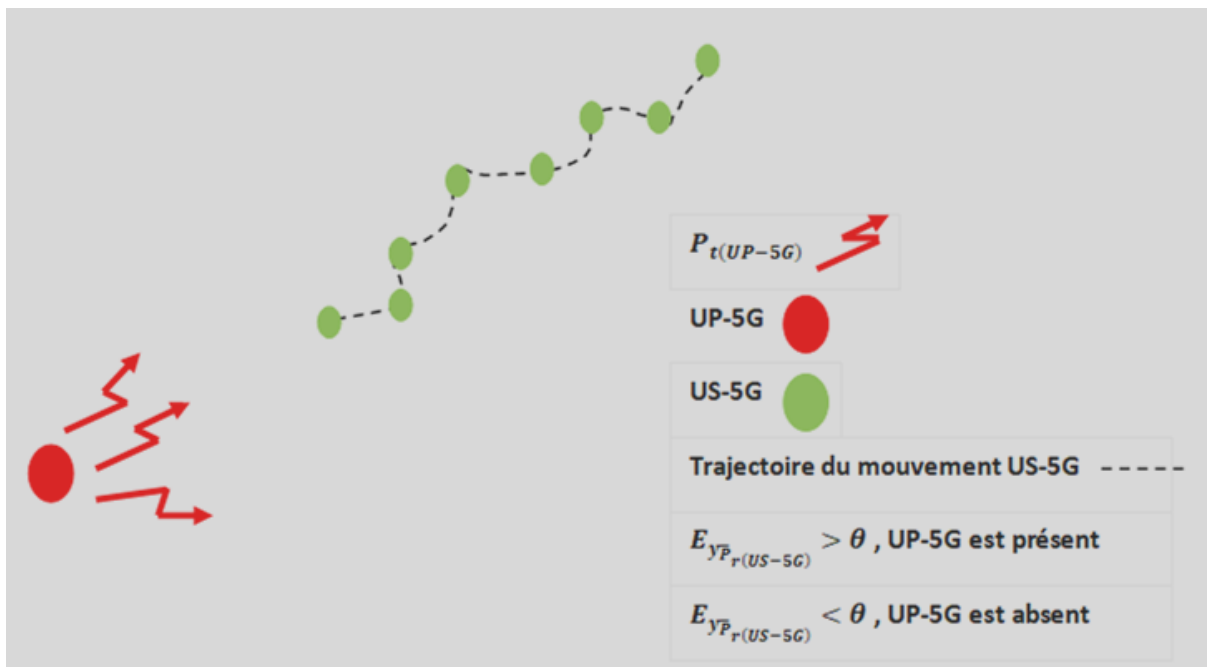


Figure 3.3. Modèle de détection locale du signal 60 GHz dans un R-5G.

- si l'UP-5G n'est pas disponible, la puissance estimée du signal reçu au niveau de l'US-5G est donnée par la formule suivante :

$$Y_{\bar{P}_{r(US-5G)}}(t) = N(t) \rightarrow H_0 \quad (3.13)$$

- si l'UP-5G est disponible, la puissance estimée du signal reçu au niveau de l'US-5G est donnée par la formule suivante :

$$Y_{\bar{P}_r(US-5G)}(t) = S_{P_t(UP-5G)}(t) + N(t) \rightarrow H_1 \quad (3.14)$$

Où $Y_{\bar{P}_r(US-5G)}(t)$ est la puissance estimée du signal reçu au niveau de l'US-5G, $S_{P_t(UP-5G)}(t)$ est le signal primaire 5G de l'UP-5G et $N(t)$ est le bruit blanc Gaussien additif (ou, AWGN). À partir de l'observation de $Y_{\bar{P}_r(US-5G)}(t)$, l'US-5G doit prendre une décision entre H_0 (UP-5G est non disponible) et H_1 (UP-5G est disponible).

Si l'on suppose que $E_{Y_{\bar{P}_r(US-5G)}}$ est l'énergie de $Y_{\bar{P}_r(US-5G)}(t)$, on peut l'exprimer par :

$$E_{Y_{\bar{P}_r(US-5G)}} = \left(\frac{1}{M}\right) \sum_{n=1}^M \left| Y_{\bar{P}_r(US-5G)_n} \right|^2 \quad (3.15)$$

Où $Y_{\bar{P}_r(US-5G)_n}$ indique un échantillon obtenu par la puissance estimée du signal reçu au niveau de l'US-5G et $M = 2TW$ est le nombre total d'échantillons. Alors, la puissance estimée du signal reçu au niveau de l'US-5G est détectée dans une largeur de bande W pendant un temps d'observation T .

En outre, l'énergie de sortie $E_{Y_{\bar{P}_r(US-5G)}}$ d'un détecteur d'énergie est répartie comme suit :

$$E_{Y_{\bar{P}_r(US-5G)}} = \begin{cases} E_{Y_{\bar{P}_r(US-5G)/H_0}} = \left(\frac{1}{M}\right) \sum_{n=1}^M |N_n|^2 \\ E_{Y_{\bar{P}_r(US-5G)/H_1}} = \left(\frac{1}{M}\right) \sum_{n=1}^M \left| S_{P_t(UP-5G)_n} + N_n \right|^2 \end{cases} \quad (3.16)$$

Il est possible d'écrire l'équation (3.19) comme suit :

$$E_{Y_{\bar{P}_r(US-5G)}} = \begin{cases} E_{Y_{\bar{P}_r(US-5G)/H_0}} = \chi_M^2 \\ E_{Y_{\bar{P}_r(US-5G)/H_1}} = \chi_M^2(2\gamma) \end{cases} \quad (3.17)$$

Où $\gamma = \overline{RSB}_{(UP-5G,US-5G)}[dB]$, χ_M^2 et $\chi_M^2(2\gamma)$ présentent les distributions du Chi-carré central et non-central, respectivement. M est le degré de liberté [42,44].

