

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira Bejaia -Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique



جامعة بجاية
Tasdawit n Bgayet
Université de Béjaïa

Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention d'un master professionnel

Option : Administration et sécurité des réseaux

Thème

Intégration de la technologie Wi-Fi 7 dans les systèmes AAL
(Ambient Assisted Living)

Présenté par :
M^r HAMMANI Walid

Devant le jury composé de :

M ^r MOHAND MOKETFI	MCB	Président
M ^r MOHAND YAZID	Professeur	Encadreur
M ^{elle} SOUHILA MAMMERI	MCB	Encadreur
M ^{elle} KENZA HOCINI	MAB	Examinatrice

Année Universitaire 2023/2024

Remerciements

Je voudrais d'abord remercier mes encadrants, Mr. YAZID et M. MAM-MERI, pour leur temps précieux ainsi que leurs aides précieuses, sans quoi ce projet n'aurait abouti ainsi.

Je voudrais également remercier le président du jury, Mr. MOKETFI, ainsi que l'examinatrice M.HOCINI pour leur présence honorable et leur engagement à ce mémoire.

Aussi, je voudrais remercier M. HOUHA, qui m'a été personnellement d'une grande inspiration et l'une des raisons de ma motivation à vouloir finir mon parcours universitaire en y fournissant un vrai effort

Mes remerciements s'étendent évidemment aux amis et aux collègues qui ont soutenu et/ou aidé tout au long de mon parcours professionnel ou personnel à ce jour.

Je souhaiterais évidemment remercier mes parents, mon grand frère, mon petit frère et ma petite sœur, sans quoi je serais sûrement pas ce que je suis aujourd'hui.

HAMMANI Walid

Dédicaces

Â ma famille, qui m'est plus chère que tout or au monde
Merci de m'avoir soutenu jusqu'à présent, vous avez été plus que
quiconque une des raisons que je suis au stade que je suis aujourd'hui et
ce travail n'aurait jamais pu aboutir sans vous. Merci

Â mes amis qui m'ont encouragé à suivre ce chemin, j'espère que l'on
continuera de suivre ce chemin ensemble jusqu'au bout.

Â mes enseignants et mentors qui m'ont éduqué, que ce soit dans le
domaine scolaire, professionnel et autre, je vous remercie pour tous les
efforts que vous avez fournis pour moi et mes camarades, du premier au
dernier.

Et si jamais j'ai oublié quelqu'un, je vous le dis tout de même :
Merci.

HAMMANI Walid

Table des matières

Table des figures

Liste des abréviations

Introduction générale

1	Chapitre 1 : Évolution des réseaux Wi-Fi	12
1.1	Introduction	13
1.2	Présentation du Wi-Fi	13
1.3	L'évolution du Wi-Fi	13
1.3.1	Les Bandes de fréquence	13
1.3.2	Technologies de modulation	14
1.3.2.1	FHSS	14
1.3.2.2	DSSS	14
1.3.2.3	HR-DSSS	14
1.3.2.4	OFDM	15
1.3.3	Technologie Multiantennes	15
1.3.3.1	La technologie MIMO	15
1.3.3.2	La technologie D-MIMO	15
1.3.4	Méthode d'accès au canal	16
1.3.4.1	DCF (Distributed Coordination Function)	16
1.3.4.2	PCF	16
1.3.4.3	HCF	17
1.4	Le Wi-fi 7	19
1.4.1	Les améliorations du Wi-fi sur la couche physique	19
1.4.1.1	4K QAM	19
1.4.1.2	Multiple RUs (MRU)	20
1.4.1.3	Multi Link Operation (MLO)	20
1.4.1.4	Regroupement des canaux 160 MHz en 320 MHz	21
1.4.1.5	MU-MIMO	21
1.4.1.6	OFDMA	21
1.4.2	Les améliorations du Wi-fi sur la couche MAC	23

1.4.2.1	UORA	23
1.4.2.2	Méthode d'accès multicanaux statique et dynamique	24
1.5	Conclusion	24
2	Chapitre 2 : État de l'art sur le Wi-Fi 7 et les systèmes AAL	25
2.1	Introduction	26
2.2	Les systèmes AAL	26
2.2.1	Présentation des systèmes AAL	26
2.2.2	Présentation des IoT	26
2.2.2.1	C'est quoi un IoT	26
2.2.2.2	Architecture des IoT	26
2.2.2.3	Domaine d'applications des IoT	27
2.2.2.4	Utilisation des Systèmes AAL orienté IoT	27
2.2.3	Exemples de systèmes AAL	28
2.2.4	Exigences de systèmes AAL	29
2.2.4.1	Autonomie	29
2.2.4.2	Intimité	29
2.2.4.3	Haut débit	29
2.2.4.4	Fiabilité	29
2.2.5	Avantages des systèmes AAL	29
2.2.6	Intégration du Wi-Fi 7 dans les systèmes AAL	30
2.3	Les travaux de recherches sur le Wi-Fi sur les systèmes AAL	31
2.4	Conclusion	36
3	Chapitre 3 : Proposition et évaluation de performance	37
3.1	Introduction	38
3.2	Problématique et motivation	38
3.3	Proposition	39
3.4	Implémentation, Simulation et Évaluation de performances	43
3.4.1	Langage de programmation	43
3.4.2	Métriques de performances et paramètres de simulation	43
3.5	Évaluation de performances et analyse des résultats	45
3.5.1	L'impact du nombre du RU aléatoire sur le délai d'attente	45
3.5.2	L'impact du nombre du RU aléatoire sur la fiabilité	48
3.5.3	L'impact du nombre du RU aléatoire sur le débit	49
3.6	Conclusion	52
	Conclusion Générale	
	Résumé/Abstract	

Table des figures

1	Technologies primaires de la couche PHY du Wi-Fi 7	13
2	Illustration du FHSS	14
3	Illustration du DSSS	14
4	Illustration du MIMO	15
5	Illustration de D-MIMO	16
6	Exemple d'une supertrame	17
7	Le mécanisme d'interrogation utilisé dans PCF [9]	17
8	Catégories d'accès et leur priorités [12]	18
9	Paramètres de contention des catégories d'accès	18
10	Exemple de EDCA	19
11	Différence entre les versions du QAM entre le Wi-Fi 6 et Wi-Fi 7	20
12	Exemple de MLO	20
13	Illustration de la différence entre 160 Mhz et 320 Mhz	21
14	Différents types de RU dans une chaîne 20 MHz	21
15	Exemple d'une Trigger Control Frame	22
16	Bandwidth + Timeout BA [11]	23
17	Un exemple d'une opération UORA	24
18	Différents types de domaines d'application des IoT	28
19	Formule de calcul de P_R^uU et P_R^eU	31
20	Procédures de l'algorithme Zhaozhe Jiang et al.	33
21	Formule déterministe de la priorité d'une station i	34
22	Organigramme de la méthode de Y. Ahmad Qadri et al.	34
23	Formule de calcul de contrôle OBO	35
24	Procédures du schéma de Y.Kim et al. [7]	35
25	Organigramme de UORA	40
26	UORA sans QoS	41
27	Organigramme de UORA avec QoS	42
28	E-UORA	43
29	Organigramme de E-UORA	44
30	Délai d'attente BK Versus le nombre de RA-RUs	46
31	Délai d'attente VI Versus le nombre de RA-RUs	46
32	Délai d'attente BK + VI Versus le nombre de RA-RUs	47
33	Fiabilité BK Versus le nombre de RA-RUs	48
34	Fiabilité VI Versus le nombre de RA-RUs	48
35	Fiabilité VI + BK Versus le nombre de RA-RUs	49
36	Débit BK Versus le nombre de RA-RUs	50
37	Débit VI Versus le nombre de RA-RUs	50
38	Débit BK + VI Versus le nombre de RA-RUs	51

Liste des tableaux

1	Paramètres des différentes catégories d'accès (ACs).	39
2	Paramètres PHY et MAC de IEEE 802.11be	39

Liste des abréviations

2-DPSK : 2-ary Differential Phase Shift Keying
4-DPSK : 4-ary Differential Phase Shift Keying
2-GFSK : 2-ary Gaussian Frequency Shift Keying
4-GFSK : 4-ary Gaussian Frequency Shift Keying
QAM : Quadrature Amplitude Modulation
AP : Access Point
A-MPDU : Aggregated-Medium Access Control Protocol Data Unit
A-MSDU : Aggregated-Medium Access Control Service Data Unit
BSSID : Basic Service Set Identifier
CCK : Complementary Code Keying
CFB : Contention Free Bursting
COFtextbfDM : Convolutif Code Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CP : Contention Period
CSMA/CA : Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CW : Contention Window
DIFS : Distributed Coordination Function Inter-Frame Space
DL MU-MIMO : Down Link Multi User Multiple-Input Multiple Output
DMA : Dynamic Multichannel Access
DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum
ESS : Extended Service Set
ESSID : Extended Service Set Identifier
FCS : Frame Check Sequence
FDM : Frequency Division Multiplexing
FHSS : Frequency Hopping Spread Spectrum
FSK : Frequency Shift Keying
HR-DSSS : High Rate-Direct Sequence Spread Spectrum
IBSS : Independent Basic Service Set
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISM : Industrial, Scientific and Medical
IR : Infra-Red
MAC : Medium Access Control
MIMO : Multiple Input Multiple Output
MSDU : Medium Access Control Service Data Unit
OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI : Open Systems Interconnection

PIFS : Point Coordination Function Inter-Frame Space
PLCP : Physical Layer Convergence Protocol
PMD : Physical Medium Dependent
PPDU : Physical Convergence Procedure Protocol Data Unit
PSK : Pre Shared Key
QPSK : Quadrature Phase Shift Keying
RTS/CTS : Request To Send/Clear To Send
SSID : Service Set Identifier
TXOP : Transmission Opportunity
Wi-Fi : Wireless Fidelity
IOT : Internet of Things
UORA : Uplink OFDMA Random Access
E-UORA : Enhanced Uplink OFDMA Random Access
RU : Resource unit
TF : Trigger frame

Introduction générale

L'Internet des Objets IoT pour Internet of Thing est une technologie qui compte changer notre manière d'interagir dans le monde du quotidien. Il s'agit de dispositifs connectés à Internet pour pouvoir communiquer et partager des données (que ce soit acquises ou fabriquées) pour un but précis. Ce concept offre plusieurs possibilités dans tout domaine confondu. La technologie a avancé à une vitesse fulgurante ses dernières décennies dans un grand nombre de domaines tels que le domaine de l'environnement et la durabilité, le domaine de l'éducation et de la pédagogie, le domaine de l'art et de la culture, le domaine de la science de la santé et médecine (le domaine qui nous intéresse) etc.

Jusqu'à l'heure actuelle, un bon nombre de personnes n'ont pas la capacité d'accéder à ces technologies, que ce soient pour des raisons physiques (Incapacité de déplacement, âge) ou pour d'autres raisons, notamment durant la pandémie de 2020, qui a immobilisé toute la planète à leurs maisons. Grâce à IoT, il est possible à ces personnes d'accéder à un moyen plus facile de subvenir à leur besoins indépendamment de leur localisation et bien plus encore. L'un de ces besoins, qui est visé aux personnes malades ou handicapés, est le besoin médical sans devoir faire tout un aller vers un hôpital, aussi proche soit-il. Cet portion de l'IoT sont nommé les systèmes AAL ; des IoT capables d'utiliser les données fournies dans leurs environnements et de les transmettre vers Internet pour un but médical. Le problème avec les systèmes AAL, c'est que ces données doivent être transmises vers Internet en un temps quasi neutre. C'est là où intervient la technologie Wi-Fi 7 pour Wireless Fidelity de 7^{ème} génération, et qui promet une vitesse assez grande pour annihiler cet inconvénient.

La norme WiFi 7 connue également sous l'appellation IEEE 802.11be EHT : Extremely High Throughput est considérée comme celle qui répond au mieux au contexte de l'IoT. En effet, elle offre des fonctionnalités inédites telles que la transmission multicanaux à travers des unités de ressources ou OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) en permettant des communications multiutilisateurs simultanées, la transmission multi-antennes distribuée ou D-MIMO (Distributed MIMO), la transmission sur de multiples unités de ressources ou MRU (Multiple RU), et la possibilité de fonctionnement sur une liaison multi-bandes (2.4, 5 et 6 GHz) ou MLO (Multi-Link Operation).

Cependant, pour profiter pleinement des spécificités du WiFi 7 dans le contexte des systèmes AAL, des ajustements et des adaptations protocolaires devraient être apportés. En effet, dans le cas d'applications de l'Internet des objets au service de la santé, des valeurs optimales pour certaines métriques de qualité de service ou QoS pour Quality of Service, telles que le débit, la latence et fiabilité doivent être garanties. Dans ce contexte, nous cherchons à optimiser le fonctionnement de la connexion sans fil WiFi, en particulier la technique OFDMA opérant dans le mode d'accès aléatoire ou RA pour Random Access dans le cas de transmission descendante ou UL pour Uplink, Il s'agit de prendre en considération la Qualité de service qui n'a jamais été implémentée dans le fonctionnement de OFDMA et dont le problème principal dans son implémentation revient à la limitation des durées des transmissions Uplink et DownLink qui sont organisées en cycles. Par conséquent, les classes de trafic ou stations prioritaires comme la vidéo et la voix ne peuvent y profiter à transmettre plusieurs trames de données en rafale durant le temps TXOPLimit tout en sachant que TXOPLimit est un paramètre prometteur pour garantir la QoS dans les réseaux WiFi.

C'est dans ce contexte que nous avons proposé une amélioration du fonctionnement de la technique UL OFDMA RA, ou UORA, que nous avons nommé E-UORA pour Enhanced UORA. Plus précisément, dans E-UORA, nous avons considéré deux types de trafics de deux niveaux de priorité différents, une classe prioritaire et une classe moins prioritaire, à savoir la vidéo (VI) et BestEffort (BE), respectivement. Lorsqu'une classe de trafic prioritaire gagne l'accès à une RU durant la phase de contention, c'est à dire lorsque la valeur de son BackOff est nulle ou négative, E-UORA lui offre l'opportunité de rechercher à gagner de nouvelles RU parmi les RUs qui sont libres pour justement permettre la transmission en rafale de plusieurs trames de données vidéo simultanément sur de multiple RU, ce qu'on peut appeler ainsi la transmission en rafale verticale.

Ce mémoire de fin d'étude est organisé en trois chapitres comme suit :

- Le premier chapitre intitulé "Évolution des réseaux Wi-fi" consiste à expliquer qu'est-ce que le Wi-Fi, son fonctionnement et son évolution au fil des années depuis WiFi Legacy jusqu'au Wi-Fi 7.
- Le second chapitre intitulé "État de l'art sur le Wi-Fi 7 et les systèmes AAL" consiste à expliquer les systèmes AAL, pourquoi implémenter le Wi-Fi 7 dans les systèmes AAL et les travaux concernant l'implémentation du Wi-Fi dans les systèmes AAL.
- Le troisième chapitre intitulé "Proposition et évaluation de performance" sera une étude sur la méthode d'accès UORA, une proposition d'une amélioration de UORA, évaluation de performance et analyse les résultats d'étude des deux méthodes.

1 Chapitre 1 : Évolution des réseaux Wi-Fi

1.1 Introduction

Il y a quelque décennies, une technologie qui peut nous paraître banale de nos jours a vu le jour et a changé l'industrie de l'informatique au grand public : La technologie du réseau sans fil Wi-fi qui a permis au monde de communiquer sans la restriction de fils . Elle est apparu en 1997 sous le standard 802.11 qui décrivait deux couches du modèle OSI (Open Systems Interconnection) : La couche physique (PHY) et la couche de contrôle d'accès au médium (MAC)

Nous verrons dans ce chapitre de quoi parler le standard IEEE 802.11 dans les deux couches du modèle OSI. On verra aussi son évolution au fil des années de 1997 a de nos jours ainsi que le but de chaque évolution.

