

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA



Faculté des Sciences

Département d'Informatique

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de master
en informatique

Option : Ingénierie des logiciels

Thème :

Etude et simulation de deux topologies de réseaux sans fil Wi-Fi par
OMNET++

Par :

BOUMEDIENE Mohamed

Devant le jury composé de :

N.Benblidia	Maitre de conférences, Univ BLIDA	Présidente
F.Reguieg	Maitre-assistante, Univ BLIDA	Examinatrice
M.Bersali	Maitre-assistant, Univ BLIDA	Rapporteur

Blida, octobre 2014

Résumé

Les réseaux sans fil ont connu un déploiement très vaste à travers le monde. Parmi eux, on trouve la technologie Wi-Fi (Wireless Fidelity). Celle-ci se présente comme une solution alternative très fiable à l'infrastructure de communication filaire (réseaux locaux Ethernet) dans les environnements plus au moins étendue. Cependant, l'installation de réseaux Wi-Fi dans différents types d'environnement a connu plusieurs défis. La propagation aléatoire de signal, l'atténuation de la puissance de signal, la sécurité, le bruit de l'environnement, les interférences, les obstacles, et autres problèmes engendrés par la nature de l'environnement constituent des difficultés majeures pour le déploiement de réseaux Wi-Fi performants.

Dans ce contexte, plusieurs travaux et efforts sont réalisés pour surmonter ces différents défis et assuré une couverture Wi-Fi optimale pour des zones étendues. Le groupe *IEEE802.11* dédiée de la standardisation de la technologie Wi-Fi applique une topologie sur les réseaux Wi-Fi, afin que ces derniers puissent assurer la couverture d'une zone étendue, cette architecture s'appelle *l'architecture maillée*, elle est appliquée sur la variante *IEEE802.11s*, cette architecture utilise le principe de multi-sauts (*multi-hop*) pour assurer la communication entre deux nœuds distants. Le terme réseau maillé sans fil (*Wireless mesh network*) est souvent utilisé pour définir les réseaux sans fil respectent cette topologie.

De plus de travaux réalisés par le groupe *IEEE802.11*, il y a une compagnie spécialisé dans les technologies sans fil s'appelle *ALTAI*, qui exploite le principe de l'architecture cellulaire utilisée par les réseaux cellulaire mobiles (*3G/ LTE*), pour déployer des réseaux Wi-Fi étendue (*City Wide Wi-Fi*) par l'utilisation de ses propres équipements (stations de bases, points d'accès, CPE...).

L'objectif principal de notre projet est évalué les performances de ces deux différentes architectures (l'architecture cellulaire déployée par Altai, et

l'architecture maillée développée par le groupe IEEE802.11). Pour cela nous utilisons l'approche de simulation pour modéliser le comportement des réseaux cellulaires et maillés et prendre une idée sur la fiabilité et les performances de chaque réseau dans le monde réel.

Il y a plusieurs simulateurs qui peuvent être utilisé pour modéliser un système de communication, Dans le domaine de réseaux informatique, le simulateur OMNET++ est le plus utilisé car il a des puissances élevées qui nous permettons de créer des simulations sur n'importe quel système compliqué.

Dans ce travail nous exploitons le simulateur *OMNET++* pour réaliser plusieurs scénarios de simulation sur les deux architectures cellulaire et maillée, et extraire des résultats qui indique l'architecture la plus performante parmi les deux.

Mots clés : réseaux sans fil, IEEE 802.11, Wi-Fi, réseau maillé, IEEE802.11s, ALTAI, simulation, OMNET++.

DEDICACES

À MA petite FAMILLE

À MES AMIS

*À MON PROMOTEUR MONSIEUR
BERSALI*

REMERCIEMENTS

Je remercie tout d'abord *DIEU* pour m'avoir donné le courage et la santé pour accomplir ce travail.

Je tiens à remercier Monsieur **Bersali Mahdi** Maitre-assistant au département d'électronique de la faculté de technologie à l'université Saâd Dahlab de Blida, pour m'avoir permis de travailler sous sa direction. Je voudrais lui exprimer ma profonde reconnaissance pour son aide, ses conseils et la confiance qu'il m'a témoignée. Je tiens ici à lui exprimer mon respect.

Je remercie Madame **N.Benblidia**. Maitre de conférences à l'université Saâd Dahlab de Blida, pour avoir accepté de présider le jury de ce mémoire.