Les performances de détection du signal primaire 5G dans un R-5G sous un canal AWGN sont analysées par deux mesures : la probabilité de détection (PD) et la probabilité de fausse alarme (PFA), qui correspondent à [42,44]:

$$PD = Prob\left(E_{Y_{\bar{P}_r(US-5G)}} > \theta | H_1\right) = Q_M(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\theta}) \quad (3.18)$$

$$PFA = Prob\left(E_{Y_{\bar{P}_r(US-5G)}} > \theta | H_0\right) = \frac{\Gamma(M, \frac{\theta}{2})}{\Gamma(M)} \quad (3.19)$$

Où $\Gamma(\cdot)$ et $\Gamma(\cdot, \cdot)$ sont des fonctions gamma complètes et incomplètes, respectivement. $Q_M(\cdot, \cdot)$ est la fonction Q généralisée de Marcum et θ est le seuil de décision [42,45].

Cependant, la probabilité totale d'erreur de détection (ou PTED) d'un signal primaire à 60 GHz provenant de l'UP-5G est déterminée par l'équation suivante (3.20) [43,45] :

$$PTED = 1 - PD + PFA \quad (3.20)$$

3.3. Résultats des simulations et interprétations

3.3.1. Configuration de la simulation

Dans cette partie, des simulations informatiques ont été réalisées à l'aide du logiciel MATLAB R2017a. L'objectif de ce travail est d'évaluer et d'améliorer les performances de détection d'un UP-5G (ou signal primaire autour de la fréquence 60 GHz) en temps réel dans un R-5G, en tenant compte du fait que l'environnement du R-5G est congestionné, avec l'impact de la mobilité de l'US-5G pour trois scénarios proposés, voir le tableau 3.2. Les paramètres considérés dans nos expériences sont donnés dans le tableau 3.3 [46-48].

3.3.2. Résultats et interprétations

Dans ce travail, les premiers pas de nos expériences (voir la figure 3.1) visaient à estimer la puissance du signal reçu au niveau de l'utilisateur secondaire-5G (ou US-5G) ainsi que le rapport signal/bruit entre l'UP-5G et l'US-5G. Pour cela, il faut tout d'abord estimer la trajectoire de l'US-5G par rapport à un repère qui sera l'UP-5G, et ensuite la vitesse de l'US-5G en utilisant le GMMM.

	Modèle de propagation	Canal d'observation
Scénario (A)	Perte de trajectoire en espace libre	AWGN
Scénario (B)	Perte de trajectoire log-normal shadowing (n_{LOS})	AWGN
Scénario (C)	Perte de trajectoire log-normal shadowing (n_{NLOS})	AWGN

Tableau 3.2. Scénarios de détection locale du signal UP-5G (ou 60 GHz).

Paramètres	Valeurs
------------	---------

Couverture de la zone UP-5G	50 x 50 [m ²]
Fréquence utilisée	60 [GHz]
Puissance de transmission de l'UP-5G	15 [dBm]
Puissance du bruit au niveau de l'US-5G	-139 [dBm]
Exposant de perte de trajectoire	$n_{LOS} = 2.17$ et $n_{NLOS} = 3.01$
Distance de référence	1.0 [m]

Tableau 3.3. Paramètres de simulation considérés [46-48].

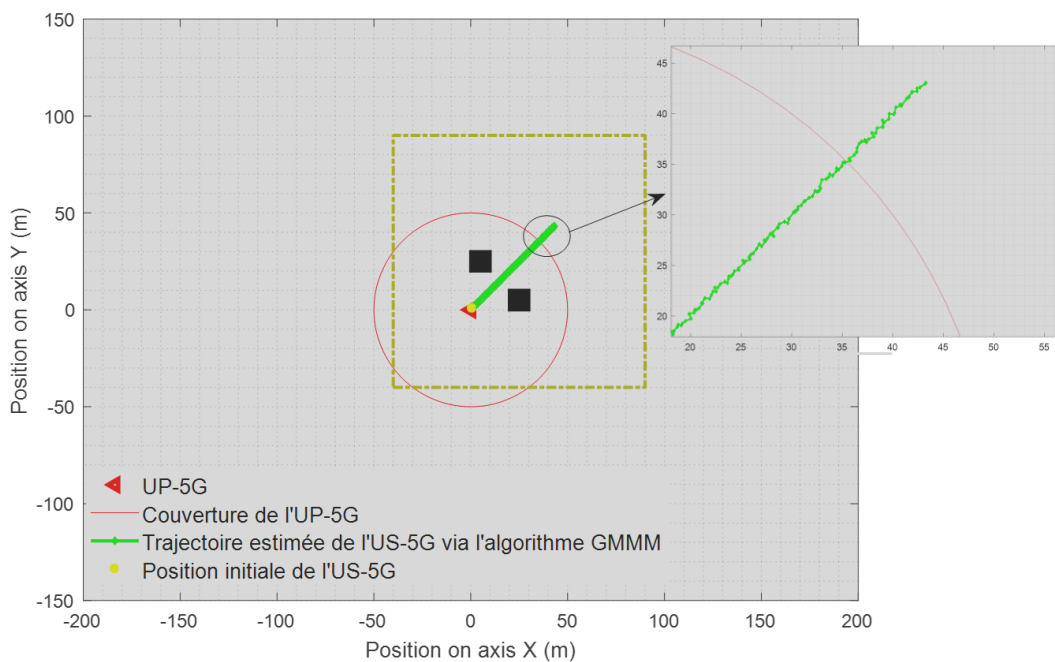


Figure 3.4. Trajectoire estimée de l'US-5G en utilisant l'algorithme GMMM.