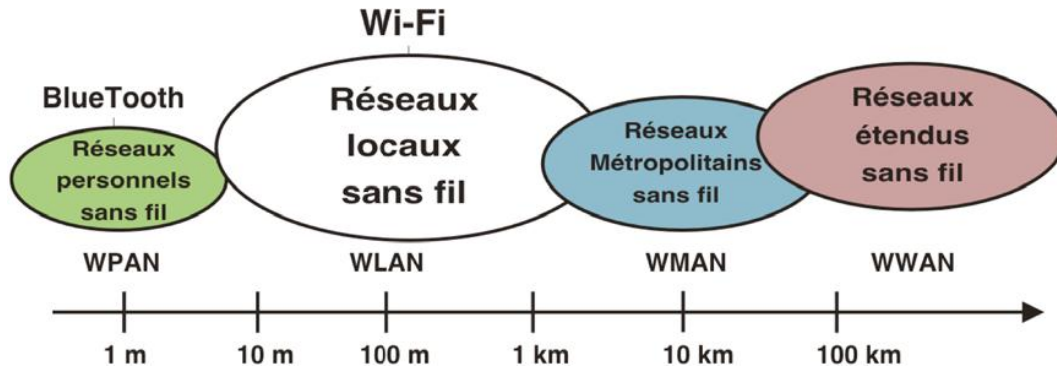


FIGURE 1 – Technologies primaires de la couche PHY du Wi-Fi 7

1.2 Présentation du Wi-Fi

Le Wi-Fi est un ensemble de protocoles et de techniques de communication sans fils défini dans le standard 802.11. Il permettent la création de réseaux sans fil locaux (WLAN) pour relier plusieurs type d'appareils que ce soit des ordinateurs portables ou bureau, des PDA (Personal Digital Assistant) et des IoT (Internet of Things) qui peuvent s'étendre de dix à plusieurs centaines de mètres.

1.3 L'évolution du Wi-Fi

Au fil des années, le Wi-Fi a eu plusieurs améliorations (que ce soit dans la couche PHY ou la couche MAC), qui seront catégorisé en sous-branches du standard 802.11 (de 802.11 Legacy à 802.11be à ce jour). Ces améliorations ont contribué à atteindre un débit théorique maximal plus haut : De 2 Mbps pour la 802.11 Legacy à 7 Gbps pour la 802.11 ac jusqu'à 46 Gbps pour la 802.11be. Nous verrons dans cette sous-section les techniques et leur améliorations utilisés dans les standards 802.11 Legacy jusqu'à 802.11ax.

1.3.1 Les Bandes de fréquence

Ce sont des fréquences qu'utilise le standard IEEE 802.11 pour transmettre les informations. Il existe plusieurs bande de fréquences : La bande ISM(2.4 GHz) et la bande U-NII-1 jusqu'à 4 (5GHz) et la bande U-NII-5 jusqu'à U-NII-8 (6 GHz). Chaque bande de fréquence a été utilisé dans plusieurs standards 802.11 (La 2.4 GHz dans la 802.11 Legacy, la 802.11b, la 802.11g, 802.11n et la 802.11ax. La 5 GHz dans la 802.11a, la

802.11n, la 802.11ac et la 802.11ax.) et la 802.11 be utilise les 3 bande de fréquence 2.4 GHz, 5 GHz et 6 GHz

1.3.2 Technologies de modulation

1.3.2.1 FHSS

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) est une technique de modulation qui consiste à diviser la bande de fréquence en plusieurs canaux (79 aux États-Unis et en Europe et 23 au Japon) de taille 1 MHz et à sauter entre les canaux selon une des 3 ensemble de 26 séquences prédéfinies. Cela offre un risque minimal de collision ainsi que plusieurs communications simultanées. On retrouve cette technique de modulation uniquement dans le standard 802.11 Legacy. La figure 2 illustre un exemple du fonctionnement de FHSS.

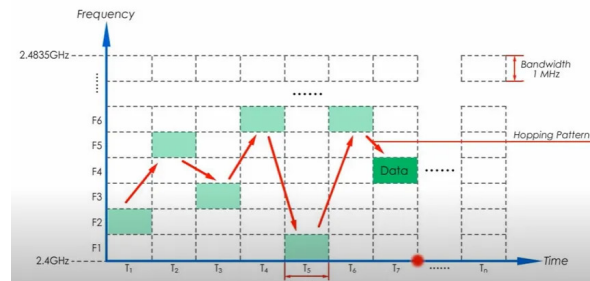


FIGURE 2 – Illustration du FHSS

1.3.2.2 DSSS

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) est une technique qui étale le spectre du signal avec ce que l'on appelle des Chipping qui sont des transitions d'état rapides pour avoir un débit très haut en envoyant des séquences de bits, appelée code d'étalement ou chips, pour chaque bit d'information à transmettre. L'opération faite sur le DSSS s'éloigne sur une séquence de 11 chips dénommé code de Barker. Cette technique a été utilisé dans le standard 802.11 Legacy. La figure 3 illustre un exemple du fonctionnement de DSSS.

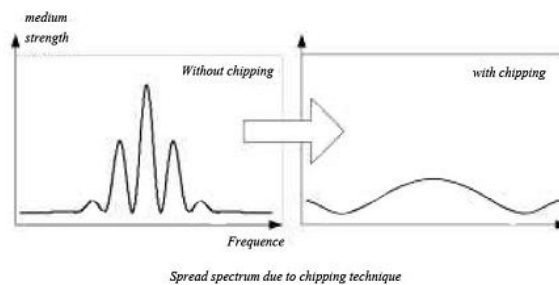


FIGURE 3 – Illustration du DSSS

1.3.2.3 HR-DSSS

Le HR-DSSS (High Rate DSSS) se base sur l'amélioration de la technique précédente DSSS, cette fois-ci en utilisant 64 codes de Barker au lieu du singulier du DSSS, appelés "codes complémentaires". Ces codes complémentaires ont une longueur de 8 bits : 6 bits

d'information et 2 bits de la modulation DSSS. Cette technique a augmenté largement le débit mais diminua la distance de portée. Elle a servi dans le standard 802.11b ainsi que le standard 802.11g

1.3.2.4 OFDM

La OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une technique de modulation de multiplexage qui offre la possibilité de plusieurs communications simultanées sur la même bande de fréquence. Pour se faire, l'OFDM divise la bande passante en plusieurs sous-porteuses orthogonales et transmet les données simultanément sur ces sous-porteuses, modulées avec des techniques de modulation tel que QPSK, QAM ou 64-QAM. Ces sous-porteuses sont capables d'avoir des interférences, que l'on appelle des Inter-Carrier Interference (ICI). Pour les éviter, les sous-porteuses se doivent d'être extrêmement étroites. Cette technique a tout de même offert plus de débits que les autres techniques qui les a précédé. Cette technique a été utilisé dans les 802.11a, 802.11g, 802.11n et 802.11ac

1.3.3 Technologie Multiantennes

1.3.3.1 La technologie MIMO

La technologie MIMO (Multiple Input Multiple Output) se base sur le principe de multiples antennes du côté de l'émetteur et du côté du récepteur. Les données à émettre sont découpées en plusieurs flux de données, chacune d'entre elle émise par une antenne distincte. Le récepteur reçoit ces flux et les réarrange pour reconstruire les données d'origine.

Il existe plusieurs variantes de cette technologies comme la D-MIMO, la SU-MIMO, la MU-MIMO etc. La figure 4 illustre une transmission entre un émetteur et un récepteur utilisant la technique MIMO.

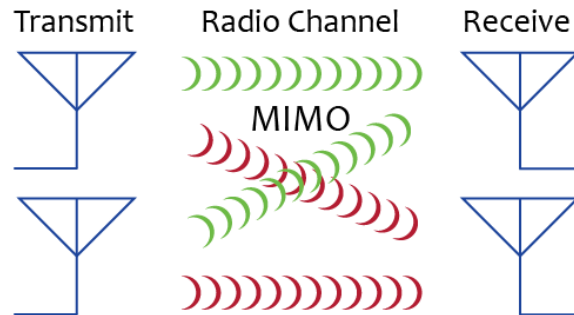


FIGURE 4 – Illustration du MIMO

1.3.3.2 La technologie D-MIMO

La technologie D-MIMO (Distributed MIMO) aussi appelée Coordinated Joint Transmission (Co-JT) permet d'effectuer plusieurs transmissions vers de multiple STAs, en partageant les ressources de temps et de fréquence.

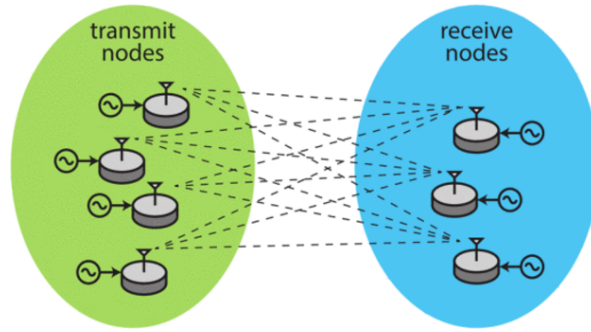


FIGURE 5 – Illustration de D-MIMO

1.3.4 Méthode d'accès au canal

1.3.4.1 DCF (Distributed Coordination Function)

La méthode DCF est une fonction qui permet l'accès avec contention (compétition) qui est basée sur un schéma CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). Une station doit écouter le canal pour voir si il est libre pendant une durée DIFS ou sinon, elle doit réécouter le canal jusqu'à sa libération. Dans ce cas, la station doit attendre une durée appelé Backoff (BO) qui est définie entre 0 et CW (Contention Window). Dès que le Backoff est épuisé, la station peut transmettre une trame de données.

1.3.4.2 PCF

Dans le mode PCF (Point Coordination Function), une entité centralisé nommé PC (Point Coordinator qui est généralement le point d'accès AP) gère l'accès des stations au canal radio. Le temps est divisé en supertrames contenant chacune d'entre elles une période sans contention ou Contention Free Period (CFP) suivi d'une période avec contention ou Contention Period (CP). Le début d'une supertrame (et donc de la CFP) est marqué par l'envoi par le PC d'une trame **Beacon**. Le paquet Beacon doit être envoyé à une allure régulière, une temporisation PIFS est employée pour l'envoi du Beacon [12]. La figure 6 illustre un exemple d'une supertrame et ces composants.

L'accès par PCF pendant les CFP se fait sur la base d'une scrutation. Le PC transmet aux stations supportant PCF une trame CF-Poll l'invitant à accéder au médium, une temporisation SIFS est employée pour l'envoi des CF-Poll. Une station recevant une trame CF-Poll peut envoyer une trame données MPDU (MAC Protocol Data Unit) avec une temporisation SIFS. Si l'envoi n'est pas acquitté, la station ne peut procéder à une retransmission sauf si elle est à nouveau scrutée ou pendant la période CP. PCF offre des possibilités de piggybacking : une trame envoyée par le PC peut être un CF-Poll et contenir un acquittement, des données ou les deux à la fois ; une trame envoyée par une station peut contenir des données et l'acquittement d'un paquet reçu auparavant. PCF a rarement été implémenté. Il est maintenant tombé en désuétude.

La figure 7 illustre le fonctionnement d'interrogation utilisée dans PCF.

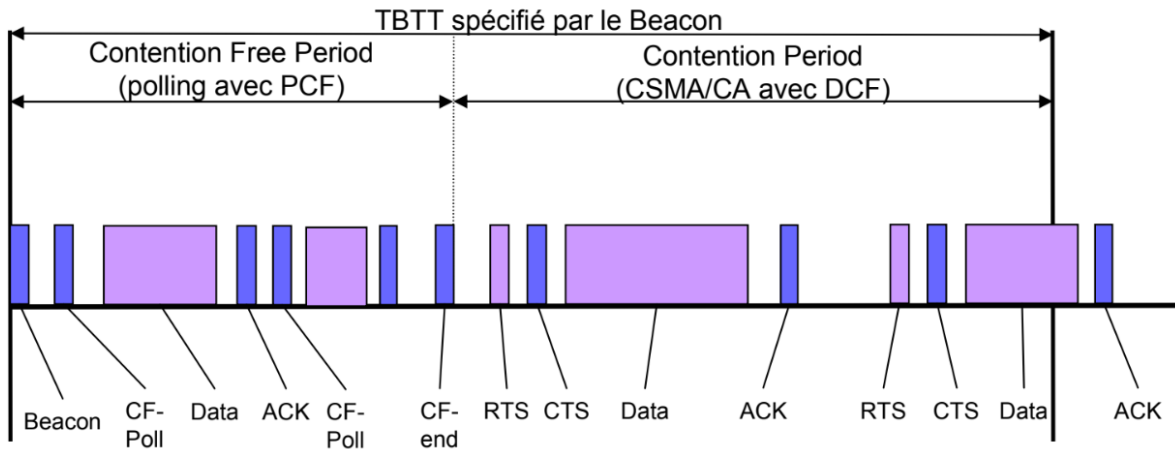


FIGURE 6 – Exemple d'une supertrame

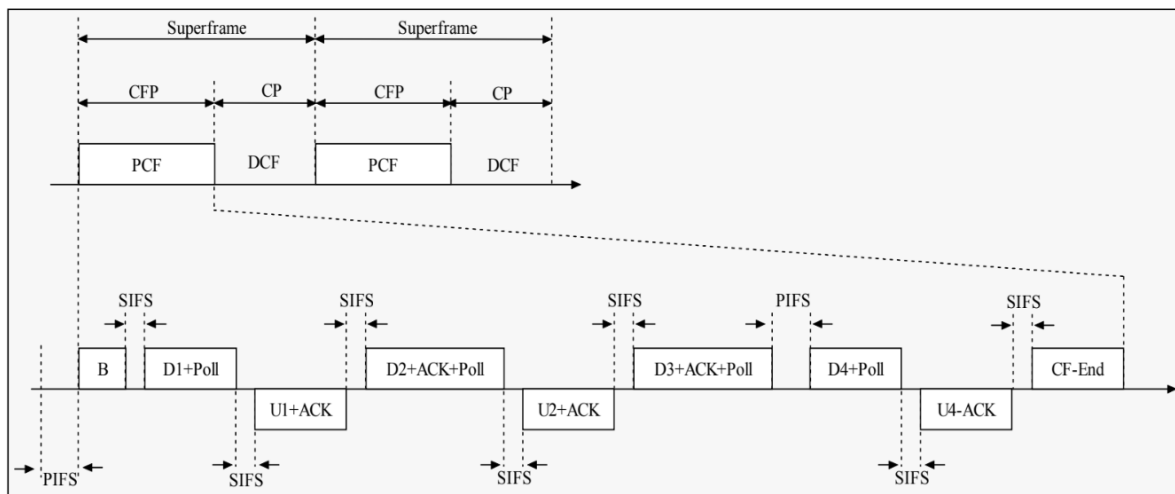


FIGURE 7 – Le mécanisme d'interrogation utilisé dans PCF [9]

1.3.4.3 HCF Afin de pallier aux limitations des mécanismes DCF et PCF à garantir de la QoS, le groupe 802.11e a défini un seul mécanisme d'accès au médium HCF qui combine les deux nouveaux mécanismes EDCA et HCCA. HCF est basé sur l'utilisation d'une supertrame contenant deux phases d'opération, Contention Period (CP) et Contention Free Period (CFP). EDCA est utilisé seulement dans la phase d'opération CP, alors que HCCA peut être associé aux deux phases.[12]

— EDCA

Dans la 802.11e, EDCA (Enhanced Distribution Channel Access) est une version améliorée de DCF, suivant un schéma CSMA/CA, qui apporte à l'accès par contention de 802.11 la différenciation. La méthode définit quatre catégories d'accès (AC) qui ont des propriétés différentes à l'accès.[12]

Chacune de ces catégories d'accès participera à la contention afin d'obtenir une TXOP au profit de l'AC concernée et lui permettre ainsi d'accéder au médium. elle a ceci de particulier qu'elle utilise un lot de paramètres de contention qui lui sont propres (une valeur de AIFS et un intervalle de fenêtre de contention [CWmin, CWmax] ainsi qu'une limite sur la taille d'une TXOP). Ces paramètres sont soit fixés par défaut soit déterminés et annoncés par le point d'accès. Les paramètres

User Priority	Appellation 802.1D	Catégorie d'Accès
1	BK (<i>Background</i>)	AC_BK (<i>Background</i>)
2	– (<i>Spare</i>)	AC_BK (<i>Background</i>)
0	BE (<i>Best Effort</i>)	AC_BE (<i>Best Effort</i>)
3	EE (<i>Excellent Effort</i>)	AC_BE (<i>Best Effort</i>)
4	CL (<i>Controlled Load</i>)	AC_VI (<i>Video</i>)
5	VI (<i>Video</i>)	AC_VI (<i>Video</i>)
6	VO (<i>Voice</i>)	AC_VO (<i>Voice</i>)
7	NC (<i>Network Control</i>)	AC_VO (<i>Voice</i>)

FIGURE 8 – Catégories d'accès et leur priorités [12]

de contention permettent de mettre en place la différenciation à l'accès d'EDCA.