Je suis très honoré par la présence dans mon jury de madame **F. Regnieg** Maitre-assistante au département d'électronique de la faculté de l'ingénieur à l'université Saâd Dahlab de Blida.

Je suis particulièrement reconnaissant envers Madame **A. Ali Messaoud** vice doyenne de la pédagogie de la faculté des Sciences à l'université Saâd Dahlab de BLIDA pour son aide administrative et son soutien permanent dans les circonstances difficiles que j'ai connu durant la préparation de ce mémoire. Je n'oublié jamais votre soutien et encouragement et tout ce que vous avez fait pour moi, Merci infiniment madame.

Ce travail n'aurait pas été possible sans l'aide de monsieur **O. Nedjemi**, enseignant chercheur au département d'électronique de la faculté de technologie à l'université Saâd Dahlab de Blida.

J'adresse enfin un grand merci à toute ma famille de m'avoir soutenu et supporté durant la préparation de ce mémoire.

Liste des Figures

Figure1.1 : Le logo de la certification de Wi-Fi Alliance	5
Figure 1. 2 : Les différentes catégories de réseaux sans fil	6
Figure 1.3 : la bande ISM	8
Figure1.4 : La bande UNII	8
Figure1.5 : IBSS	10
Figure 1.6 : BSS / ESS	10
Figure 1.7 : La propagation des ondes	11
Figure 1.8 : L'affaiblissement des signaux	12
Figure1.9 : Phénomène de réflexion des ondes électromagnétiques	13
Figure 1. 10 : Phénomène de réfraction des ondes électromagnétiques	14
Figure 1.11 : Phénomène de dispersion des ondes électromagnétiques	14
Figure 1. 12 : Trajet multiple dans un canal radio (multipath)	15
Figure 1.13 : Deep Fade	16
Figure 1.14 : Communication en LOS	16
Figure 1.15 : Communication en NLOS	17
Figure 1.16: Authentification Open System	19
Figure 1. 17: Authentification Shared Key	19
Figure 1.18. L'architecture de standard IEEE802.11	20
Figure1.19. Le format de PPDU	21
Figure 1. 20 : Processus de modulation et codage	22
Figure 1. 21 : La modulation 2-GFSK	22
Figure 1. 22 : La modulation 4GFSK	23
Figure 1. 23 : Modulation DBPSK	23
Figure 1.24 : Modulation DQPSK	25

Figure 1.25 : Modulation OFDM	26
Figure 1. 26 : Constellation de 64-QAM	27
Figure 1. 27 : La technique FHSS	29
Figure 1. 28 : Étalement de spectre	30
Figure 1. 29 : La technologie MIMO	35
Figure 1. 30 : Méthodes d'accès au canal	36
Figure 1.31 : Problème de stations caché : (C est une station caché par rapport à B)	38
Figure 1.32 : Mécanisme RTS/CTS	38
Figure 1.33 : DCF+RTS/CTS	40
Figure 1.34 : Implémentation de EDCA	42
Figure 1.35 : Procédure EDCA	43
Figure 2.1 : Architecture de réseaux cellulaires	51
Figure 2.2 : Base Transceiver Station	51
Figure 2.3 : Base Station Controller	52
Figure 2.4 : Mobile Service Switching Center	52
Figure 2.5 : Home Location Register	53
Figure 2.6 : Le processus de communication	54
Figure 2.7 : HANDOVER	55
Figure 2.8 : La comparaison entre différentes technologies sans fil	56
Figure 2.9 : La technologie MIMO appliqué par ALTAI	58
Figure 2.10 : La protection contre les interférences	59
Figure 2.11 : La station de Base A8	60
Figure 2.12 : Montage d'A8	62
Figure 2.13 : Erreur de montage de A8	62
Figure 2.14 : Distance de séparation entre A8 et autres stations	62
Figure 2.15 : La pente des antennes de A8	63
Figure 2.16 : ALTAI A8-Ei	64
Figure 2.17 : La couverture de A8-Ei	65
Figure 2.18 : A2 WiFi Acces point/Bridge	67