La figure 3.4 illustre le mouvement de l'US-5G dans la zone de couverture de l'UP-5G pour les trois modèles de propagations proposées (consulter le tableau 3.2). L'US-5G commence son mouvement au point (0.7071, 0.7071) et se déplace pendant $t = 200$ s ; la distance d entre la position initiale de l'US-5G (le point jaune) et l'UP-5G (le triangle rouge) est de 1.0 m. En outre, pour effectuer ce mouvement, les paramètres de GMMM suivants ont été définis, à savoir l'intervalle de temps était de 1 s, $\alpha = 0.0075$, $\bar{V} = 0.3$ m/s et \bar{D} initialement 45° . Conformément à la figure 3.4, l'US-5G a été placé dans un environnement fermé de 130×130 [m²], comme l'indique le contour carré vert en pointillés, et les deux contours carrés noirs sont

considérés comme des obstacles dans un R-5G par rapport à l'US-5G. En outre, il est évident que l'US-5G suit une trajectoire semi-aléatoire (voir la partie zoom de la figure 3.4).

La figure 3.5 affiche la vitesse estimée de l'US-5G à l'aide de l'utilisation de l'algorithme GMMM. Cependant, la vitesse de déplacement par unité de temps d'un US-5G dans la zone de couverture d'un UP-5G est représentée sur la figure 3.5. De ce fait, on peut clairement constater que la vitesse diminue de $t = 1$ s avec $V = 1.21$ m/s jusqu'à $t = 108$ s avec $V = 0.3105$ m/s. De plus, on notera que du temps $t = 109$ s à $t = 200$ s, la vitesse moyenne de déplacement de l'US-5G est égale à 0.3050 m/s. En conséquence, la vitesse d'un US-5G reste relativement constante dans la période de 109 s à 200 s.

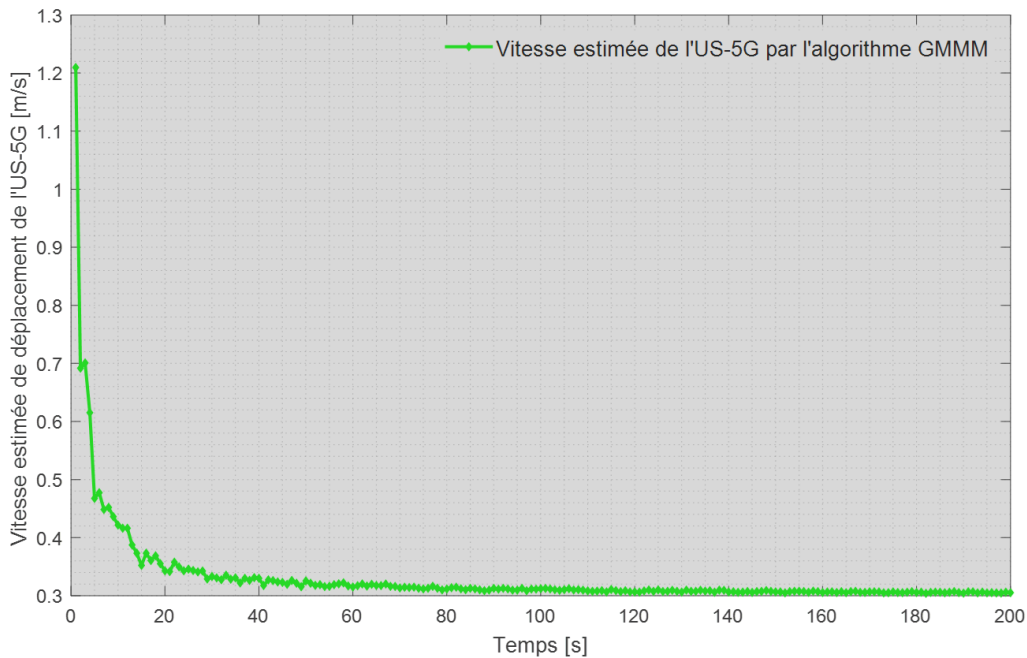


Figure 3.5. Vitesse estimée de déplacement de l'US-5G [m/s] en utilisant l'algorithme GMMM vs. Temps [s].

Sur les figures 3.6 et 3.7, on peut observer la puissance du signal reçu au niveau de l'US-5G et le lien du rapport signal/bruit entre l'UP-5G et l'US-5G, dans les trois scénarios proposés (consulter le tableau 3.2). La valeur de la puissance du signal reçu est évaluée à l'aide de l'algorithme proposé, comme le montre la figure 3.1 et la figure 3.2. Sur la figure 3.6, il est évident que lorsque l'US-5G se déplace vers l'extrémité de la zone de couverture du rayonnement, qui est éloignée de l'UP-5G, la puissance du signal reçu au niveau de l'US-5G est plus faible.

Durant cette étape un simple estimateur récursif (ou SER) est utilisé. De ce fait, on a examiné l'impact de la valeur appropriée de δ (delta) pour une estimation correcte de la puissance du signal reçu au niveau de l'US-5G ; on a constaté que δ est fortement lié à la variation de la puissance du signal. En outre, on peut clairement observer que les oscillations de la variation peuvent être considérées comme assez importantes lorsqu'aucune moyenne ne peut être prise en compte, c'est-à-dire lorsque la valeur de δ est égale à 1. En revanche, lorsque la valeur de δ est égale à 0,1, 0,02 et 0,009, l'estimation de la puissance du signal reçu au niveau de l'US-5G est absolument acceptable. Toutefois, il est important d'obtenir une meilleure stabilité. Pour atteindre cet objectif, on peut constater que si on applique le calcul de la moyenne avec une valeur de δ égale à 0,009, la valeur de la puissance du signal reçu au niveau de l'US-5G est moins sensible aux changements rapides des oscillations de la variation.