Catégorie d'accès	AIFS	CW_{min}	CW_{max}
AC_VO	$SIFS + 2 \times aSlotTime$	$\frac{aCW_{min}+1}{4} - 1 ; 3$	$\frac{aCW_{min}+1}{2} - 1 ; 7$
AC_VI	$SIFS + 2 \times aSlotTime$	$\frac{aCW_{min}+1}{2} - 1 ; 7$	$aCW_{min} ; 15$
AC_BE	$SIFS + 3 \times aSlotTime$	$aCW_{min} ; 15$	$aCW_{max} ; 1023$
AC_BK	$SIFS + 7 \times aSlotTime$	$aCW_{min} ; 15$	$aCW_{max} ; 1023$

FIGURE 9 – Paramètres de contention des catégories d'accès

L'introduction de fonctions d'accès concurrentes et indépendantes au niveau des AC de chaque station amène une nouvelle notion, celle de la collision virtuelle. En effet, les fonctions d'accès procédant à leur activité de Backoff de façon indépendantes, il est possible que deux (ou plus) ACs d'une même station voient leurs compteurs de backoff expirer au même moment. Dans ce cas, la catégorie d'accès de plus haute priorité ($AC_{VO} > AC_{VI} > AC_{BK} > AC_{BE}$) gagne l'opportunité de transmission, les éventuelles autres se comportent comme si une collision réelle s'était produite. La figure 10 illustre un exemple de EDCA.

— HCCA

HCCA est une implémentation d'un accès par scrutation. Il met en place des améliorations par rapport à PCF. La division de la supertrame en CP et CFP cesse d'être importante lorsque la fonction HCCA est employée. Cette division continue à exister afin de permettre aux non-QoS STA de fonctionner dans un réseau QoS. Cependant, HCCA permet au HC d'intervenir durant une CP ou une CFP pour mettre en place une scrutation. L'accès du HC pour ce genre de procédure se faisant avec une temporisation PIFS qui est inférieure aux AIFS, cet accès devient ainsi plus prioritaire que les accès par EDCA. La scrutation est mise en place grâce à une connaissance supposée du HC de l'état des files des stations au sein de la BSS. Durant la CP, une QSTA peut accéder au médium si elle y parvient par EDCA, ou si elle y est explicitement invitée par un paquet CF-POLL envoyé par le HC. Le HC peut accéder au médium afin de scruter

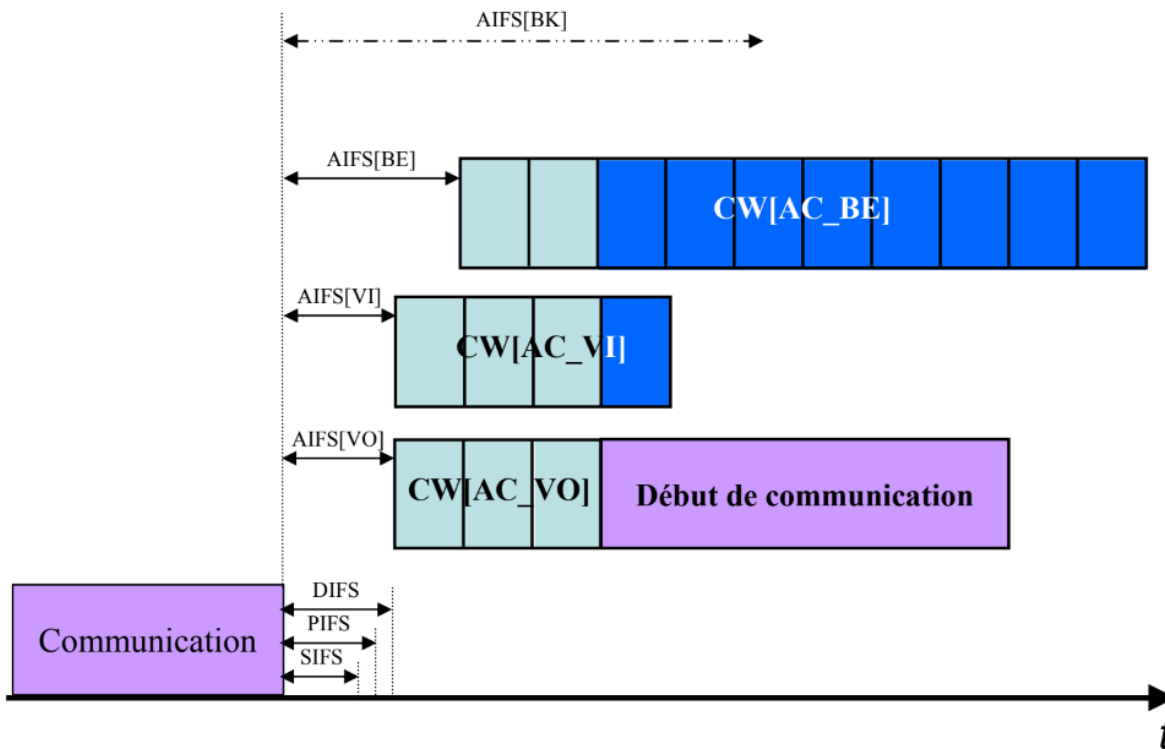


FIGURE 10 – Exemple de EDCA

les QSTA (envoi d'un paquet CF-POLL) suite à une période PIFS d'inactivité du médium. Durant la CFP, les QSTA ne peuvent accéder au médium à moins qu'elles y soient explicitement invitées par un paquet CF-POLL envoyé par le HC. Le HC peut s'accorder un TXOP pour un envoi sur la voie descendante ou peut envoyer un paquet de scrutation CF-POLL suite à une période PIFS d'inactivité du médium. Un paquet CF-POLL contient une valeur TXOPLimit, indiquant à la station scrutée la durée d'utilisation du médium à ne pas dépasser [12]

1.4 Le Wi-fi 7

On arrive au Wi-fi 7. Apparu sous le standard 802.11be et connu comme Extremely High Throughput (ETH) donc débit extrêmement élevé, c'est la prochaine évolution du Wi-Fi 6 donc le standard 802.11ax en améliorant les techniques déjà présente donc ce standard et en rajoutant de nouvelles techniques qui pousseront le débit a s'élever de 9 Gbps du standard 802.11ax à 46 Gbps du standard 802.11be

1.4.1 Les améliorations du Wi-fi sur la couche physique

1.4.1.1 4K QAM

La technique du QAM (Quadrature Amplitude Modulation) est une technique de modulation dont le principe est de fusionner les techniques de modulation d'amplitude (les 0 et 1 sont représentés par un interrupteur de la fréquence) et la modulation de phase (les 0 et 1 sont représentés en retournant le signal de 180 degrés) qui sont gérés dans un QAM modulator qui nécessite un RF carrier et des données sous formes de bits qui les convertira en un signal modulé. La taille des symboles détermine la profondeur du Modulateur QAM : de BPSK (taille du symbole = 1) à 4K QAM (taille du symbole

= 12) à ce jour. On peut traduire ces symboles en un diagramme de constellation . Plus le nombre de symboles est grand, moins est sa tolérance (sinon cela pourrait causer des transmissions de données vers les stations incorrectes). La figure 11 illustre la différence entre 1024-QAM et 4096-QAM.

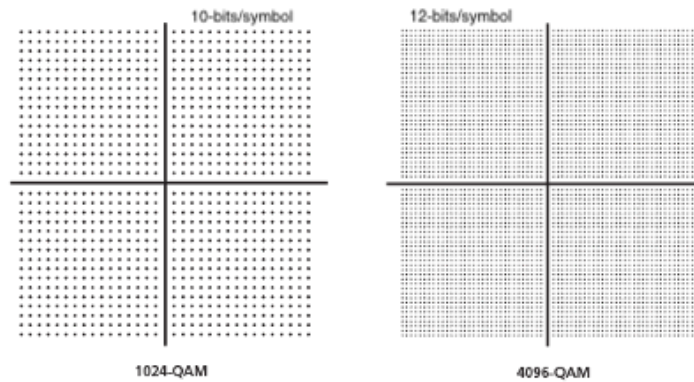


FIGURE 11 – Différence entre les versions du QAM entre le Wi-Fi 6 et Wi-Fi 7

1.4.1.2 Multiple RUs (MRU)

Dans le protocole du Wi-fi 6, on y a introduit la technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) qu'on traitera après. Elle divise le canal en tout petits blocs de ressource temps/fréquence que l'on appelle une Resource Unit (RU) qui permettent à plusieurs utilisateurs de partager les ressources du canal et d'améliorer l'efficacité du spectre. Ces RU sont flexibles entre 26, 52, 106, 242, 484, 996, 2 x 996 et 4 x 996 sous-porteuses. Cependant, un point d'accès utilisant le standard 802.11ax ne peut allouer qu'un RU à la fois pour une station, ce qui diminue le débit. C'est pourquoi le 802.11be a introduit le Multi Resource Unit (MRU) qui peut allouer plusieurs RU par station[10].

1.4.1.3 Multi Link Operation (MLO)

Le Multi Link Operation (MLO) est un nouveau moyen pour utiliser les trois bandes de fréquences 2.4 GHz, 5 GHz et 6 GHz simultanément dans différentes circonstances.

Pour se faire, le MLO regroupe plusieurs liens radios de différentes bandes et chaînes et les lie en un seul lien virtuel entre les paires connectés auxquelles chaque lien peut fonctionner indépendamment et simultanément avec les autres liens

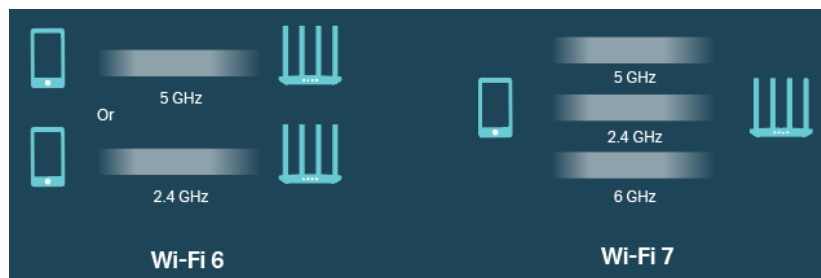


FIGURE 12 – Exemple de MLO

1.4.1.4 Regroupement des canaux 160 MHz en 320 MHz

La bande passante du canal était limitée de 160 MHz dans la norme 802.11 ax. On a donc étendu cette bande passante de 160 Mhz a 320 Mhz dans la norme 802.11be dans la bande de fréquence 6 GHz, ce qui double effectivement le débit offert.

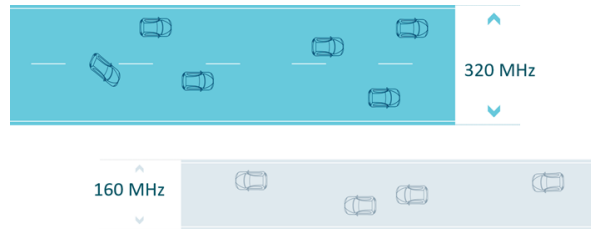


FIGURE 13 – Illustration de la différence entre 160 Mhz et 320 Mhz

1.4.1.5 MU-MIMO

Le MU-MIMO (Multiple User MIMO) permet à un point d'accès multi-antennes de communiquer simultanément avec plusieurs clients comparé au SU-MIMO qui permette de communiquer qu'avec un seul client. La norme 802.11ac prenait en compte que 4 flux et ne prenait en compte la transmission en liaison descendante comparé à la norme 802.11ax qui s'élevait à 8 flux et en liaison descendante et montante, à la fois dans la bande 2.4 GHz et la bande 5 GHz [13]

1.4.1.6 OFDMA

La technique OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) est une technique qui à été développé pour le standard 802.11ax et a été suggéré pour le standard 802.11be et offre plusieurs fonctionnalités : jusqu'à 9 utilisateurs dans les deux directions DL et UL, une seule antenne radio est nécessaire par appareil, la technique OFDM seulement est nécessaire et une absence complète d'interférences pendant le transfert des flux de données. La technique se base sur la division d'une chaîne de transmission 20 MHz composé de 256 sous-porteuses (y inclut les sous-porteuses de données et de contrôle) en plusieurs sous-chaîne de transmission appelées RU (Resource Unit). Les RUs peuvent être composé de 26, 52, 106 ou 242 sous-porteuses. Ainsi, on différencie entre 4 types de RU : 26-RU, 52-RU, 106-RU, 242-RU. Le nombre de RU qui peuvent être créés depuis une chaîne de transmission 20 MHz dépend des types de RU choisis. Pour l'allocation des RUs dans la direction DL ou UL, l'OFDMA MU stipule qu'un seul RU de n'importe quel type doit être affecté à un seul utilisateur

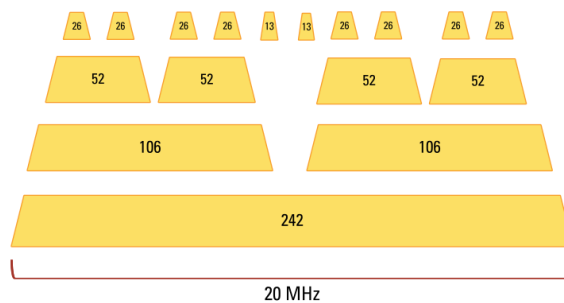


FIGURE 14 – Différents types de RU dans une chaîne 20 MHz

L'OFDMA fonctionne en cycles de communication et chaque cycle de communication contient deux phases : La phase DL puis la phase UL. Chaque phase est divisée en deux étapes :

- **L'étape d'allocation** : Le point d'accès alloue les RUs aux STAs désignées à participer à la phase de transmission actuelle. Pour cela, la IEEE 802.11ax a introduit une nouvelle frame de contrôle nommée TCF (Trigger Control Frame).

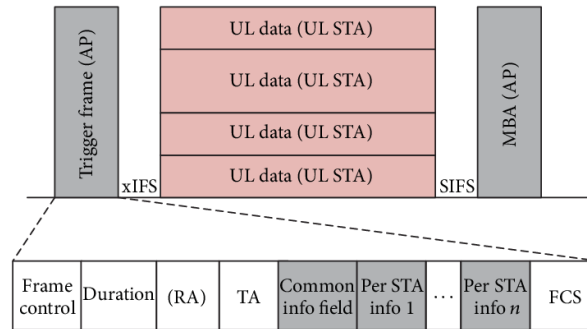


FIGURE 15 – Exemple d'une Trigger Control Frame

- **L'étape de transmission** : Pendant cet étape, les RUs allouées sont utilisées en même temps pour transmettre entre-elles des flux de données.

Pour que les phases de communications DL et UL fonctionnent, le point d'accès doit identifier pour chaque STA associé avec leur besoins en termes de trafic UL et DL. Les flux de données DL sont tous centralisés à partir du AP tandis que les flux de données UL peuvent être distribués vers n'importe quel STA. C'est pour cela que l'on retrouve pas des informations disponibles dans le AP à propos des transmissions UL. Pour obtenir les informations nécessaires sur les différents flux de données UL (ID de STA, taille de données, etc.), la IEEE 802.11ax a proposé deux modes d'accès : Programmé (Scheduled) et Aléatoire (Random).

- **Scheduled Access Mode**

Dans le mode d'accès Scheduled, l'AP examine les STAs du réseau et leur réclame d'envoyer leurs requêtes UL d'une manière déterministe en leur dédiant des 26-RUs. Bien que le mode Scheduled est efficace pour transmettre leur requêtes UL, dédier des 26-RUs pour chaque STA est un gaspillage des RU car toutes les STA sont inspectés quelque soit leur besoins UL.

- **Random Access Mode**

Le mode d'accès aléatoire se base seulement sur les STAs possédant aucune file d'attente. Elle seront en compétition pour accéder les RUs pour pouvoir transmettre leur requêtes UL en acquérant une 26-RUs. L'inconvénient avec ce mode est le taux de collisions très haut vu que c'est une compétition.