Figure 2.19 : Cas d'utilisations de A2	67
Figure 2.20 : ALTAI A2e	67
Figure 2.21 : ALTAI C1n/C1an CPE	68
Fig 2.22: U1 super Wi-Fi CPE USB	69
Figure 2.23 : AWMS	70
Figure 2.24 : Les fonctionnalités de AWMS	71
Figure2.25 : L'architecture cellulaire de ALTAI	72
Figure 2.26 : Scénario de déploiement en régions urbaines	73
Figure 2.27 : La solution Altai pour les régions rurales	74
Figure 3.1 : Architecture avec infrastructure	77
Figure 3.2 : Architecture sans infrastructure	77
Figure 3.3 : Architecture Hybride	78
Figure 3.4 : Mesh BSS	82
Figure 3.5 : Mesh peering Management	84
Figure 3.6 : Format de Mesh control	84
Figure 3.7 : Format de trames MAC	85
Figure3.8: MCF Controlled based access	86
Figure 3.9 : Transmission de données dans un Mesh BSS	88
Figure 3.10 : La différence entre l'architecture maillée et l'architecture ALTAI	90
Figure 3.11 : La différence entre la couverture d'une station de base ALTAI et un point d'accès maillé	91
Figure 3.12 : La différence de coût entre la technologie ALTAI et l'architecture maillée	91
Figure 4.1 : Architecture de modèle de simulation OMNET++	95
Figure 4.2 : NED Editor dans le mode graphique	97
Figure 4.3 : NED Editor dans mode texte	98
Figure 4.4 : Interface de fichier omnetpp.ini	102
Figure 4.5 : Source de fichier omnetpp.ini	102
Figure 4.6 : Construction et exécution d'un programme de simulation	104
Figure 4.7 : Sélectionnent de projet référence	105

Figure 4.8 : La structure de Wireless Host	108
Figure 4.9 : La structure de Wireless Access Point	110
Figure 4.10 : La gestion de mobilité dans INET	111
Figure 4.11 : Modèle d'architecture cellulaire de ALTA	113
Figure 4.12 : Modèle simulé de l'architecture cellulaire de ALTA	114
Figure 4.13 : Modèle propose pour architecture maillée	115
Figure 4.14 : Modèle simulé de l'architecture maillée	116
Figure 4.15 : La topologie de modèle cellulaire simulé	117
Figure 4.16 : Le nombre de messages créés, reçus et perdus en fonction de nombre de clients (T= 60s, V=0 m/s)	121
Figure 4.17 : Evolution de nombre de messages créés /reçus/perdus en fonction de nombre de clients (T=60s, V=2m/s)	123
Figure 4.18 : Progression de nombre de messages créés/reçus/perdus en fonction de nombre de clients (T=60s, V=20m/s)	124
Figure 4.19 : Progression de nombre de messages créés/reçus/perdus en fonction de nombre de clients (T=600s, V=0m/s)	126
Figure 4.20 : Progression de nombre de messages créés/reçus/perdus en fonction de nombre de clients (T=600s, V=2m/s)	127
Figure 4.21 : Progression de nombre de messages créés/reçus/perdus en fonction de nombre de clients (T=600s, V=20m/s)	129
Figure 4.22 : La topologie de modèle maillé créé par OMNET++	130
Figure 4.23 : Evolution de nombre de messages créés/ reçus/ perdus en fonction du temps de simulation (nombre de clients=2, V=0 m/s)	134
Figure 4.24 : Evolution de nombre de messages créés/ reçus/ perdus en fonction du temps de simulation (nombre de clients=2, V=2 m/s).	135
Figure 4.25 : Evolution de nombre de messages créés/ reçus/ perdus en fonction de temps de simulation (nombre de clients=2, V=20 m/s).	137
Figure 4.26 : Evolution de nombre de messages reçus en fonction de temps de simulation pour les deux architectures cellulaire et maillée (nombre clients=2, V=0m/s)	139

Figure 4.27 : Evolution de rendement en messages reçus en fonction de temps 140
de simulation de modèles cellulaire et maillées (nombre clients=2, V=0m/s)