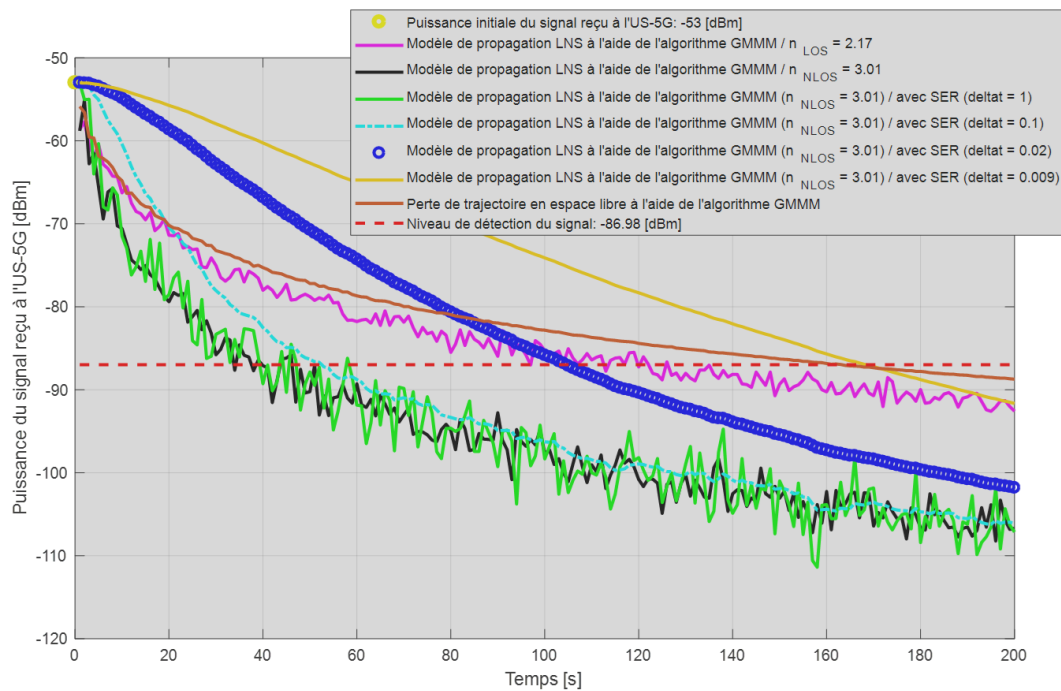


Figure 3.6. Puissance du signal reçu à l'US-5G [dBm] vs. Temps [s].

Selon l'étape 1 et 2 de l'algorithme proposé, il est possible d'évaluer le lien estimé du rapport signal/bruit entre l'UP-5G et l'US-5G, pour chaque position de l'US-5G.

Les résultats obtenus, illustrés sur la figure 3.7, permettent d'observer facilement que plus l'US-5G s'éloigne de l'UP-5G (consulter la figure 3.4), plus la puissance du signal reçu est faible au niveau de l'US-5G (voir la figure 3.6) ; le lien du rapport signal/bruit entre l'UP-5G et l'US-5G est également affaibli de manière significative. Comme dans la figure 3.6, on

constate que le lien estimé du rapport signal/bruit entre l'UP-5G et l'US-5G offre les meilleures performances quand la valeur de δ est égale à 0,009 (voir la figure 3.7).

Le but de cette phase est d'obtenir une valeur appropriée de δ , pour la meilleure estimation de la puissance du signal reçu au niveau de l'US-5G, et le lien du rapport signal/bruit entre l'UP-5G et l'US-5G. En fait, δ est fonction du paramètre d'ombrage σ . On peut remarquer que l'algorithme proposé est moins sensible aux variations rapides lorsqu'une moyenne $\delta = 0.009$ est appliquée. Par conséquent, il est important d'obtenir une estimation stable pour augmenter la fiabilité de la performance de détection du signal primaire autour de la fréquence 60 GHz (ou UP-5G).

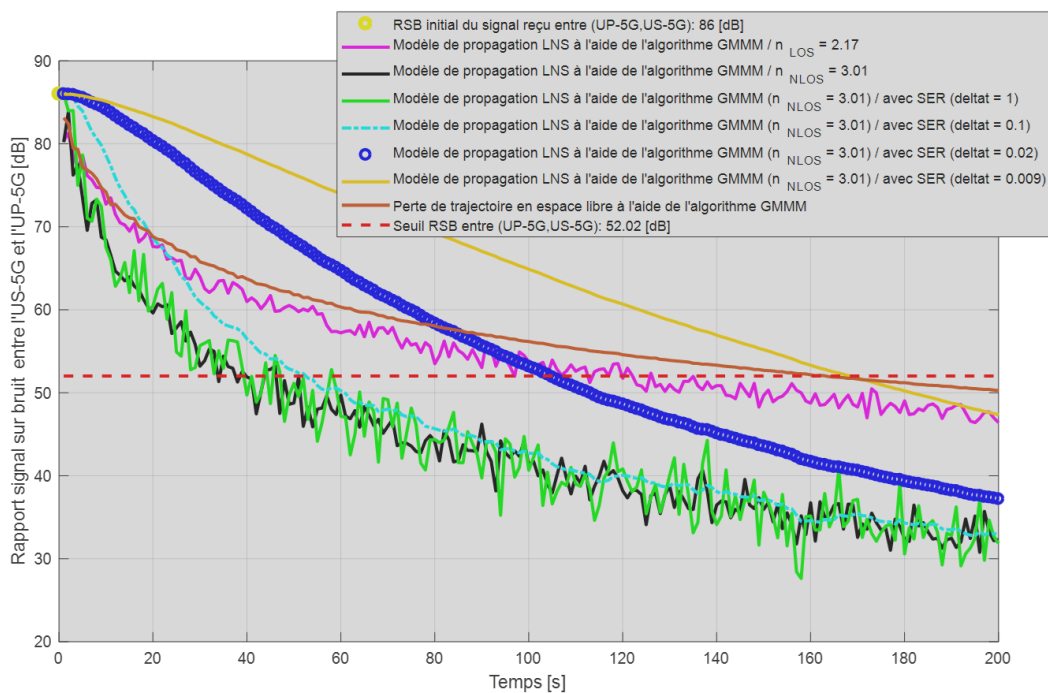


Figure 3.7. Rapport signal sur bruit entre l'US-5G et l'UP-5G [dB] vs. Temps [s].