Pendant les phases de transmissions DL et UL, plusieurs flux de données de taille variables sont transmises simultanément sur plusieurs RUs de tailles tout autant variables. Par conséquent, chaque flux de données a un temps de transmission différent. Vu que les transmissions DL et UL sont faites en même temps, leur temps d'arrivée est différent pour chaque flux de données. Alors, les étapes de transmissions DL et UL ne sont considéré terminé que lorsque la transmission des flux de données lente est terminé. On a donc deux problématiques : La perte d'efficacité spectrale dans les transmissions DL et d'un timeout BA dans les transmissions UL, comme illustré dans la figure ci-dessous

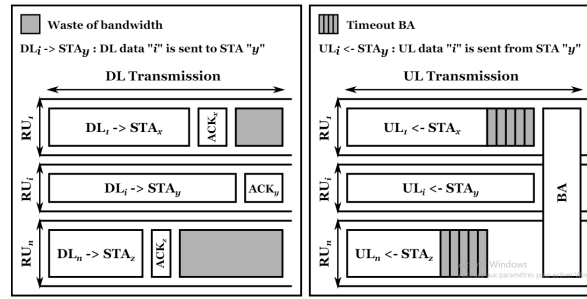


FIGURE 16 – Bandwidth + Timeout BA [11]

1.4.2 Les améliorations du Wi-fi sur la couche MAC

1.4.2.1 UORA

La technique UORA (Uplink OFDMA Random Access) est une technique de transmission de stations au point d'accès utilisé dans OFDMA.

UORA fonctionne en 3 étapes :

- D'abord, le point d'accès AP transmet un TF pour initier la procédure UORA. La TF contient plusieurs informations tels que les RU à accès aléatoires éligibles (RA-RU : Random Access Resource Unit) et les AID (association identifiers) correspondants. L'AID peut prendre l'une de ces deux valeurs : Un RA-RU avec un AID 0 peut être accédé par une STA associé et une RA-RU avec un AID de 2045 peut être accédé par une station dissocié.
- Les stations qui ont reçu la TF vont déterminer leur OBO (OFDMA Backoff) en se basant sur le OCW (OFDMA Contention Window) défini par la TF de l'AP. La valeur de l'OBO la première fois qu'une station recevra la TF sera une valeur positif situé dans l'intervalle du OCW range. La station décrémentera a chaque TF reçu le OBO par le nombre des RA-RU, associé ou dissocié, disponibles jusqu'à atteindre une valeur nulle ou négative.
- Enfin, la station choisira une RA-RU pour pouvoir transmettre sa trame. Cependant, une collision de trame peut arriver si deux stations ou plus décident de choisir la même RA-RU disponible a ce moment. L'AP informe les STA du succès de la transmission en envoyant un MU-BACK (Multi User Block Acknowledgement). Dans chaque station, la valeur du OCW est OCWmin et la valeur du OCW sera doublé a chaque transmission échoué. Cette valeur ne peut excéder le OCWmax et est rétablie a OCWmin lors d'une transmission réussie.
- **Note :** Les valeurs OCWmin et OCWmax peuvent être modifié par le AP en diffusant des trames de gestion telles que des trames de détection de configuration de liaison initiale rapide ou des trames Beacon.

La figure ci-dessous illustre un exemple d'opération UORA. Ici, on suppose il existe 1 à 8 STA associées et une 9ème STA dissociée. Le nombre des RA-RUs disponible sont 9 ; 8 d'entre elles ont un AID de 8 et la 9ème avec un AID de 2045.

La figure 17 illustre un exemple d'une opération UORA sur 8 Stations et 9 RU disponibles.

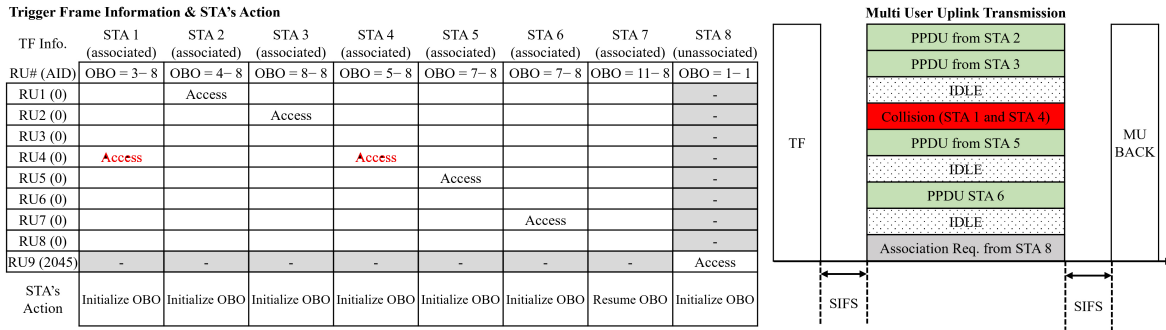


FIGURE 17 – Un exemple d’une opération UORA

1.4.2.2 Méthode d’accès multicanaux statique et dynamique

La méthode d’accès multicanaux permet aux stations d’utiliser des canaux beaucoup plus grandes comme 80 MHz qui sera divisé en plusieurs canaux de 20 MHz dont l’un est primaire et les autres secondaires comparé au DCF ou EDCA par exemple qui exploitaient 20 MHz seulement. Cependant, cette méthode d’accès utilise DCF et EDCA pour le canal primaire et pour les autres canaux secondaires, on utilise un temps PIFS pour leur écoute. Il existe deux types de méthode d’accès multicanaux : la statique qui se base sur le principe de tout ou rien, c-à-d que la station qui occupe le canal primaire n’a le droit de transmettre que lorsque tout les autres canaux secondaires sont libres. Si l’un des canaux SCH sont occupés durant la durée PIFS, le canal PCH relance l’écoute avec une nouvelle durée PIFS choisi aléatoirement. Dès que tout les canaux SCH sont libres, le canal PCH veut envoyer sa trame de données sur les tout les canaux (PCH + SCH).

La méthode d’accès multicanaux dynamique elle permet a la station associé au PCH d’utiliser un multiple de canaux 20^x MHz avec x qui dépend de la taille des canaux libres (3 pour 80 MHz par exemple).

1.5 Conclusion

Pour conclure, nous venons de présenter les différentes méthodes et fonctions utilisées dans les standards de communications 802.11 du 802.11 Legacy au 802.11be sous les aspects de la couche physique (PHY) et la couche du contrôle d’accès au médium (MAC). La couche PHY assure la transmission de données sur le canal de transmission sans fil en utilisant des techniques de modulation, de codage etc. Elle supporte plusieurs bande de fréquence du 2.4 GHz au 6 GHz en utilisant des techniques de modulation comme FHSS, DSSS, OFDM etc. La couche MAC, elle, s’occupe de l’accès du support de transmission de données et fixe les paramètres de connexions et l’échange de données entre les équipements de réseau. On se focalisera sur ses deux couches lors du prochain chapitre qui consistera a intégrer ces techniques dans les systèmes AAL.

2 Chapitre 2 : État de l'art sur le Wi-Fi 7 et les systèmes AAL

2.1 Introduction

La nature de l'être humain est faible de base mais d'autres le sont plus que d'autres, que ce soit par faute d'âge ou par un certain âge. C'est pourquoi des appareils dédiés à les épauler est idéal. Ainsi, naquit le concept des systèmes AAL et pour que ces systèmes fonctionnent, un très haut débit, une latence très basse et une grande fiabilité; des traits que le Wi-Fi 7 à la capacité d'offrir, est requise. C'est pourquoi le Wi-Fi 7 est parfait à intégrer aux systèmes AAL

Pour qu'une maison soit intelligente, elle doit être équipée d'appareils dénommés L'Internet des Objets ou IoT (Internet of Things) et pour que ces appareils fonctionnent, elles requièrent un très haut débit, une latence très basse et une grande fiabilité; des traits que le Wi-Fi 7 à la capacité d'offrir. C'est pourquoi le Wi-Fi 7 est parfait à intégrer aux IoT.

Dans ce chapitre, nous verrons ce qu'est un IoT, ce qu'est un système AAL et les travaux de recherches concernant l'implémentation du Wi-Fi aux systèmes AAL.

2.2 Les systèmes AAL

2.2.1 Présentation des systèmes AAL

Acronyme pour Ambient Assisted Living (ou Active Assisted Living), les systèmes AAL sont basés sur l'AmI (Ambient Intelligence) visant à construire des environnements discrets, inter-connectés, adaptable, intégrés et dynamiques autour des gens. AmI enrichit un environnement avec la technologie, dans les foyers intelligents pour les personnes âgées tout en exploitant des solutions contextuelles, cependant, il peut être appliqué à d'autres domaines tels que les transports, les services de santé, les lieux de travail intelligents et l'industrie du divertissement. Toutefois, l'AAL met l'accent sur les personnes âgées et leurs soignants, en tirant parti des conclusions de l'AMI dans ce contexte. À une échelle plus générale, l'AAL utilise des produits intelligents et des outils de technologie de l'information et de la communication (TIC) pour fournir des services de soins à distance [3].

2.2.2 Présentation des IoT

2.2.2.1 C'est quoi un IoT

Un IoT (Internet of Things) est un ensemble d'objets connectés et de technologies de réseaux qui se conjugent entre elles (M2M : Machine 2 Machine) en associant :

- Des objets physiques qui possèdent des capteurs connectés
- Des réseaux de communication numériques filaires ou non filaires.
- Des espaces de stockages distants
- — Des applications de traitement des données qui engagent des processus décisionnels

2.2.2.2 Architecture des IoT

- **Phase 1 : Couche de détection** : Un ensemble de capteurs, actionneurs etc. intégrés aux IoT récoltent les données de l'environnement physique, les traitent et les envoient sur le réseau.
- **Phase 2 : Couche réseau** : Des systèmes d'acquisition de données (DAS) convertit les données analogiques (collectés dans la phase 1) en données numériques. La couche réseau sert aussi de détecteur de malwares (logiciels malveillants)

- **Phase 3 : Couche de traitement de données** Les données acquises seront séparés puis traités pour les rendre compréhensible et exploitable puis envoyés aux centre de données
- **Phase 4 : Couche d'application** : La dernière phase consiste de centre Cloud Data où les données sont gérées et utilisées par des applications tel que l'agriculture, la défense, les soins de santé. . .etc..

2.2.2.3 Domaine d'applications des IoT

Plusieurs domaines d'application sont touchés par l'IoT, Parmi ces principaux domaines nous citons : le domaine de la sécurité, le domaine du transport, l'environnement et l'infrastructure et les services publics. . .etc.

Nous allons maintenant détailler quelques secteurs avec des exemples de projets :

- — Le secteur de la santé a connu un très grand nombre d'applications permettant à un patient et à son docteur de recevoir des informations, parfois même en temps réels, qui auraient été impossible de connaître avant l'apparition d'IoT. Par exemple, (Porteuse Digital Health) qui est le premier médicament connecté sur le marché grâce à un capteur directement intégré dans l'être humain qui permet après ça le suivi des patients à distance. Il existe Plusieurs autres dispositifs sont disponibles, fixé autour du poignet et permettent également de suivre l'activité physique quotidienne du patient, mesurer le taux de sucre, compter le nombre de pas, les KMs parcourus, le nombre de calories brûlées. . . [4]
- La domotique : La domotique regroupe l'ensemble des technologies permettant l'automatisation des équipements d'un habitat. Elle vise à apporter des fonctions de confort : commandes à distance, gestion d'énergie (optimisation de l'éclairage et du chauffage. . . etc.), sécurité (comme les alarmes) et de communication (contacts et discussion avec des personnes extérieures). [15]
- Agriculture L'agriculture intelligente a pour objet de renforcer la capacité des systèmes agricoles, de contribuer à la sécurité alimentaire en intégrant le besoin d'adaptation et le potentiel d'atténuation dans les stratégies de développement de l'agriculture durable. Cet objectif a été atteint enfin par l'utilisation des nouvelles technologies, telles que l'imagerie satellitaire et l'informatique, les systèmes de positionnement par satellite comme les GPS, aussi par l'utilisation des capteurs qui vont s'occuper de récolter les informations utiles sur l'état du sol, taux d'humidité, taux des sels minéraux, etc. et envoyer ces informations au fermier pour prendre les mesures nécessaires garantissant la bonne production.[15]
- Les transports Le nombre des véhicules intelligents sont en croissance, presque Tous les véhicules vendus aujourd'hui dans le monde renferment déjà des capteurs et de moyens de communication pour traiter la congestion du trafic, la sécurité, la pollution et le transport efficace des marchandises. . .etc.L'objectif est qu'une voiture soit capable de communiquer de façon autonome avec d'autres véhicules ou une centrale de surveillance pour prévenir les accidents et réduire les coûts d'assurance.[15]

Dans la figure ci-dessous, on retrouve les différents type de domaines d'application des IoT mentionné dans ce mémoire ainsi que d'autres domaines d'application

2.2.2.4 Utilisation des Systèmes AAL orienté IoT L'Internet des objets de santé (H-IoT) est une interconnexion d'appareils capables de détecter et de transmettre des informations qui transmettent l'état de santé d'un individu. La surveillance continue de



FIGURE 18 – Différents types de domaines d’application des IoT

la santé d’un individu pour le diagnostic de la maladie et la détection précoce est une application importante de H-IoT. L’aide à la vie autonome (AAL) consiste à surveiller la santé d’un patient pour assurer son bien-être. Toutefois, il est essentiel de limiter les retards de transmission pour ces systèmes de surveillance.

2.2.3 Exemples de systèmes AAL

De nombreuses recherches sont menées sur la création d’environnements intelligents autour des personnes, tels que Aware Home [2] et I-Living [5]. Ces recherches sur les «maisons intelligentes» ont amélioré l’indépendance des personnes âgées et réduit le travail manuel requis. Des dispositifs tels que la RFID, les détecteurs de mouvement, etc. sont utilisés pour aider la vie quotidienne des personnes âgées. Le projet Aware Home a construit un laboratoire vivant, dans lequel ils ont testé l’acceptation de la technologie par l’utilisateur, en construisant un cadre de transition pour l’interopérabilité universelle des dispositifs dans les systèmes omniprésents. Leurs recherches comprennent également la découverte d’appareils dans un environnement informatique omniprésent, la surveillance médicale et les interfaces d’interaction entre ordinateurs humains. La mission d’I-Living est similaire à celle d’Aware Home : développer une infrastructure logicielle de soutien à la vie assistée qui permet à des technologies, des composants logiciels et des appareils sans fil disparates de travailler ensemble. Les tâches fournies dans I-Living sont telles que le rappel d’activité, la surveillance de la santé, la localisation d’appartenance personnelle, la détection d’urgence, etc.

Les projets susmentionnés et de nombreux projets similaires visent à fournir des services d’assistance dans des environnements envahissants, à construire un meilleur environnement et à fournir aux gens une vie meilleure. Les services fournis par ces projets promettent d’aider les personnes âgées à faciliter leur vie et à assurer leur sécurité en surveillant une partie de leur état de santé. Toutefois, les services offerts dans le cadre de ces projets sont encore limités. Les scénarios de ces projets ne sont

pas encore assez complets pour répondre aux besoins des personnes âgées dans leur vie quotidienne et les aider à maintenir leur autonomie.

Le projet Amigo [8], bien qu'il ne soit pas spécifiquement conçu pour aider les personnes âgées, a étudié l'intelligence ambiante pour l'environnement domestique en réseau afin de fournir des services aux utilisateurs attrayants et d'améliorer la convivialité pour les utilisateurs finaux. Les appareils omniprésents sont gérés dans le projet Amigo de manière adaptative, contextuelle et autonome. Le système combine des recherches dans la domotique, l'électronique grand public, les communications mobiles et la technologie PC pour fournir des services d'une manière centrée sur l'utilisateur. Les scénarios de ce projet ont prouvé que ce système est capable de fournir aux utilisateurs des services personnalisés. Les applications ne sont pas limitées à l'environnement domestique, mais étendues pour connecter l'environnement de travail via des appareils mobiles, et sont également capables de connecter les membres de la famille ensemble.

2.2.4 Exigences de systèmes AAL

Pour que le système AAL fonctionne, on aura besoin de certaines conditions :

2.2.4.1 Autonomie

Les systèmes AAL doit être actif a tout moment de la journée ou de la nuit. Son but étant de surveiller l'individu dont il est responsable en permanence, une haute autonomie pour les IoT est recommandé.

2.2.4.2 Intimité

Bien que l'utilité des systèmes AAL soit importante, un beau nombre de personnes vont les refuser si ces systèmes interfèrent avec la vie privée de ces patients. C'est pourquoi lors de la conception des systèmes AAL, on doit faire en sorte que les Internet of Things soient assez discret pour ne pas déranger le patient tout en étant assez présent pour que le patient n'oublie pas leur existence.