Liste des Tableaux

Tableau1.1 : Les variantes de standard IEEE802.11	7
Tableau 1.2 : Symboles et décalages de fréquences dans la modulation (4-GFSK)	23
Tableau 1.3 : Symboles et décalages de Phases dans la modulation DBPSK	24
Tableau 1. 4 : Symboles et décalages de phase dans la modulation DQPSK	25
Tableau1.5 : Les fréquences utilisées dans chaque pays	28
Tableau1.6 : Codage d'un bit de données par séquence de Barker	30
Tableau1.7 : Caractéristiques de la couche PHY 802.11b	31
Tableau1.8 : L'implémentation d'OFDM dans 802.11a	32
Tableau 1. 9: Caractéristiques de la Couche PHY 802.11a	33
Tableau 1.10: Caractéristiques de la Couche PHY 802.11g	34
Tableau 1.11 : Les caractéristiques de la couche PHY 802.11n	36
Tableau 1.12 : Correspondance entre UP et AC	43
Tableau 2.1 : Caractéristiques de l'A8	61
Tableau 2.2 : Les valeurs de l'onglet de pente par rapport à la distance de couverture	63
Tableau 2.3 : Les distances achevées par l'utilisation de C1n	68
Tableau 3.1 : La valeur des paramètres de Airtime	87
Tableau 4.1 : Les paramètres de simulation utilisés dans différents scénarios	118
Tableau 4.2 : Les données de simulation de scénario 1	121
Tableau 4.3 : Les données de simulation de scénario 2	122
Tableau 4.4 : Les données de simulation de scénario 3	124
Tableau 4.5 : Les données de simulation de scénario 4	125
Tableau 4.6 : Les données de simulation de scénario 5	127
Tableau 4.7 : Les données de simulation de scénario 6	128
Tableau 4.8 : Les paramètres de simulation de modèle maillé	131
Tableau 4.9 : Les données de simulation de scénario1 de modèle maillé	133

Liste des Tableaux

Tableau1.1 : Les variantes de standard IEEE802.11	7
Tableau 1.2 : Symboles et décalages de fréquences dans la modulation (4-GFSK)	23
Tableau 1.3 : Symboles et décalages de Phases dans la modulation DBPSK	24
Tableau 1. 4 : Symboles et décalages de phase dans la modulation DQPSK	25
Tableau1.5 : Les fréquences utilisées dans chaque pays	28
Tableau1.6 : Codage d'un bit de données par séquence de Barker	30
Tableau1.7 : Caractéristiques de la couche PHY 802.11b	31
Tableau1.8 : L'implémentation d'OFDM dans 802.11a	32
Tableau 1. 9: Caractéristiques de la Couche PHY 802.11a	33
Tableau 1.10: Caractéristiques de la Couche PHY 802.11g	34
Tableau 1.11 : Les caractéristiques de la couche PHY 802.11n	36
Tableau 1.12 : Correspondance entre UP et AC	43
Tableau 2.1 : Caractéristiques de l'A8	61
Tableau 2.2 : Les valeurs de l'onglet de pente par rapport à la distance de couverture	63
Tableau 2.3 : Les distances achevées par l'utilisation de C1n	68
Tableau 3.1 : La valeur des paramètres de Airtime	87
Tableau 4.1 : Les paramètres de simulation utilisés dans différents scénarios	118
Tableau 4.2 : Les données de simulation de scénario 1	121
Tableau 4.3 : Les données de simulation de scénario 2	122
Tableau 4.4 : Les données de simulation de scénario 3	124
Tableau 4.5 : Les données de simulation de scénario 4	125
Tableau 4.6 : Les données de simulation de scénario 5	127
Tableau 4.7 : Les données de simulation de scénario 6	128
Tableau 4.8 : Les paramètres de simulation de modèle maillé	131
Tableau 4.9 : Les données de simulation de scénario1 de modèle maillé	133

Tableau 4.10 : Les données de simulation de scénario 2 de modèle maillé	135
Tableau 4.11 : Les données de simulation de scénario 3 de modèle maillé	136
Tableau 4.12 : Les données de simulation de scénario 4 (comparaison)	138

SYMBOLES ET ABREVIATIONS

A	AP	Acces Point
	ASK	Amplitude Shift Keying
	AMPE	Authenticated Mesh peering Exchange
	AODV	Ad Hoc On-Demand Distance Vector
	AID	Association identificator
	AIFS	Arbitrary IFS
	AC	Acces Category
	AWMS	Altai Wireless Management System
	AES	Advances Encryption system
	ACK	Acquittement
	AMPE	Authenticated Mesh Peering Exchange
	AES	Advanced Encryptions System
	AWMS	ALTAI Wireless Management System
	B	BSS
BSSID		Basic service set identificator
BTS		Base Transceiver Station
BSC		Base Station Controller
C	BER	Bit Error Rate
	CCK	Complementary code keying
	CSMA/CA	Carrier sense multiple access/collision avoidance
	CFP	Contention Free period
	CP	Contention period