Selon notre algorithme proposé, l'objectif de la deuxième phase est d'estimer la probabilité de détection. Les résultats obtenus pour la probabilité totale d'erreur de détection d'un signal primaire autour de la fréquence 60 GHz, sont présentés à la figure 3.8, dans le cas où l'US-5G se déplace dans la zone de couverture de l'UP-5G, pour les trois modèles de propagations proposées (voir le tableau 3.2). En outre, la PFA sélectionnée est de 10^{-06} .

a. Effet de la mobilité de l'US-5G sur les performances de détection d'un signal primaire 60 GHz

En fonction des résultats obtenus préalablement dans la première phase, on constate qu'il y a une nette influence sur les performances de détection d'un signal primaire 60 GHz dans les trois scénarios proposés (voir le tableau 3.2), consulter la figure 3.8 qui donne les résultats de la probabilité totale d'erreur de détection d'un signal primaire autour de la fréquence 60 GHz. Il convient de noter que lorsque le lien du rapport signal/bruit entre l'UP-5G et le US-5G se dégrade, la probabilité totale d'erreur de détection d'un signal primaire autour de la fréquence de 60 GHz est également accrue. Par conséquent, les performances de la détection par énergie du signal primaire (ou UP-5G) effectuée par l'US-5G peuvent également se dégrader considérablement.

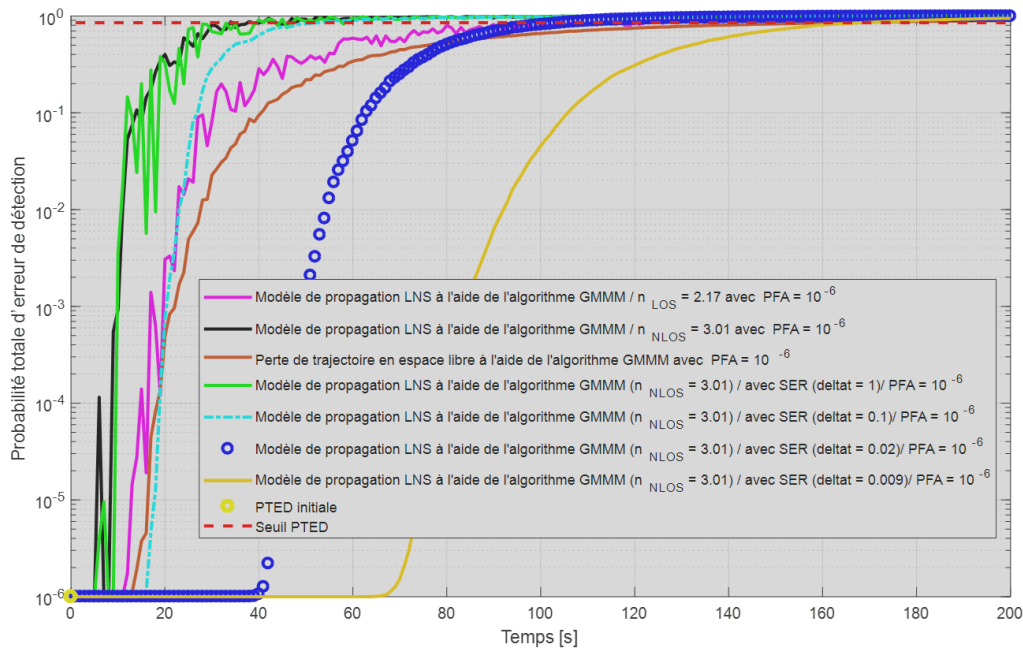


Figure 3.8. Probabilité totale d'erreur de détection (ou PTED) vs. Temps [s].

b. Effet de SER sur la performance de détection d'un signal primaire 60 GHz

La mobilité de l'US-5G dans un R-5G et la détection d'un signal primaire 60 GHz dans un environnement encombré (voir les trois modèles de propagations proposés dans le tableau 3.2), ont un impact remarquable dans le contexte de la détection du spectre 5G. Il est donc suggéré de se servir d'un simple estimateur récursif afin d'améliorer les performances de la détection d'un signal primaire 60 GHz (ou UP-5G).

L'analyse de test, en utilisant un simple estimateur récursif, a fourni quelques points forts pour l'algorithme proposé (voir la figure 3.1).

Dans le même contexte, les figures 3.6 à 3.8 illustrent l'impact du facteur de pondération δ sur la performance de détection, pour l'approche d'un détecteur d'énergie utilisé. On peut noter que les résultats de la simulation correspondent à notre objectif. Les performances de la détection d'un signal primaire à 60 GHz sont nettement améliorées dans un environnement encombré, et notamment pour le troisième modèle de propagation (voir le tableau 3.2). On a également noté que la variation du facteur de pondération δ avait un impact significatif positif sur la probabilité totale d'erreur de détection (voir les tableaux 3 et 4), ce qui vient confirmer l'importance de notre contribution aux R-5Gs.