2.2.4.3 Haut débit

L'un des buts principaux d'un système AAL est de transférer les données dont il dispose en un temps quasi-neutre. Utilisant le Wi-fi 6, dont son débit théorique max est de 9 Gbps, qui est malgré tout une haute vitesse, n'atteint pas les exigences de ce système. Hors, le débit théorique max de 47 Gbps que propose le Wi-fi 7 est suffisant pour la tâche.

2.2.4.4 Fiabilité

Un autre but principal d'un système AAL est de garantir que les Internet des objets fonctionnent à tout moment et que les données qu'ils transmettent ou qu'ils reçoivent doit être garantie a tout moment car toutes données utile ne doit être perdue, que ce soit dans l'espace (perte des trames de données due a des problèmes au réseau) ou dans le temps (les trames de données n'arrivent pas a temps)

2.2.5 Avantages des systèmes AAL

- Améliorer la qualité de vie des personnes âgées et diminuer le coût des soins de santé en favorisant l'émergence de produits, services et systèmes novateurs, basés sur les technologies de l'information et de la communication (TIC)

- Soutenir le maintien de la santé et les possibilités fonctionnelles des personnes âgées
- Promouvoir un mode de vie plus sain pour les personnes à risque
- Renforcer la sécurité, empêcher l'isolement social et soutenir le maintien d'un réseau multi-fonctionnel autour des personnes âgées
- Aider les familles et les organismes de soin
- Accroître l'efficacité et la productivité des ressources utilisées dans les sociétés vieillissantes

2.2.6 Intégration du Wi-Fi 7 dans les systèmes AAL

Le réseau sans fil IEEE 802.11 est la future norme des réseaux de communication. La norme 802.11be (Wi-Fi 7) est la future nouvelle norme qui changera les communications sans fil. Sachant que L'Internet des Objets évolue avec l'évolution des réseaux sans fil, le Wi-Fi 7 sera un élément motivateur majeur vers l'évolution des systèmes AAL. Afin de réaliser l'intégration entre eux, il faudra répondre a certaines exigences qui nécessitent des changement et des améliorations dans la couche physique, notamment la méthode UL OFDMA. Plus précisément, l'amélioration de UORA est la nécessité que l'on doit remédier qui peuvent être utilisé dans les systèmes AAL orienté IoT qui nécessitent une bonne fiabilité, une latence basse et une transmission de données rapide.

2.3 Les travaux de recherches sur le Wi-Fi sur les systèmes AAL

K. Kosek-Scott et al.[8] se sont focalisé a optimiser le mécanisme UORA OBO. Surnommé le E-OBO (Enhanced OBO), cet amélioration consiste a modifier la méthode de décrémentation du OFDMA BackOff (OBO).

Dans la version de base, on décrémente de l'OBO le nombre de RA-RUs disponibles. Avec E-OBO, on décrémente du OBO le nombre de RA-RUs (n_{RU}) disponible multiplié a une variable α que l'on alloue une de ces valeurs 0;1;2 (*alpha* = 1 par défaut) :

$$\mathbf{OBO} \leftarrow \mathbf{OBO} - (\alpha * n_{RU})$$

La variable α sera incrémentée ou décrémentée selon deux possibilités : P_{RU}^u et P_{RU}^e calculés ainsi :

$$P_{RU}^u = \frac{\sum_{i=1}^{\zeta} n_{RU}^u(i)}{\sum_{i=1}^{\zeta} n_{RU}^s(i) + n_{RU}^u(i) + n_{RU}^e(i)}$$

$$P_{RU}^e = \frac{\sum_{i=1}^{\zeta} n_{RU}^e(i)}{\sum_{i=1}^{\zeta} n_{RU}^s(i) + n_{RU}^u(i) + n_{RU}^e(i)},$$

FIGURE 19 – Formule de calcul de P_{RU}^u et P_{RU}^e

n_{RU}^e n_{RU}^u n_{RU}^s sont les nombres de RU vides, sans succès et avec succès respectivement.

Si $P_{RU}^u \geq 0.33$ et $P_{RU}^e < 0.33$ (beaucoup de RUs sans succès et très peu de RUs vides), l'AP mets a jour le paramètre α qui sera décrémentée de 0.1. Si $P_{RU}^u \leq 0.5$ et $P_{RU}^e \geq 0.5$ (très peu de RUs sans succès et beaucoup de RUs vides), l'AP mets a jour le paramètre α qui sera incrémentée de 0.2. Sinon, la valeur α

A. Yang et al.[1] proposent une méthode qu'ils ont nommé G-UORA (Grouped UORA) dans le cadre de la norme 802.11ax. Elle veut que le AP divise les STAs et les RUs en différents groupes avec un ID de groupe (GID). Les STAs ne peuvent accéder aléatoirement que vers les RUs possédant un même GID. L'AP regroupe les STAs en différents groupes dépendamment de l'utilité de la station et alloue raisonnablement les RUs conformément aux exigences de l'utilité des groupes STA.

Détails :

- D'abord, l'AP diffuse une Beacon Frame qui contient les informations de groupement STA. Chaque STAs possède un GID (Group ID) défini par l'AP et dans le cas d'un même GID, cela signifie que STA sont du même groupe. Si il n'existe pas d'information GID sur la Beacon Frame reçu, la STA maintient son groupe.
- Ensuite, la TF envoyé par l'AP transporte les informations de regroupement des RUs. Ces RUs auront aussi un GID défini par l'AP comme les STAs et les RUs possédant un même GID fait partie du même groupe.
- La valeur décrétementée chaque fois que G-UORA est utilisé sera la même qu'UORA qui est le nombre total des RUs. Lorsque les STAs tente d'accéder au réseau, les RUs du même groupe peuvent être accédé aléatoirement.
- Afin d'améliorer l'utilité ou la satisfaction des utilisateurs dans le réseau, le GID des STA et le GID des RUs doivent être déterminés par l'algorithme d'allocation des ressources basé sur l'utilité correspondant.

Cette méthode permet de mieux allouer les ressources en fonction des besoins des utilisateurs, ce qui contribue à améliorer la satisfaction et l'efficacité du réseau.

Zhaozhe Jiang et al. [6] ont proposé un schéma de garantie de latence basé sur l'OFDMA pour l'accès aléatoire dans les réseaux WLAN, en particulier dans la norme IEEE 802.11be. L'algorithme proposé utilise une trame de déclenchement (TF) pour réserver dynamiquement des unités de ressources (RUs) appropriées pour le trafic sensible à la latence. L'estimation du nombre de STAs ayant des données sensibles à la latence (ME) est réalisée en utilisant des informations sur les RUs choisies par les STAs et le nombre de paquets reçus. Une fois le ME estimé, ils proposent d'allouer le nombre optimal de RUs NDS (nombre de RU pour les STA sensible a la latence) aux STAs sensibles à la latence pour maximiser l'efficacité d'accès.

La figure 20 ci-dessous les Procédures de l'algorithme proposé.

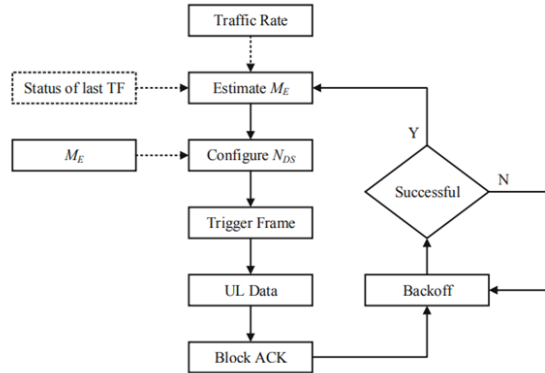


FIGURE 20 – Procédures de l'algorithme Zhaozhe Jiang et al.

Y. Ahmad Qadri et al. [14] ont proposé un algorithme de planification OFDMA. L'algorithme proposé prend en compte les tailles de file d'attente des différents ACs (Access Categories) en plus des décisions de planification précédentes pour déterminer l'OBO d'une station afin de lui allouer une RU pendant UL OFDMA. Pour se faire, on calcule la priorité de chaque STA avec les paramètres $Queue(AC_j)$ qui est la longueur de la file d'attente de chaque AC, $Weight(AC_j)$ qui est la priorité de chaque AC (par défaut $ACVO > ACVI > ACBE > ACBK$) et $TXOP_{previous}(STA_i)$ qui est l'indicateur des transmissions en rafale TXOP précédentes par la STA i. La formule ci-dessous est la formule utilisé pour calculer la priorité de chaque STA :

$$Priority(STA_i) = \sum_{j=1}^4 Queue(AC_j) \times Weight(AC_j) \times TXOP_{previous}(STA_i)$$

FIGURE 21 – Formule déterministe de la priorité d'une station i

Lorsque la priorité sera calculé, les RU (tirés du TF envoyé) des stations seront ordonnées en un ordre de priorité croissant puis tente une transmission. La figure suivante montre le processus de l'algorithme proposé sous forme d'organigramme :

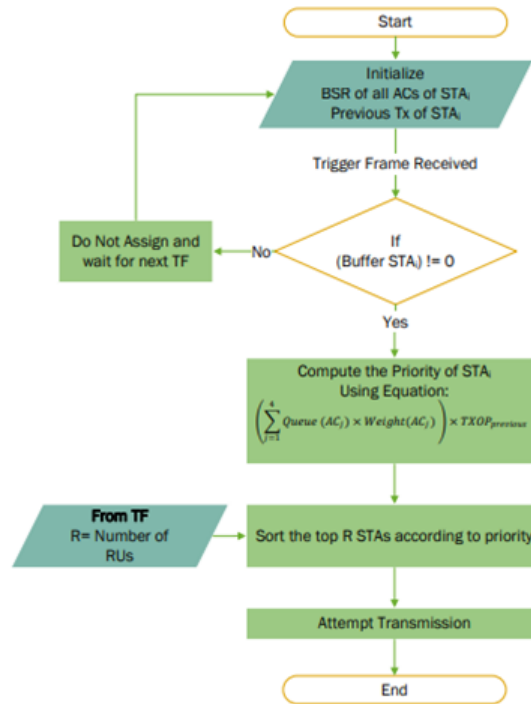


FIGURE 22 – Organigramme de la méthode de Y. Ahmad Qadri et al.

3.1. Y. Kim et al. [7] ont proposé un nouveau schéma de tirage du temps OFDMA BackOff (OBO) pour améliorer l'efficacité d'utilisation des canaux dans le cas des réseaux IoT à haute densité. Dans ce schéma, chaque station pourra déterminer son compteur OBO en suivant le principe d'accès distribué au lieu d'aléatoire. Le temps OBO dépendra de l'état de transmission de la trame précédemment envoyée, c'est-à-dire l'acquiescement de ce dernier est reçue ou non. L'idée du contrôle OBO proposé peut être simplement représentée comme dans la figure 23 :

$$\text{OBO} = \text{OBO} - \alpha \times \text{Mr}_{ru}$$

$$\alpha = \begin{cases} \text{Min}(\alpha + \delta, \alpha_{max}), & \text{en cas de réussite de la transmission.} \\ \text{Max}(\alpha - \delta, \alpha_{min}), & \text{en cas d'échec de la transmission.} \end{cases}$$

FIGURE 23 – Formule de calcul de contrôle OBO

Où Mr_{ru} est le nombre des RA-Rus et $\alpha (> 0)$ est un pas fixe pour changer la valeur de α , tandis que α_{max} et α_{min} ($0 < \alpha_{min} \leq 1 \leq \alpha_{max}$) sont les valeurs maximale et minimale de α .

Ce schéma est composé de trois principales procédures qui sont : Réception de la trame Trigger Frame (Received TF ()), ACK expiré (ACK TimeOut ()) et ACK reçu avec succès (Received ACK ()) sont décrites dans le tableau suivant :

Received TF()	ACK_TimeOut()	Received_ACK()
<pre> procedure RECEIVE_TF() Read the value of Mr_{ru} switch Scheme type do case UORA_STD or OPT_OCW OBO = OBO - Mr_{ru} case OBO_CTRL OBO = OBO - $\alpha \times \text{Mr}_{ru}$ end if OBO = 0 then Access a random RU else Wait for the next trigger frame end end </pre>	<pre> procedure ACK_TIMEOUT() switch Scheme type do case UORA_STD OCW = 2 * (OCW + 1) - 1 OCW = min(OCW, OCW_{max}) case OPT_OCW OCW = Get_Opt_OCW(Mr_{ru}, N_{sta}) case OBO_CTRL OCW = 2 * (OCW + 1) - 1 OCW = min(OCW, OCW_{max}) $a = a - d$ $a = \max(a, a_{min})$ end Select a new random integer OBO (1_ OBO _ OCW) end </pre>	<pre> procedure RECEIVE_ACK() switch Scheme type do case UORA_STD OCW = OCW_{min} case OPT_OCW OCW = Get_Opt_OCW(Mr_{ru}, N_{sta}) case OBO_CTRL OCW = OCW_{min} $a = a + d$ $a = \min(a, a_{max})$ end Select a new random integer OBO (1_ OBO _ OCW) end </pre>

FIGURE 24 – Procédures du schéma de Y.Kim et al. [7]

2.4 Conclusion

Pour conclure, nous venons de présenter les systèmes AAL, les Internet of Things, leurs architecture, leur domaines d'applications ainsi que l'utilisation des systèmes AAL orienté IoT. Nous avons aussi présenté les exigences des systèmes AAL ainsi que leur avantages. Nous avons également présenté pourquoi l'implémentation du Wi-Fi 7 pour les systèmes AAL et les travaux de recherches concernant l'intégration de la Wi-Fi 7 dans les systèmes AAL.

Dans le prochain chapitre, nous allons nous concentrer d'avantages sur comment améliorer l'intégration de la Wi-Fi 7 dans les systèmes AAL, les performances tirés de ces améliorations et évaluer les différents travaux de recherches appliqués.

3 Chapitre 3 : Proposition et évaluation de performance

3.1 Introduction

Dans le domaine des réseaux sans fil, l'allocation efficace des ressources radio et la gestion du trafic sont des aspects essentiels afin d'assurer des performances optimales. La technique UORA, une technique largement utilisée dans ce contexte, propose une approche opportuniste basée sur l'allocation aléatoire des unités de ressources et le principe de compétition entre les stations pour justement permettre des transmissions simultanées et aussi multi-utilisateurs. Cependant, malgré ses avantages, UORA présente certaines limites dans son fonctionnement, notamment en terme de taux élevés de collisions dus principalement à la stratégie d'allocation de ressources basée sur le tirage aléatoire. Des recherches ont été faites dans le but d'améliorer le fonctionnement de UORA et de y remédier à ses limites.

Dans ce chapitre, nous allons nous concentrer sur UORA et ses détail tout en proposant une version améliorée de UORA qu'on va nommer UORA améliorée ou E-UORA pour Enhanced-UORA. Nous allons ensuite réaliser une évaluation de performances de UORA et E-UORA. Pour ce faire, nous allons calculer trois métriques à savoir le délai d'attente, la fiabilité et le débit et réaliser la comparaison entre UORA et E-UORA suivant l'augmentation du nombre d'unités de ressources.

3.2 Problématique et motivation

UORA est une technique basée sur le principe de compétition entre les stations utilisées dans les réseaux. Parmi toutes les RUs disponibles, le point d'accès, le coordinateur, mis en places des RUs pour être attribuées aléatoirement à ses stations à chaque phase UL, elles sont des RA-RUs (Random Access RUs), tout en sachant que le nombre de RUs disponibles peut varier à chaque cycle. La figure illustre l'organigramme de UORA montrant son fonctionnement en détail.

Après une étude exhaustive de la technique UORA et les travaux de recherche dans la littérature sur UORA, nous déduisons que UORA est confrontée à quatre principaux problèmes, expliqués dans les points suivants :

- **Décrémentement de OFDMA Backoff** : Ce premier problème survient dans la phase de contention où la décrémentation de OBO dépend du nombre de RA-RU disponibles, Par conséquent, plus le nombre de RUs est petit, plus la probabilité d'accéder au canal de transmission pour les stations diminue. De plus, contrairement aux réseaux WiFi antérieurs où le compteur BO est utilisé pour éviter les collisions et différer les transmissions des stations, dans UORA, il n'y a pas d'écoute de la RU durant OBO. OBO est utilisé seulement pour donner la permission ou non à une station de tirer une RU pour transmettre directement sur cette RU.
- **Allocation des RA-RU** : Ce second problème se pose dans la stratégie d'allocation des RARU qui est basée sur une sélection aléatoire. Ce qui fait que plusieurs stations peuvent choisir la même RU et par conséquent, plus le nombre de stations augmente, plus le taux de collision augmente.
- **Ressources Gaspillées** : Ce troisième problème revient au concept de UORA qui se base sur l'attribution d'un RU pour chaque STA ayant son OBO nulle ou négatif. Cependant, à la fin de l'attribution, des RUs peuvent être non-attribuées à chaque cycle, ce qui est un gaspillage de plusieurs ressources potentiels pour transmettre un plus grand nombre de trames de données en un cycle.