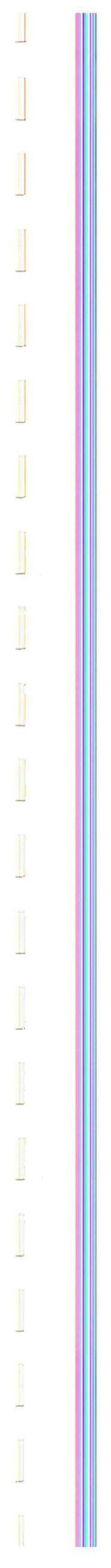
	CAP	Controlled Access period
	CPE	Customer Premises Equipment (CPE)
	CCF	Common Channel Framework
	CW	Contention Window
	CA	Collision Avoidance
	CTS	Clear to Send
	CPU	Central Processing Unit
D	DSSS	Direct sequence spread spectrum
	DCF	Distributed coordination function
	DS	Distributed system
	DPSK	Differential phase shift keying
	DBPSK	Differential Binary phase shift keying
	DQPSK	Différentiel Quadrature phase shift keying
	DIFS	DCF IFS
	DSM	Distributed system media
	DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
E	EDCF	Enhanced DCF
	EPCF	Enhanced PCF
	ESS	Extended service set
	ERP	Extend Rate Physic
	ERP	Extended rate Physic
	EDCAF	Enhanced Distributed channel access function
	EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution (2G)
	EOSP	End of Service period

F	FHSS	Frequency Hope spread Spectrum
	FC	Central Frequency
	FEC	Frame error Check
	FCS	Frame check Sequence
G	GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
	GSM	Global system for Mobile telecommunication
	GPRS	General paquet radio services
	GUI	Graphical User Interface
H	HR/DSSS	High Rate/DSSS
	HT	High Throughput
	HCCA	Hybrid coordination function controlled access
	HCF	Hybrid coordination function
	HC	Hybrid Coordinator
	HSDPA	High Speed Downlink Packet Access (3G++)
	HWMP	Hybride Wireless Mesh Protocol
	HLR	Home Location Register
	HT 20	Implémentation de 802.11n dans des canaux de 20MHz
	HT40	Implémentation de 802.11n dans des canaux de 40MHz
I	IEEE802.11	Institute of Electrical and Electronic Engineers
	ISM	Industrial scientist medical
	IBSS	Independent Basic service set
	IFS	Inter frame space

	IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
	IR	Infra-Rouge
	IP	Internet Protocol
	IDE	Integrated Development Environment
F	FFT	Fast Fourier Transform
L	LAN	Local area network
	LTE	Long term evolution (4G)
	LLC	Logical layer Control
	LOS	Line of Sight
	LA	Local Area
M	MAC	Medium Acces control
	MIMO	Multiple In Multiple Out
	Mesh ID	Mesh Identificator
	MPM	Mesh Peering Management
	MER	Message Error Rate
	MCF	Mesh Coordination Function
	MCCA	Mesh Coordination function controlled acces
	MP	Mesh point
	MAP	Mesh Acces point
	MPP	Mesh Portail point
	MLME	Mac Layer Management Entity
	MPM	Mesh peering managemen
	MCCAOP	MCCA Transmission Opportunities
	MPDU	MAC Protocol Data Unit

	MSC	Mobile Switching Center
N	Netbooks	Mini-ordinateurs
	NLOS	Non Line of sight
	NED	Network Description
	NAV	Network Allocation Vector
O	OMNET++	Objective Modular Network Testbed in C++
	OSI	Open system Interconnection
	OFDM	Orthogonal Frequency division multiplexing
P	PCF	Point Coordination Function
	PSK	Phase Shift Keying
	PER	Packet Error Rate
	PMD	Physical medium dependent
	PLCP	Physical layer convergence procedure
	PPDU	Physical protocole Data unit
	PIFS	PCF IFS
	PTP	Point to Point
	PTMP	Point to Multi point
Q	QOS	Quality of services
	QAM	Quadrature Amplitude Modulation
R	RSNA	Robust Security network association
	RIFS	Reduced IFS
	AODV	Ad-Hoc on demand distance vector
	RTS	Ready To Send
S	Smartphone	Telephone portable intelligent