En outre, il est clair, d'après la figure 3.8 et les tableaux 3.4 et 3.5, que la probabilité totale d'erreur de détection minimale a été obtenue dans le cas où le facteur de pondération δ est égal à 0,009. On a donc comparé les trois cas (c'est-à-dire la PTED pour les trois scénarios proposés dans le tableau 3.2) et la PTED estimée, avec $\delta = 0,009$.

δ	1 \Rightarrow	0.1 \Rightarrow	0.02 \Rightarrow	0.009
RSB (dB)	35.87 \Rightarrow	38.55 \Rightarrow	45.33 \Rightarrow	57.15
Seuil RSB (dB)	52.02	52.02	52.02	52.02
PTED	0.9963 \Rightarrow	0.9928 \Rightarrow	0.9665 \Rightarrow	0.5948
Seuil PTED	0.8529	0.8529	0.8529	0.8529

Tableau 3.4. Amélioration de la probabilité totale d'erreur de détection à $t = 139$ s, dans le troisième scénario.

À $t = 139$ s	RSB_(UP-5G,US-5G)	PTED
Scenarios (A)	53.37 dB	0.8046
Scenarios (B)	50.54 dB	0.8929
Scenarios (C)	34.34 dB	0.9973
Scenarios (C) amélioré / $\delta = 0.009$	57.15 dB	0.5948

Tableau 3.5. Comparaison des performances de détection d'un signal primaire de 60 GHz dans différents scénarios.

3.4. Conclusion

Le présent chapitre expose un algorithme efficace visant à améliorer les performances de détection d'un signal primaire en temps réel pour un R-5G, alors que l'impact environnemental et la mobilité de l'US-5G sont pris en compte. Toutefois, la fiabilité de détection a été évaluée à l'aide d'un simple estimateur récursif. D'après les résultats obtenus, on peut affirmer que les performances de notre contribution ont permis de stabiliser la puissance du signal reçu au niveau de l'US-5G dans un environnement encombré pour un R-5G, tout en obtenant une probabilité totale d'erreur de détection minimale d'un signal primaire 5G autour de la fréquence 60 GHz.

Conclusion générale

La normalisation et le développement récents des réseaux à ondes millimétriques (R-5G) représentent l'une des plus grandes avancées des communications LAN sans fil au cours des dernières décennies. Cependant, le basculement vers les ondes millimétriques impose de nouveaux problèmes de recherche [43,49]. Dans ce projet, on a quand même visé à étudier et évaluer les performances de l'algorithme proposé afin d'améliorer la détection du signal primaire 5G (ou UP-5G) autour de la fréquence de 60 GHz sous un canal d'observation de type AWGN dans un réseau 5G plus congestionné. En outre, le logiciel MATLAB 2017a a été mis en œuvre pour effectuer les simulations.

Les simulations de ce projet ont permis d'obtenir les résultats suivants :

1. On a conclu que l'utilisation de GMMM permet de générer une trajectoire semi-aléatoire pour l'US-5G, et ceci afin de rendre l'environnement du réseau 5G plus réaliste.
2. On a conclu également que la mobilité de l'US-5G avec une vitesse moyenne de 0.3050 m/s a un effet peu favorable sur la performance de détection du signal primaire 5G dans un réseau 5G et cela surtout dans le scénario le plus réaliste de ce projet, c'est-à-dire le scénario (c). Cependant, les performances qui vérifient l'influence de la mobilité de l'US-5G sont les suivantes : le rapport du signal reçu sur bruit estimé entre l'US-5G et l'UP-5G et la probabilité totale d'erreur de détection (ou PTED).
3. En outre, il a été conclu que, l'algorithme sur lequel on s'est appuyé emploie un simple estimateur récursif avec un facteur de pondération de 0.009 fournit d'excellents résultats. En revanche, Le détecteur d'énergie employé dans ce projet a été sélectionné car il offre de bonnes performances lorsque les valeurs du rapport signal/bruit reçu estimées entre l'US-5G et l'UP-5G sont très importantes.

Dans le cadre de travaux futurs, un autre axe de recherche est possible : il s'agit de l'augmentation de la capacité de détection du signal primaire 5G autour de la fréquence 60 GHz en intégrant la technique MIMO massive dans notre application proposée. En effet, l'augmentation du nombre d'antennes Tx et Rx peut garantir la détection du signal primaire de la 5G avec une très grande précision, mais le désavantage le plus connu est la consommation d'énergie.

Références Bibliographiques

- [1] M. A. Azzahra and Iskandar, "Performance of 60 GHz Millimeter-Wave Propagation in Indoor Environment," *2018 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISESD.2018.8605447.
- [2] S. Yong, A. Garcia and P. Xia, "60 GHz technology for Gbps WLAN and WPAN," Chichester, West Sussex:Wiley, 2011.
- [3] T. Nitsche, C. Cordeiro, A. B. Flores, E. W. Knightly, E. Perahia and J. C. Widmer, "IEEE 802.11ad: directional 60 GHz communication for multi-Gigabit-per-second Wi-Fi [Invited Paper]," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 12, pp. 132-141, December 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6979964.
- [4] E.R. ANWAR, " Caractérisation à grande échelle d'un signal 60 GHz dans un environnement minier confinés," PFE pour l'obtention du grade de Maître en ingénierie (M.I.), à l'Université de Québec en Abitibi-Témiscamingue, 2012.
- [5] A.D. Oliver, "Millimeter wave systems – past, present and future," *IEE Proceedings*, 136(1), pp. 35–52, 1989.
- [6] Yong, S.K., Chong, CC. "An Overview of Multigigabit Wireless through Millimeter Wave Technology: Potentials and Technical Challenges," *J Wireless Com Network* 2007, 078907 (2006). <https://doi.org/10.1155/2007/78907>
- [7] FCC First Report and Order, 2002. http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-02-48A1.pdf
- [8] C. Chong, F. Watanabe and H. Inamura, "Potential of UWB Technology for the Next Generation Wireless Communications," *2006 IEEE Ninth International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, 2006, pp. 422-429, doi: 10.1109/ISSSTA.2006.311807.
- [9] Wireless High-Definition (WirelessHD), 2008. <http://www.wirelesshd.org/>
- [10] IEEE 802.15, "WPAN Millimeter Wave Alternative PHY Task Group 3c (TG3c)," 2005. <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3c.html>
- [11] ECMA TC48, "High rate short range wireless communication," 2006. <http://www.ecmainternational.org/memento/TC48-M.htm>
- [12] IEEE 802.11, "Very High Throughput (VHT) Study Group," 2008. http://www.ieee802.org/11/Reports/vht_update.htm
- [13] Wireless Gigabit Alliance (WiGig), 2009 <http://wirelessgigabitalliance.org/news/wigigalliance-publishes-multi-gigabit-wireless-specification-and-launches-adopter-program/>