- **Absence de QoS implémentée** : Ce quatrième problème revient à ce que, même si toutes les stations transmettaient avec succès, des trames de type Background ou de type Best Effort ont aucun soucis à être transmises une trame par cycle. Cependant, des trames de type Vidéo ou de type Voix ont besoin d'être transmises plus rapidement car un utilisateur a besoin de ces informations en temps réel pour recevoir une bonne vidéo en direct ou une voix compréhensible. C'est pourquoi un manque de QoS donne des vidéos qui se coupent à tout moment et des voix qui bégayent. De plus, le problème principal dans son implémentation revient à la limitation des durées des transmissions Uplink et DownLink qui sont organisées en cycles. Par conséquent, les classes de trafic vidéo et voix ne peuvent y profiter à transmettre plusieurs trames de données en rafale durant le temps TXOPLimit tout en sachant que TXOPLimit est un paramètre prometteur pour garantir la QoS dans les réseaux WiFi.

Les détails des paramètres que nous avons utilisés dans les schémas, organigrammes et simulation sont présentés dans les tables 1 et 2 ci-dessous.

Catégorie d'accès	AIFS	CWmin	CWmax	TXOP
AC-BK	79	15	1023	1
AC-BE	43	15	1023	1
AC-VI	34	7	15	variable
AC-VO	34	3	7	TXOP-VI/2

TABLE 1 – Paramètres des différentes catégories d'accès (ACs).

Paramètres	Description	Valeur (unité)
BW	Bandwidth	20 MHz
AC	Access Category	BK, BE, VI, VO
OCW[AC]	OFDMA Contention Window of AC	Valeur de OCW[AC]
OCWmin[AC]	OFDMA minimal Contention Window of AC	15, 15, 7, 3
OCWmax[AC]	OFDMA maximal Contention Window of AC	1023, 1023, 15, 7
OBO[AC]	OFDMA BackOff of AC	Random[0,OCW[AC]]
SIFS	Short Interframe Space	16 us
TF	Trigger Frame	at least 28 Bitss
RU	Resource Unit	26 tones
RU[AC]	RU of AC	Random [RU-1, RU-RARU]
NB-RU[AC]	NumBer of Resource Unit gained by AC VI for MRU	variable
NB-RARUs	NumBer of Random Access RU	[1,9]
NB-STAs	NumBer of STAtions	15
NB-Cycles	NumBer of Cycles	2000
Nss	Number of spatial streams	1 antenna
GI	Guard Interval	0.8 μ s

TABLE 2 – Paramètres PHY et MAC de IEEE 802.11be

L'organigramme de UORA est donné dans la figure suivante :

3.3 Proposition

Nous proposons une amélioration du fonctionnement de la technique UORA, que nous allons nommer E-UORA pour Enhanced UORA, en s'inspirant du travail des auteurs Y.Qadri et al. Dans le travail de Y.Qadri et al, que l'on appellera E-UORA pour

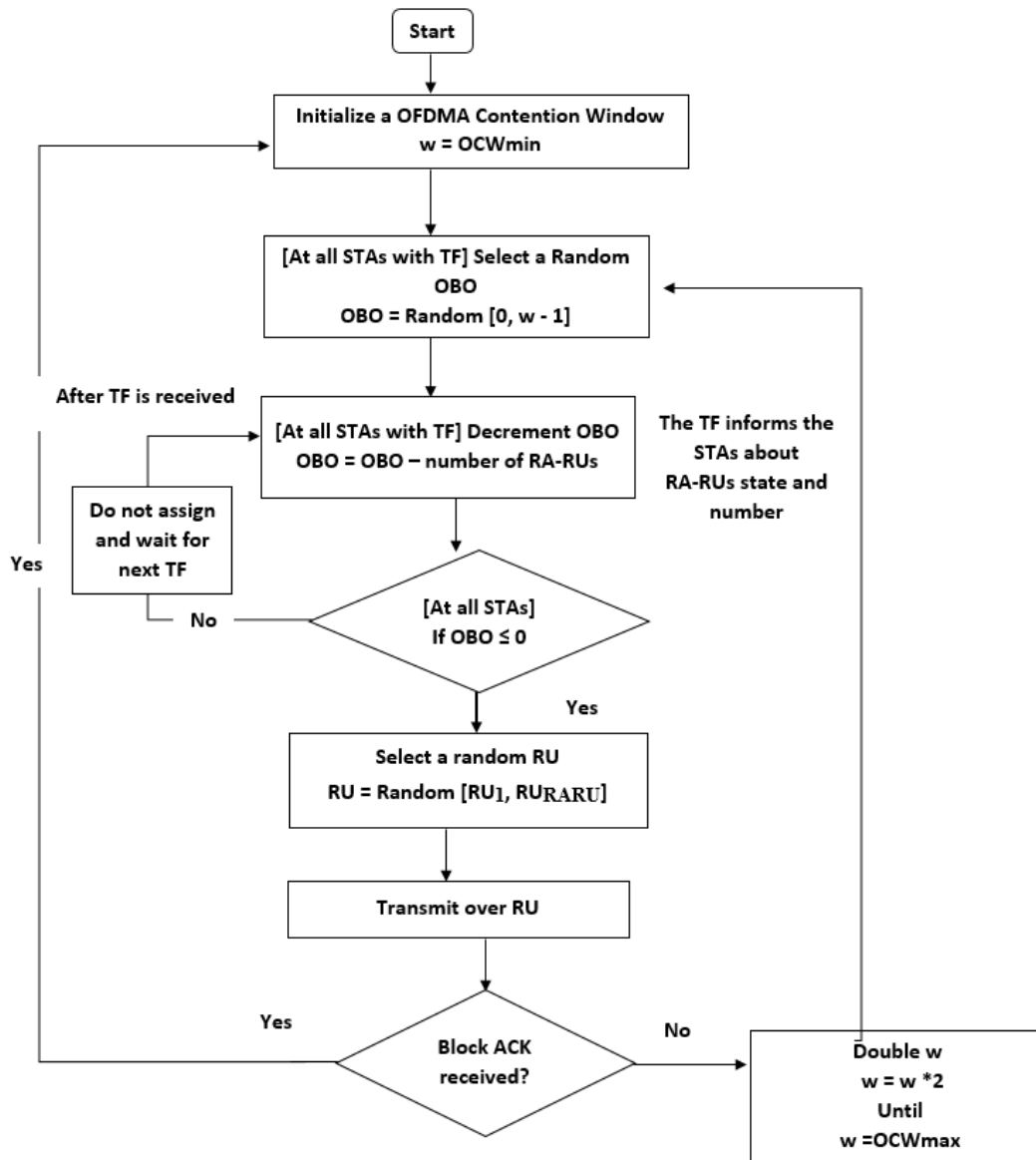


FIGURE 25 – Organigramme de UORA

simplifier, les stations auront chacune des trames de données qui seront catégorisées en quatre catégories selon le type de trame : AC-BK (Background), AC-BE (Best Effort), AC-VI (Video), AC-VO (Voice). Dans notre proposition, nous allons considérer seulement deux catégories : Background (la moins majoritaire parmi les catégories d'accès que l'on considérera comme secondaire) et Video (Le type de trame que les systèmes AAL transmettent principalement, on la considérera comme catégorie d'accès principale). Aussi, Le E-UORA utilise le $TXOP_{p,previous}$ comme facteur ; dans notre travail, le $TXOP_{p,previous}$ ne sera pas implémenté.

La figure ci-dessous illustre un schéma du fonctionnement de UORA avec QoS sans activer le paramètre TXOPLimit.

La trame BSRP (Buffer Status Report Poll) est transmise par le point d'accès pour interroger les stations sur leur besoin de transmettre, puis les stations répondent par un BSR (Buffer Status Report) pour confirmer leur besoin pour la transmission UL. Après réception d'un Block Ack par les stations, le point d'accès transmet une TF pour

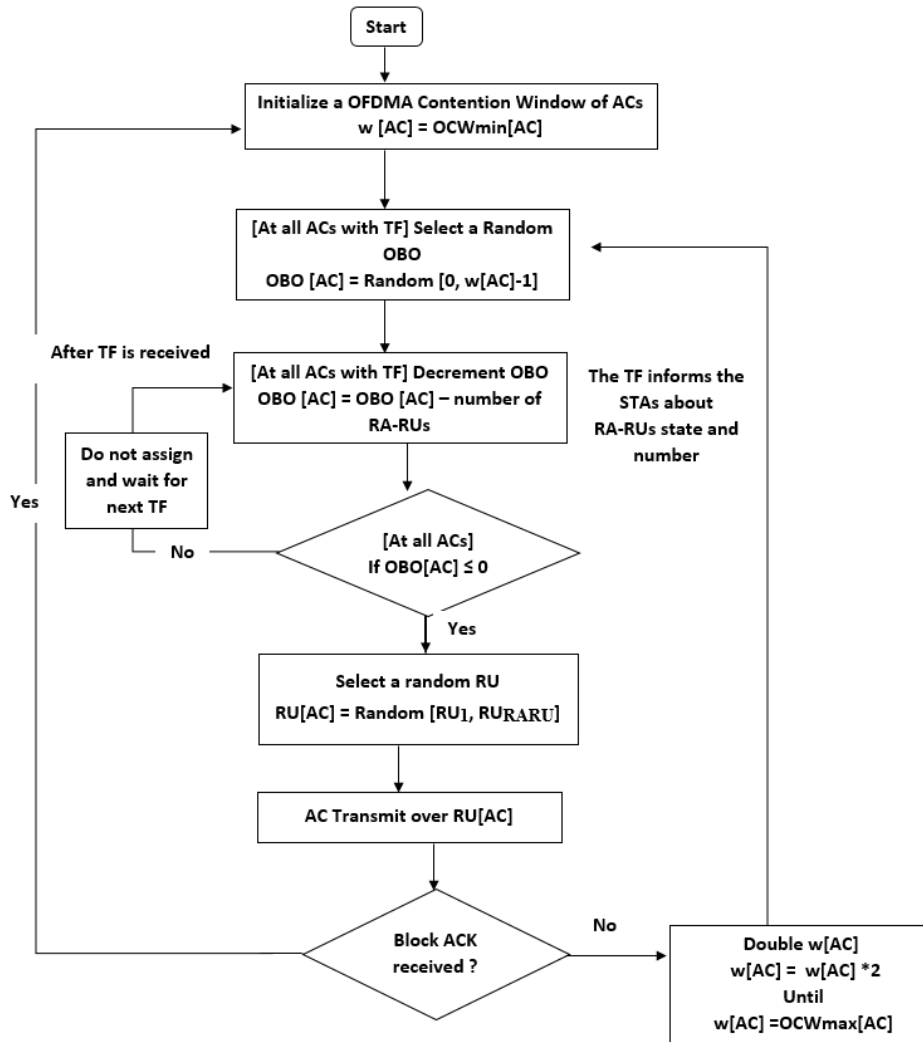


FIGURE 27 – Organigramme de UORA avec QoS

nement de UORA avec QoS, une seule trame VI peut être transmise sur une seule RU.

- Le nombre de RU libres est inférieur à la taille de TXOPlimit de VI : la AC VI ne peut transmettre le nombre de trames qui lui sont permises par son TXOLimit, mais au moins en lui permet de transmettre plusieurs trames dont le nombre est inférieur à la taille de TXOPlimit et est égal au nombre de RUs disponibles.
- Le nombre de RU libres est supérieur à la taille de TXOPlimit de VI : dans ce cas la AC VI doit choisir aléatoirement un nombre de RU qui est égal à la taille de sa TXOPlimit, même si des RUs devront restées libres et d'autres choisies par plusieurs AC-VI.

La figure 27 illustre un exemple de fonctionnement de E-UORA. Dans cet exemple, nous avons appliqué les mêmes étapes de la figure 26 pour les stations de type de catégorie d'accès Background puisque elles ne sont pas concernées par l'amélioration qu'on a apporté à UORA. Depuis la figure, nous remarquons que les stations STA1 BK, STA2 VI, STA5 VI ont pu transmettre avec succès, par contre les stations STA3

BK et STA 4 VI sont en collision, Par conséquent elle doivent doubler leur fenêtre de contention, tirer un nouveau OBO et attendre la réception d'une trame TF. Pour les stations Vidéo qui choisi une RU avec succès, donc les stations 2 et 5 vont aléatoirement choisir des RUs parmi les RUs libres pour transmettre plus de trames VI.

BSRP		BSR		E-UORA		Station = 5, RARU = 8	
							STA1 AC[BK]
							STA2 AC[VI]
			UL-OFDMA		Multi STAs BA		STA2 AC[VI], STA5 AC[VI] X
	TF-R					TF	STA2 AC[VI]
							STA2 AC[VI]
		UL-OFDMA		Multi STAs BA			STA3 AC[BK], STA4 AC[VI] X
							STA5 AC[VI]
							STA5 AC[VI]
SIFS		SIFS		SIFS		SIFS	

FIGURE 28 – E-UORA

Dans ce cas de figure, on voit que la station 2 a gagné 3 + 1 RARU au lieu de 1 seule et la station 5 a gagné 2 + 1 RARU au lieu de une seule. Après transmissions sur les multiplzq RU, la station 2 a transmis 3 trames avec succès sur les RU = 2 , RU = 4 et RU = 5 et la station 5 a transmis 2 trames avec succès sur la RU = 7 et la RU = 8. Cependant, dans RU = 3, les deux stations 2 et 5 sont en collision sur la RU = 3 alors on considère les trames transmises sur cette RU comme échouées. Donc, pour 5 stations et 8 RU, on a 6 RU a succès et 2 en collisions qui est une grande différence positive comparé à UORA avec QoS.

L'organigramme de E-UORA est donné dans la figure ci-dessous :

3.4 Implémentation, Simulation et Évaluation de performances

Dans cette section, nous allons justifier le choix du langage de programmation utilisé, définir les métriques de performances, évaluer et comparer les performances de UORA et UORA amélioré et enfin analyser les résultats simulations.

3.4.1 Langage de programmation

Pour ce projet, nous utiliserons Python, un langage de programmation très réputé. Il permet aux utilisateurs de créer des scripts, des fonctions et des programmes pour une multitude de tâches et de problèmes, y compris des problèmes mathématiques. Grâce à sa syntaxe intuitive et à sa vaste bibliothèque de fonctions, Python facilite le développement de notre simulation.

Le langage Python sera utilisé avec le logiciel Spyder, un logiciel conçu pour utiliser Python afin de créer des programmes quel que soit le but du programme.

3.4.2 Métriques de performances et paramètres de simulation

Pour comparer et évaluer les performances des deux techniques UORA original et UORA amélioré, nous allons réaliser trois cas d'utilisation ou d'étude en fixant le nombre

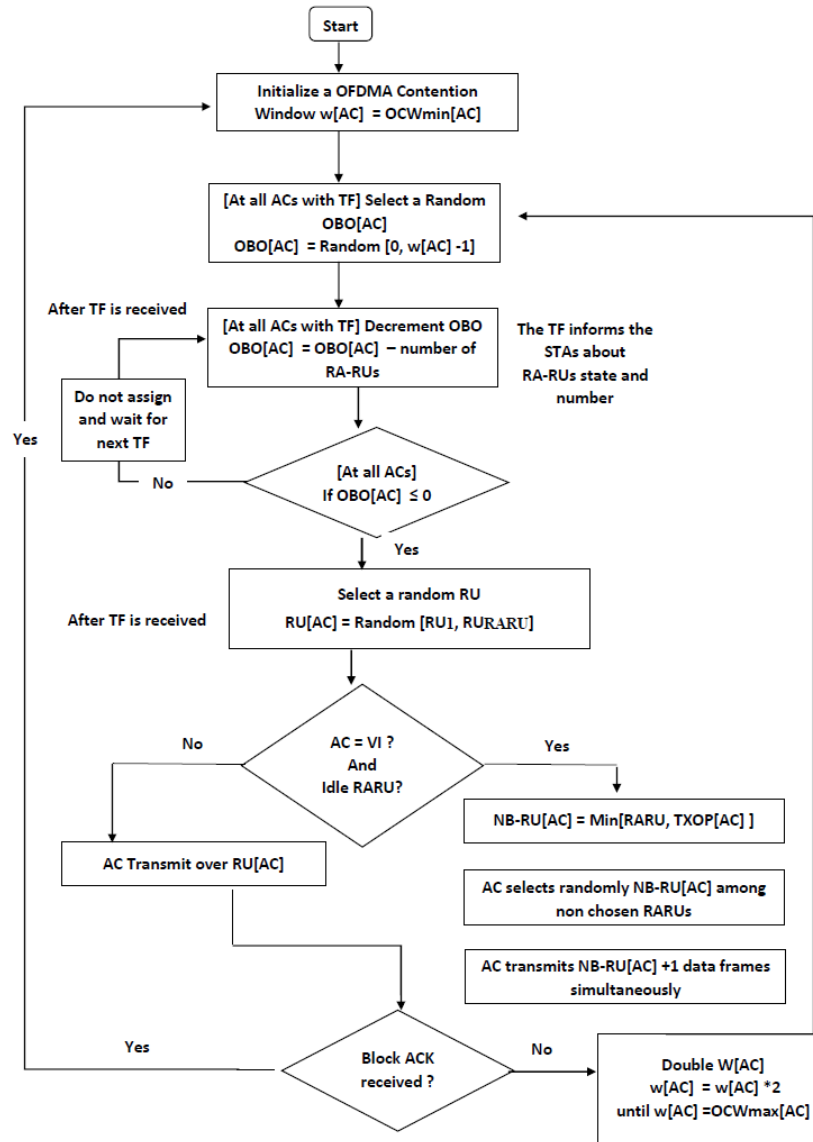


FIGURE 29 – Organigramme de E-UORA

de stations à un nombre moyen de 15 et en variant le nombre de RU à accès aléatoires, en passant depuis un nombre minimum $RU = 1$ jusqu'à un nombre maximum de $RU = 9$, Sachant que, dans chaque station physique, nous avons considéré deux stations virtuelles ou classes de trafics VI et BE. Par contre, nous n'avons pas considéré la variation du nombre de stations vu que les systèmes AAL de IoT ne s'intéressent pas à la densité mais à la fiabilité avec un moindre délai d'attente et un bon débit.

Pour les métriques de performances, nous avons pris en considération trois, à savoir :

- Le temps d'attente : c'est le temps moyen d'attente avant l'accès à une RU à accès aléatoire.
- La fiabilité : C'est le nombre moyen de RUs à accès aléatoire utilisées avec succès durant tous les cycles par toutes les stations.
- Le débit effectif individuel et global :
 - Le débit individuel de VI ou BE ; C'est la quantité de données UL moyenne transmise par les classes de trafic Vidéo ou BestEffort, respectivement et durant

tous les cycles.

- Le débit effectif global : C'est la quantité de données UL moyenne transmise par les classes de trafic Vidéo et BestEffort par toutes les stations et durant tous les cycles.

Le débit sera mesuré par le nombre de bits transmis.

Les trois cas d'études sont les suivants :

- L'impact du nombre de RU aléatoire sur le délai d'attente
- L'impact du nombre de RU aléatoire sur la fiabilité
- L'impact du nombre de RU aléatoire sur le débit individuel et le débit effectif global.

Les comparaisons se feront entre trois catégories : La catégorie d'accès Video (AC-VI), la catégorie d'accès Background (AC-BK) et les deux catégories d'accès simultanément. Les figures illustrant ces comparaisons seront affichées dans les figures ci-dessous.

3.5 Évaluation de performances et analyse des résultats

Dans cette partie du chapitre, on comparera l'impact du nombre de RUs disponible pour les méthodes UORA et E-UORA. Pour cela, on fixera le nombre des stations à $STA = 15$ et le nombre de cycle à $Cycle = 20000$ sachant que plus le nombre de cycles est haut, plus les courbes des figures seront plus précises en termes de comparaison des deux méthodes.

3.5.1 L'impact du nombre de RU aléatoire sur le délai d'attente

La première comparaison exécutée entre les deux UORA est l'impact du nombre des RUs disponible sur les délais d'attente des stations utilisant chaque méthode. Pour se faire, on calcule le nombre de stations qui n'ont pas encore transmis divisé par le nombre des stations qui ont transmis leurs trames avec succès.

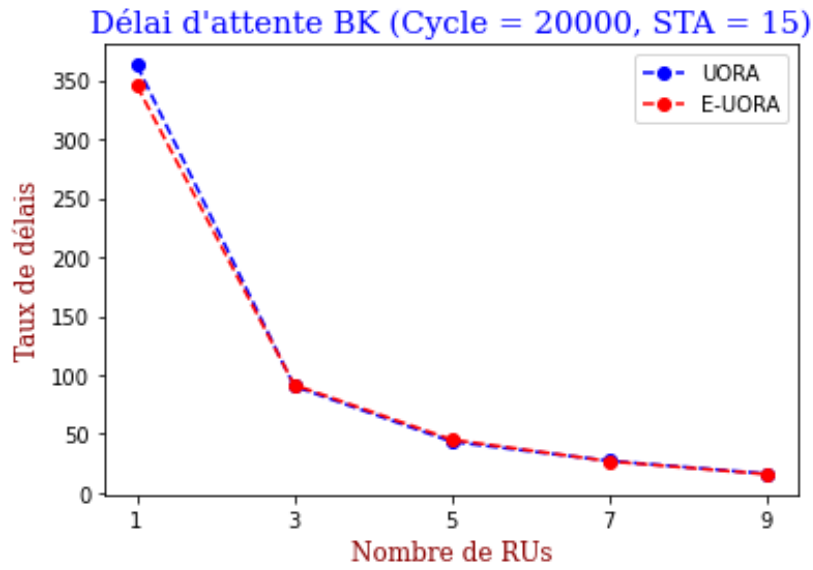


FIGURE 30 – Délai d'attente BK Versus le nombre de RA-RUs

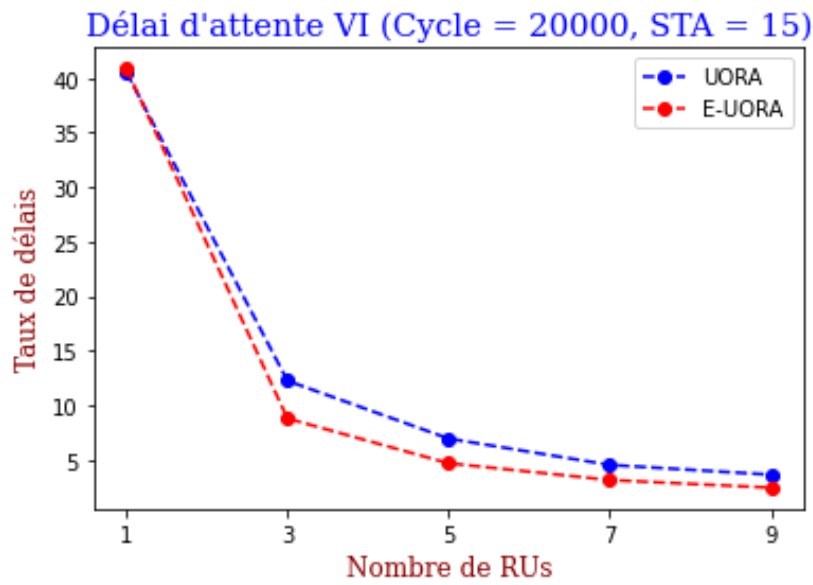


FIGURE 31 – Délai d'attente VI Versus le nombre de RA-RUs

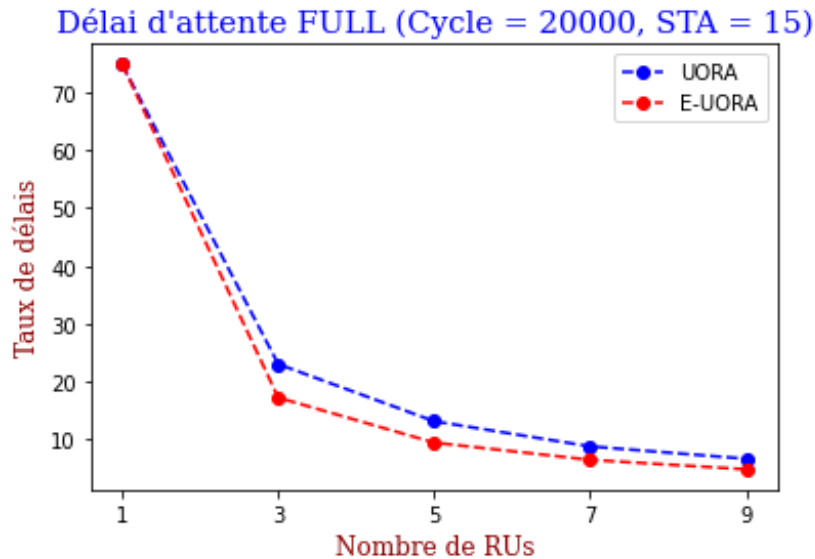


FIGURE 32 – Délai d'attente BK + VI Versus le nombre de RA-RUs

Dans les figures 30, 31 et 32, nous observons les variations des délais d'attente pour la catégorie d'accès Background (BK), la catégorie d'accès Video (VI) et les deux catégories d'accès simultanément respectivement pour les deux méthodes UORA et E-UORA en fonction du nombre des RUs à accès aléatoire. Les délais d'attente seront calculés par le nombre de stations en attente divisé par le nombre de trames transmises à succès.

Catégorie d'accès Background : Dans la figure 30, on remarque pour le nombre de RUs = 1, le délai d'attente des deux méthodes UORA et E-UORA sont similaires. Lors de l'augmentation du nombre de RUs à partir de RUs = 3, on remarque que les deux méthodes ont la même délai d'attente. Lorsqu'on fixe le nombre de RUs à 9, on remarque que le délai d'attente des deux méthodes ont presque atteint 0.

On déduit donc que les deux méthodes UORA et E-UORA ont le même délai d'attente pour les trames de catégorie d'accès Background

Catégorie d'accès Video : Dans la figure 31, on remarque pour le nombre de RUs = 1, les délais d'attente des deux méthodes UORA et E-UORA sont similaires. Lors de l'augmentation du nombre de RUs à partir de RUs = 3, on remarque que le délai d'attente de E-UORA est beaucoup plus bas que UORA. Lorsqu'on change le nombre de RUs à RU= 9, E-UORA est toujours plus bas que UORA côté délai d'attente.

On déduit donc que la méthode UORA a un délai d'attente plus élevé que E-UORA pour les trames de catégorie d'accès Vidéo

Catégorie d'accès Background + Video : Dans la figure 32, on remarque pour le nombre de RUs = 1, les délais d'attente des deux méthodes UORA et E-UORA sont similaires. Lors de l'augmentation du nombre de RUs à partir de RUs = 3, on remarque que le délai d'attente de E-UORA est beaucoup plus bas que UORA. lorsqu'on change le nombre de RUs à RU= 9, E-UORA est toujours plus bas que UORA côté délai d'attente.

On déduit donc que la méthode UORA a un délai d'attente plus élevé que E-UORA pour les trames de catégorie d'accès BK + VI

3.5.2 L'impact du nombre du RU aléatoire sur la fiabilité

La première comparaison exécutée entre les deux UORA est l'impact du nombre des RUs disponible sur la fiabilité des stations utilisant chaque méthode. Pour se faire, on calcule le nombre de stations qui ont transmis avec succès divisé par le nombre de toutes les stations.

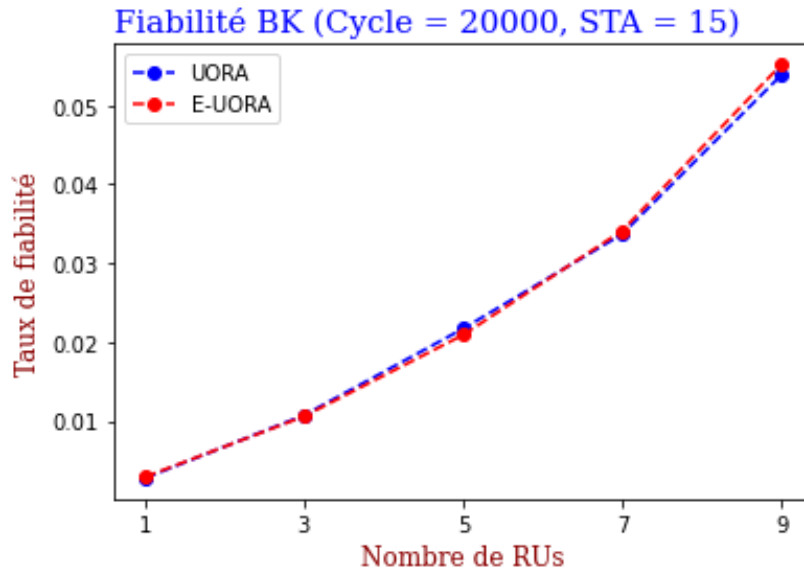


FIGURE 33 – Fiabilité BK Versus le nombre de RA-RUs

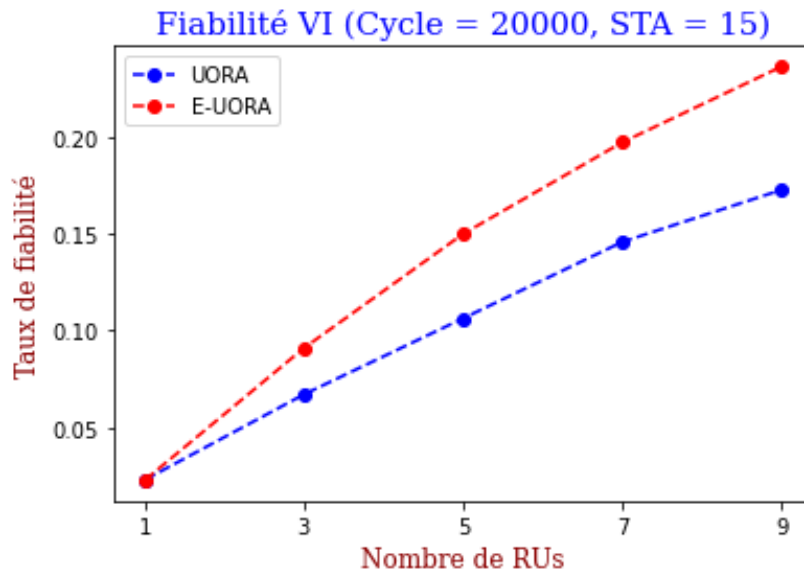


FIGURE 34 – Fiabilité VI Versus le nombre de RA-RUs

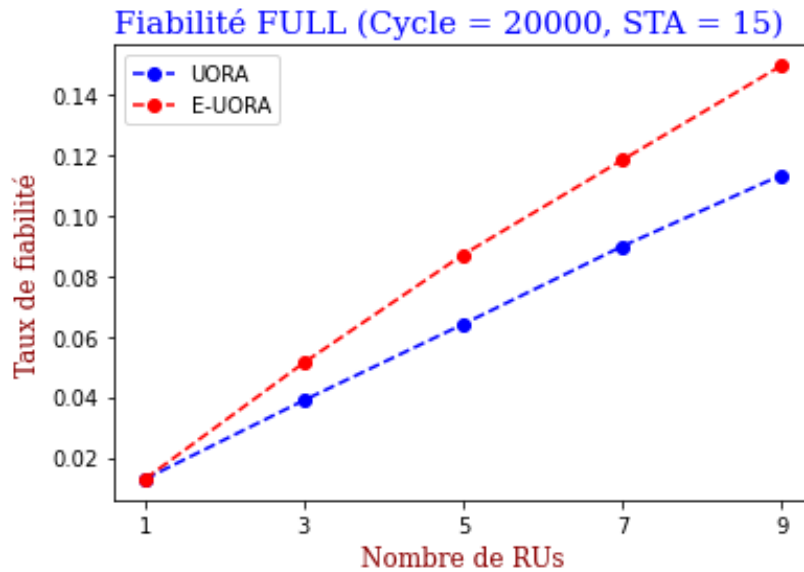


FIGURE 35 – Fiabilité VI + BK Versus le nombre de RA-RUs

Dans les figures 33, 34 et 35, nous observons les variations de la fiabilité pour la catégorie d'accès Background (BK), la catégorie d'accès Video (VI) et les deux catégories d'accès simultanément respectivement pour les deux méthodes UORA et E-UORA en fonction du nombre des RUs à accès aléatoire. La fiabilité sera calculée par le nombre de transmissions de trames à succès divisé par le nombre de stations.