- [14] WirelessHD, "The first 60 GHz standard now available in consumer electronics products worldwide," 2009. <http://www.wirelesshd.org>
- [15] FCC Code of Federal Regulation, *Code of Federal Regulation title 47 Telecommunication, Chapter 1, part 15.255*, October, 2004.
- [16] Spectrum Management and Telecommunications, *Radio Standard Specification-210, Issue 6, Low-power Licensed-exempt Radio Communication Devices (All Frequency Bands): Category 1 Equipment*, September, 2005.
- [17] Regulations for Enforcement of the Radio Law 6-4-2 Specified Low Power Radio Station (12) 59–66 GHz band.
- [18] MPT, "Specified low power radio station 10," Millimeter wave transmission. *MPT Bulletin*, mo. 42/1989, 1989.
- [19] Ordinance for Regulating Radio Equipment 49-14-6 Specified Low Power Radio Station.
- [20] Ministry of Internal Affairs and Communications. <http://www.soumu.go.jp/english/index.html>
- [21] Australian Communications and Media Authority (ACMA), "*Radiocommunications (Low Interference Potential Devices)*," *Class License Variation 2005 (No. 1)*, August, 2005.
- [22] Australian Communications and Media Authority (ACMA) <http://www.acma.gov.au>
- [23] Korean Frequency Policy & Technology Workshop, Session 7, pp. 13–32, November, 2005.
- [24] Ministry of Information and Communication of Korea, *Frequency Allocation Comment of 60 GHz Band*, April, 2006.
- [25] Korean Communications Commission <http://www.kcc.go.kr>
- [26] CEPT Recommendation T/R 22-03, "*Provisional Recommended Use of the Frequency Range 54.25-66 GHz by Terrestrial Fixed and Mobile Systems*," Athens, pp. 1–3, January, 1990. <http://www.ero.dk/documentation/docs/doc98/official/pdf/TR2203E.PDF>
- [27] ERC Recommendation 12-09, "*Radio Frequency Channel Arrangement for Fixed Service Systems Operating in the Band 57.0–59.0 GHz Which Do Not Require Frequency Planning*," *The Hague 1998 revised Stockholm*, October, 2004.
- [28] ECC Recommendation 05-02, "*Use of the 64–66 GHz Frequency Band for Fixed Services*," June, 2005.

- [29] ETSI DTR/ERM-RM-049, "*Electromagnetic Compatibility and Radio Spectrum Matters (ERM): System Reference Document: Technical Characteristics of Multiple Gigabit Wireless Systems in the 60 GHz Range*," March, 2006.
- [30] ERC Recommendations 70-03, 1997. <http://www.erodocdb.dk>
- [31] European Radiocommunications Office. <http://www.ero.dk>.
- [32] H. D. Hristov, J. R. Urumov and M. J. Semov, "Ring-Shaped Dielectric Antenna," *1980 10th European Microwave Conference*, 1980, pp. 109-113, doi: 10.1109/EUMA.1980.332815.
- [33] A. CHOUMANE, "Synthèse d'un canal de propagation par système multi-antennes pour la caractérisation de terminaux mobiles à diversité," Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de LIMOGES, 2011.
- [34] L. Boithias, "Radio wave propagation," Éditeur : McGraw-Hill (1 mars 1988), ISBN-13 : 978-0070064331.
- [35] M. Schwartz, "Principles of electrodynamics," Publisher : Dover Publications; unknown edition (October 1, 1987), ISBN-13 : 978-0486654935.
- [36] A. Fatma, et K. Fatma-Zohra, " Etude et simulation d'un modèle de canal de propagation sans fil dans un environnement Indoor," M-PFE pour obtenir le grade de Master en ELN, option : TISE, à l'université de BLIDA, 2014.
- [37] N. Prayongpun , "Modélisation et étude de la capacité du canal pour un système multi-antennes avancé exploitant la diversité de polarisation," Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de JOSEPH FOURIER – GRENOBLE 1, 2009.
- [38] J. Ali, "Modélisation et émulation des canaux de propagation des systèmes MIMO," Mémoire de maîtrise électronique, Montréal, École de technologie supérieure, 2004.
- [39] Y.S. Cho, J. Kim, W.Y. Yang, and C.G. Kang, "MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB," Wiley Publishing, 2010.
- [40] Tracy C, Jeff B, Vanessa D. A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research. *Wireless Communication & Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile AdHoc Networking: Research, Trends and Applications 2002*; 2:483–502.
- [41] Feng G, Shengjun X. A comparative study of mobility models in the performance evaluation of MCL. *IEEE Wireless and Optical Communication Conference*; 1999. p. 288-92.