Catégorie d'accès Background : Concernant la figure 33, on voit que pour le nombre de RUs = 1, la fiabilité de la méthode UORA est identique à la fiabilité de la méthode E-UORA étant nul. Puis, à partir du nombre de RUs = 3 jusqu'à RUs = 9, on remarque que les deux méthodes ont la même fiabilité de l'une à l'autre. On déduit donc que les deux méthodes ont la même fiabilité pour les trames de type catégorie d'accès Background.

Catégorie d'accès Video : Concernant la figure 34, on voit que pour le nombre de RUs = 1, la fiabilité de la méthode UORA est identique à la fiabilité de la méthode E-UORA étant nul. Puis, à partir du nombre de RUs = 3, jusqu'à RUs = 9, on remarque une plus grande hausse de la fiabilité E-UORA comparé à la hausse de la fiabilité de UORA. On déduit donc que la méthode E-UORA a une meilleure fiabilité que celle de UORA lors de la transmission des trames de catégorie d'accès Video.

Catégorie d'accès Background + Video : Concernant la figure 35, on voit que pour le nombre de RUs = 1, la fiabilité de la méthode UORA est identique à la fiabilité de la méthode E-UORA étant nul. Puis, à partir du nombre de RUs = 3, jusqu'à RUs = 9, on remarque une plus grande hausse de la fiabilité E-UORA comparé à la hausse de la fiabilité de UORA. On déduit donc que la méthode E-UORA a une meilleure fiabilité que celle de UORA lors de la transmission des trames de catégorie d'accès BK et VI simultanément.

3.5.3 L'impact du nombre du RU aléatoire sur le débit

La troisième et dernière comparaison exécutée entre les deux UORA est l'impact du nombre des RUs disponible sur le débit des stations utilisant chaque méthode. Pour se

faire, on calcule le nombre de bits que les stations ont transmis a chaque itération du nombre des RUs disponible.

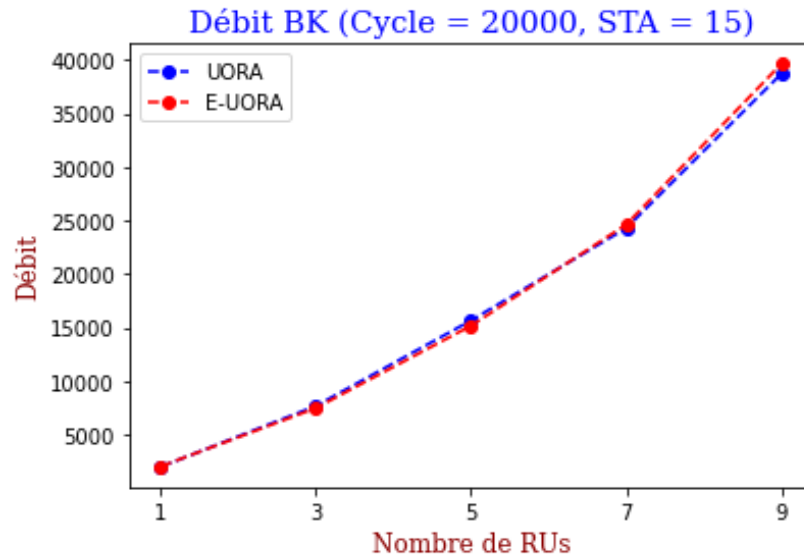


FIGURE 36 – Débit BK Versus le nombre de RA-RUs

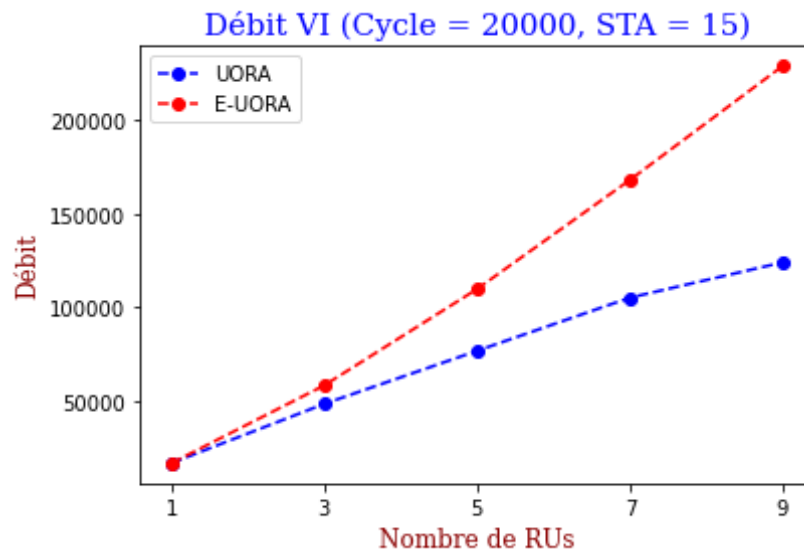


FIGURE 37 – Débit VI Versus le nombre de RA-RUs

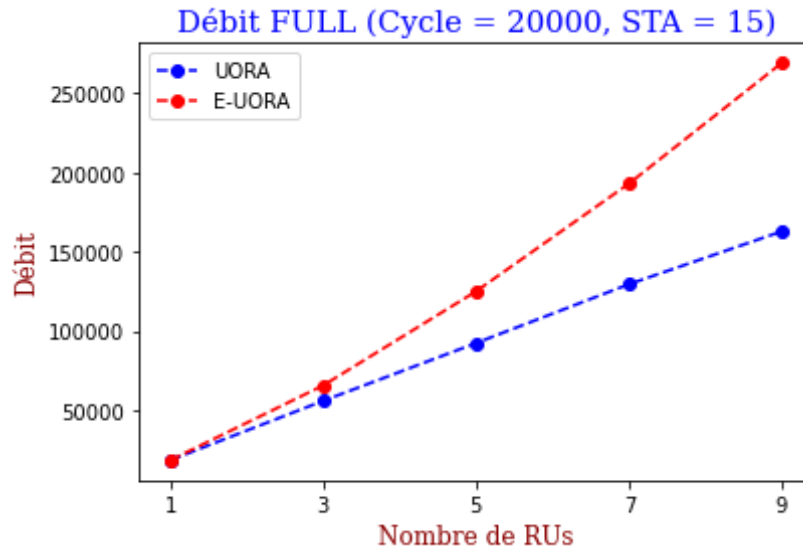


FIGURE 38 – Débit BK + VI Versus le nombre de RA-RUs

Dans les figures 36,37 et 38, nous observons les variations du débit pour la catégorie d'accès Background (BK), la catégorie d'accès Video (VI) et les deux catégories d'accès simultanément respectivement pour les deux méthodes UORA et E-UORA en fonction du nombre des RUs à accès aléatoire. Le débit sera mesuré par le nombre de bits transmis.

Catégorie d'accès Background : Concernant la figure 36, on voit que pour le nombre de RUs = 1, le débit est quasi-nulle pour les deux méthodes. Puis, à partir du nombre de RUs = 3, on remarque que les deux méthodes ont le même débit jusqu'à RU = 9.

On déduit donc que les deux méthodes ont la même efficacité pour les trames de type catégorie d'accès Background.

Catégorie d'accès Video : Concernant la figure 37, on voit que pour le nombre de RUs = 1, le débit est quasi-nulle pour les deux méthodes. Cependant, à partir du nombre de RUs = 3, le débit de la méthode UORA augmente moins comparé au débit que la méthode E-UORA a atteint. Quand on arrive au RUs = 9, le débit de la méthode E-UORA a atteint un taux de débit double comparé au débit de la méthode UORA.

On déduit donc que la méthode E-UORA transmet beaucoup plus de données comparé à la méthode UORA pour les trames de catégories d'accès Video.

Catégorie d'accès Background + Video : Concernant la figure 38, on voit que pour le nombre de RUs = 1, le débit est quasi-nulle pour les deux méthodes. Cependant, à partir du nombre de RUs = 3, le débit de la méthode UORA augmente très peu comparé à la méthode E-UORA qui a atteint un débit légèrement plus élevé. Quand on arrive au RUs = 9, le débit de la méthode UORA a atteint un débit de $1,6 \times 10^5$ bits comparé au débit de la méthode E-UORA qui a atteint $2,7 \times 10^5$.

On déduit donc que la méthode E-UORA transmet beaucoup plus de données comparé à la méthode UORA pour les trames de catégories d'accès BK + VI

Au final, la méthode E-UORA offre une plus haute fiabilité, un délai d'attente plus bas et beaucoup plus de trames transmises comparé à UORA lorsque l'on varie le nombre de RA-RUs disponible.

3.6 Conclusion

En conclusion, dans ce chapitre, nous avons examiné la méthode UORA et notre proposition d'amélioration E-UORA pour offrir une meilleure fiabilité, une latence moins importante et un débit plus élevé lors de la variation des unités de ressources aléatoires disponibles. On peut constater les imperfections de UORA tel que sa basse fiabilité et sa haute latence comparé a ce que E-UORA puisse offrir. Ainsi, E-UORA peut améliorer les performances du système en garantissant une meilleur fiabilité, une latence moins importante et un débit plus élevé avec le système de transmission en rafale. Cela permet une amélioration dans l'allocation des RUs et une hausse de débit en réduisant le taux des RUs gaspillés. Les résultats illustrés dans les graphes de ce chapitre montrent cette augmentation en débit et de fiabilité et une baisse considérable en délai d'attente. En améliorant ces trois métriques, E-UORA offre un service plus adapté aux systèmes AAL qui, plus les valeurs métriques sont optimisés, plus le fonctionnement des systèmes AAL est optimisé lui aussi. Tout cela renvoie à dire : L'amélioration E-UORA est une solution favorable pour les systèmes AAL orienté IoT ainsi que d'autres systèmes de communications en général.

Conclusion générale

En conclusion générale, ce mémoire a exploré l'évolution des réseaux Wi-Fi, plus précisément le Wi-Fi 7 et de l'optimisation des ressources dans le contexte de l'IEEE 802.11be et des systèmes AAL orienté Internet of Things.

Dans le premier chapitre, nous avons exploré les normes de communications sans fil IEEE 802.11, en se focalisant sur les différentes méthodes et fonctions utilisées dans les standards de communications IEEE 802.11 sous les aspects de la couche physique et la couche du contrôle d'accès au médium. Nous avons identifié les principales méthodes et fonctions utilisées dans ces couches pour assurer des communications sans fil efficaces et fiables.

Dans le second chapitre, on a présenté les systèmes AAL, les Internet of Things, leur architectures, leur domaines d'applications ainsi que l'utilité de l'implémentation du Wi-Fi dans ces réseaux 7 et les travaux fournis pour cette implémentation. Le Wi-Fi 7, en tant qu'extension du Wi-Fi 6, offre des performances améliorées, une faible latence et des débits de données plus rapides, ce qui permet d'exploiter pleinement le potentiel de l'IoT.

Enfin, dans le dernier chapitre, on a l'algorithme UORA, son fonctionnement et la version améliorée proposée E-UORA, qui est une meilleure version de UORA lorsqu'on l'on parle de fidélité, de délai d'attente et de débit. Une description des inconvénients de UORA a permis de créer E-UORA pour atténuer ces inconvénients. Les résultats d'E-UORA affichent une plus grande fidélité, des délais d'attente plus bas et un débit plus grand que son prédécesseur.

Pour finir, ce mémoire a abordé des aspects essentiels des réseaux sans fil, du Wi-Fi 7 et de l'optimisation des ressources. Il a fourni les méthodes et les fonctions utilisées dans les normes de communications IEEE 802.11, montrant ainsi l'importance de l'implémentation du Wi-Fi 7 dans les systèmes AAL orienté Internet of Things et a aussi présenté E-UORA, l'amélioration de UORA. Ces travaux contribuent à l'évolution des réseaux sans fils pour les Internet des Objets mais aussi une évolution dans le domaine de l'indépendance humaine et une voie dans le domaine de l'assistance médicale précédemment considéré comme un mythe.

Références

- [1] Yang ANNAN et al. “Utility optimization of grouping-based uplink OFDMA random access for the next generation WLANs”. In : (23 October 2020).
- [2] “Aware Home”. In : *Georgia Institute of Technology*, <http://www.cc.gatech.edu/fce/ahri> (2008).
- [3] D. Cesarini D. CALVARESI et al. “Exploring the ambient assisted living domain : a systematic review”. In : (2016).
- [4] “Domaines d’applications de l’IoT, travaux et risques Citation”. In : <https://wikimemoires.net/2019/09/domaines-d-applications-de-l-iot/> ().
- [5] “I-Living”. In : *University of Illinois at Urbana-Champaign, Assisted Living Project*. <http://lion.cs.uiuc.edu/assistedliving/> ().
- [6] Z. JIANG et al. “Latency oriented ofdma random access scheme for the next generation wlan : Ieee 802.11be”. In : *arXiv preprint arXiv :2106.03522*, (2021).
- [7] Youngbooo KIM, Lam KWON et Eun-Chan PARK. “OFDMA Backoff Control Scheme for Improving Channel Efficiency in the Dynamic Network Environment of IEEE 802.11ax WLANs”. In : *Sensors* 2021, 21, 5111. <https://doi.org/10.3390/s21155111> (2021).
- [8] K. KOSEK-SZOTT K ; Domino. “An Efficient Backoff Procedure for IEEE 802.11ax Uplink OFDMA-Based Random Access”. In : *IEEE Access* (2022).
- [9] Adlen KSENTINI. “Quality of service (QoS) in IEEE 802.11-based Wireless Local Area Networks (WLAN)”. In : (8/12/2005).
- [10] Xiaoqian LIUN. “IEEE 802.11be Wi-Fi 7 : Feature Summary and Performance Evaluation”. In : *TUGBoat* 14.3 (27 Sep 2023), p. 2.
- [11] S. Brahma M. YAZID. “Towards a Fair Allocation and Effective Utilization of Resource Units in Multi-User WLANs-Based OFDMA Technology”. In : (Jan 2023).
- [12] Mohamed El MASRI. “Contribution à la qualité de service dans les réseaux d’accès sans fil”. In : (9 juillet 2009).
- [13] BENAMARA Billal MOKRANI TARIK. “Adaptation de la carte réseau WIFI pour les applications IoT”. In : (2023).
- [14] Y. QADRI et al. “Preparing wi-fi 7 for healthcare internet-of-things.” In : (2022).

Résumé

Dans ce mémoire de Master, nous nous sommes intéressés aux réseaux sans fil Wi-Fi dans le contexte des systèmes d'assistance à l'autonomie à distance ou les systèmes AAL (Ambient Assisted Living) orienté IoT (Internet of Things). Nous avons étudié et proposé une version améliorée de la technique de transmission OFDMA Uplink à accès aléatoire ou UORA (UL OFDMA Random Access) appelée E-UORA (Enhanced-UORA) pour les applications à temps réel. Nous avons implémenté, simulé et évalué les performances de UORA ainsi que notre version améliorée E-UORA en utilisant le langage Python avec le logiciel Spyder. Cette étude a été réalisée en calculant trois métriques à savoir : La fiabilité, les délais d'attente et le débit, en variant le nombre de RU à accès aléatoire disponible à chaque itération. Les résultats de simulation montrent que notre méthode E-UORA augmente significativement la fiabilité, le débit et réduit les délais d'attente en comparaison à la méthode UORA

Mot Clés : UORA, IoT, AAL, Simulation, Évaluation

Abstract

In this Master's thesis, we focused on Wi-Fi wireless networks in the context of remote autonomy assistance systems or IoT-oriented AAL (Ambient Assisted Living) systems (Internet of Things). We studied and proposed an improved version of the OFDMA Uplink Random Access (UL OFDMA Random Access) transmission technique called E-UORA (Enhanced-UORA) for real-time applications. We implemented, simulated and evaluated the performance of UORA as well as our improved version E-UORA using the Python language with the Spyder software. This study was carried out by calculating three metrics namely : Reliability, Wait Times and Throughput, by varying the number of randomly available RU at each iteration. Simulation results show that our E UORA method significantly increases reliability, throughput and reduces waiting times compared to the UORA method

Keywords : UORA, IoT, AAL, Simulation, Évaluation