- [42] H.E. Adardour et al., Improved local spectrum sensing in cluttered environment using a simple recursive estimator, *Computers and Electrical Engineering* (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.11.037>
- [43] B. Othmane et B.A. Adnane, "Estimation d'un signal primaire dans un réseau 5G par un utilisateur secondaire à base d'un détecteur d'énergie," PFE pour l'obtention du grade de Master en Télécommunications à l'Université de Tlemcen, 2020.
- [44] Adardour, H.E., Meliani, M. & Hachemi, M.H. Estimation of the Spectrum Sensing for the Cognitive Radios: Test Analysing Using Kalman Filter. *Wireless Pers Commun* 84, 1535–1549 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11277-015-2701-y>
- [45] H.E. Adardour, & S. Kameche, "Predicting the primary signal sensing for cognitive radio users using an alpha-beta filter," In IEEE proceeding of the 5th international conference on electrical engineering: Boumerdes, Algeria, 2017. <https://doi.org/10.1109/icee-b.2017.8191969>
- [46] S. Sun et al., "Investigation of Prediction Accuracy, Sensitivity, and Parameter Stability of Large-Scale Propagation Path Loss Models for 5G Wireless Communications, " in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 5, pp. 2843-2860, May 2016, doi: 10.1109/TVT.2016.2543139.
- [47] K. Joongheon, L. Jae-Jin, & L. Woojoo, "Strategic Control of 60 GHz Millimeter-Wave High-Speed Wireless Links for Distributed Virtual Reality Platforms," in *Hindawi, Mobile Information Systems*, Volume 2017, Article ID 5040347, 10 pages. <https://doi.org/10.1155/2017/5040347>
- [48] Z. Zhang, & H. Yu, "Beam interference suppression in multi-cell millimeter wave communications," in *Digital Communications and Networks*, vol. 5, no. 3, 2019, pp. 196-202, .<https://doi.org/10.1016/j.dcan.2018.01.003>.
- [49] J. G. Andrews, T. Bai, M. N. Kulkarni, A. Alkhateeb, A. K. Gupta and R. W. Heath, "Modeling and Analyzing Millimeter Wave Cellular Systems," in *IEEE Transactions on Communications*, vol. 65, no. 1, pp. 403-430, Jan. 2017, doi: 10.1109/TCOMM.2016.2618794.

Résumé

La bande d'ondes millimétriques (ou mmWave) de 60 GHz est une bande de spectre sans licence qui peut être utilisée pour la communication par réseau local sans fil (WLAN) à courte portée. Elle offre de nombreux avantages. Cependant, la principale différence dans le comportement de propagation du signal à la fréquence de 60 GHz réside dans l'augmentation de l'atténuation.

En conséquence, dans ce projet, on propose un algorithme qui sert à améliorer la détection du signal primaire transmis par une station de base 5G (ou UP-5G) autour de la fréquence de 60 GHz dans un environnement fermé avec des obstacles fixes. En outre, l'algorithme proposé dans ce travail se base sur la performance de la détection en fonction de l'énergie (on installe un détecteur d'énergie sur un utilisateur secondaire 5G (ou US-5G)) et l'estimation du signal primaire 5G est effectuée par un simple estimateur récursif (ou SER). Enfin, les performances de cet algorithme proposé dans ce projet sont évaluées à l'aide de simulations et de résultats utilisant le logiciel MATLAB 2017a.

Mots clés : mmWave, 5G, UP-5G, US-5G, Détecteur d'énergie, SER.

المخلص

النطاق الموجي 60 جيجا هرتز ملليمتر أو (مم موجة) هو نطاق طيف بدون الترخيص الذي يمكن استخدامه لاتصالات الشبكة المحلية اللاسلكية قصيرة المدى (WLAN). يقدم العديد من المزايا. ومع ذلك، فإن الاختلاف الرئيسي في سلوك انتشار الإشارة عند التردد 60 GHz هو زيادة التوهين. وفقاً لذلك، في هذا المشروع، تم اقتراح خوارزمية تعمل على تحسين اكتشاف الإشارة الأولية المرسله بواسطة محطة قاعدة 5 G أو (UP-5G) حول تردد 60 جيجا هرتز في بيئة مغلقة حيث توجد عوائق ثابتة. بالإضافة إلى ذلك، تعتمد الخوارزمية المقترحة في هذا العمل على أداء الكشف كدالة للطاقة (يتم تثبيت كاشف الطاقة على مستخدم ثانوي 5 G أو US 5G) ويتم تقدير الإشارة الأولية 5 G بواسطة مقدر تعاودي بسيط) أو (SER). أخيراً، يتم تقييم أداء هذه الخوارزمية المقترحة في هذا المشروع باستخدام المحاكاة والنتائج باستخدام برنامج MATLAB 2017a

الكلمات الرئيسية: مم موجة، 5 G, المستخدم الأساسي 5 G, المستخدم الثانوي 5 G, كاشف الطاقة، SER

Abstract

The 60 GHz millimeter wave band (or mmWave) is an unlicensed spectrum band that can be used for short range wireless local area network (WLAN) communication. It offers many advantages. However, the main difference in the signal propagation behavior at the 60 GHz frequency is the increased attenuation. Accordingly, in this project, an algorithm is proposed that serves to improve the detection of the primary signal transmitted by a 5G base station (or UP-5G) around the frequency of 60 GHz in a closed environment where there are fixed obstacles. . In addition, the algorithm proposed in this work is based on the performance of the detection as a function of energy (we install an energy detector on a 5G secondary user (or US 5G)) and the estimation of the 5G primary signal is performed by a simple recursive estimator (or SER). Finally, the performances of this algorithm proposed in this project are evaluated using simulations and results using the MATLAB 2017 software.

Keywords : mmWave, 5G, UP-5G, US-5G, Energy detector, SER.