	SSID	Service set identifier
	SIFS	Short Inter-frame space
	SME	Station Management Entity
T	TSF	Time synchronization Function
	TXOP	Transmission opportunities
	TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
	TTL	Time To Live
	TID	Traffic identifier
	TCP	Transmission Control Protocol
U	UN-II	Unlicenced-National Information Infrastructure
	UP	User Priorité
	UMTS	Universel Mobile telecommunication services (3G)
	UDP	User Datagram Protocol
V	VHT	Very High throughput
	VOIP	Voice Over IP
	VLR	Visitor Location Register
W	Wi-Fi	Wireless Fidelity
	WPAN	Wireless Personal Area Network
	WLAN	Wireless local area network
	WMAN	Wireless metropolitan area network
	WWAN	Wireless wide area network
	WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
	WEP	Wired equivalent privacy
	WPA	Wi-Fi protected Access



WMAN	Wireless Mesh Networks
WDS	Wireless Distributed system
WM	Wireless Media
WMN	Wireless Mesh Network

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	01
Chapitre1 : L'état de l'art des réseaux WI-FI	04
1. Introduction	04
2. Réseaux sans fil	04
2.1 Catégories de réseaux sans fil	04
2.1.1 Wireless personal Area Network (WPAN)	04
2.1.2 Wireless Local Area Network (WLAN)	05
2.1.3 Wireless Metropolitan Area Network (WMAN)	05
2.1.4 Wireless Wide Area Network (WWAN)	06
3. Les réseaux sans fil Wi-Fi (IEEE802.11)	06
3.1 Variantes de standard IEEE 802.11	09
3.2 Topologies	09
3.3 Les caractéristiques de canal	10
3.3.1 Capacité de canal	10
3.3.2 Affaiblissement des signaux	11
3.3.3 L'Absorption	13
3.3.4 La Réflexion	13
3.3.5 La Réfraction	13
3.3.6 La Dispersion	14
3.3.7 Le Multi trajet	15
3.3.8 La visibilité directe (LOS) et indirecte (NLOS)	16
3.4 Procédure d'accès	17
3.4.1 Processus de scan	17
3.4.2 Décision de se joindre au réseau	18
3.4.3 Négociation de la connexion (Authentification et Association)	18
3.5 Méthodes d'authentification dans la standard IEEE802.11	18
3.6 L' association	20
4. L'architecture de standard IEEE802.11	20
4.1 Les fonctionnalités de la couche physique	21
4.2 Types de Modulations utilisé dans le standard IEEE802.11	21

4.2.1	Modulation de la fréquence	22
a)	GFSK à deux niveaux (2- GFSK)	22
b)	GFSK à quatre niveaux (4- GFSK)	23
4.2.2	Modulation de phase différentielle (DPSK)	23
a)	La Modulation de Phase Différentielle binaire(DBPSK) :	24
b)	La Modulation de Phase Différentielle à quatre états (DQPSK)	24
4.2.3	Modulation multi-porteuses OFDM	25
4.2.4	Modulation d'amplitude en quadrature de phase (QAM)	26
4.3	Techniques de transmission dans IEEE802.11	27
4.3.1	FHSS et DSSS :	27
4.3.2	HR/DSSS (802.11b)	30
4.3.3	OFDM dans 802.11a	31
4.3.3.1	Débits supportés par 802.11a	32
4.3.3.2	Caractéristiques de la couche PHY 802.11a	32
4.3.4	ERP (802.11g)	33
4.3.4.1	Caractéristiques de la PHY 802.11g	34
4.3.5	MIMO (802.11n)	34
4.4	La couche MAC de standard IEEE802.11	36
4.4.1	Méthodes d'accès au canal	36
a.	DCF	37
b.	PCF	40
4.4.2	Gestion de QOS	41
a.	EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)	42
b.	HCCA	43
4.4.3	Fragmentation	44
5.	Fonctionnalités de la couche réseau	45
5.1	Routage	45
5.2	Classification des protocoles de routage	46
5.2.1	L'architecture	46
5.2.2	L'algorithme	46
5.2.3	Catégories des protocoles de routages	47
6.	Conclusion	49

Chapitre 2 : La Technologie ALTAI	50
1. Introduction	50
2. Réseaux cellulaires	50
2.1 Composants d'un réseau cellulaire	51
2.2 Processus de communication	53
2.3 HANDOVER	54
3. La Technologie ALTAI	55
3.1 Technologies exploitées par ALTAI	56
3.1.1 Super smart Antenna	57
3.1.2 La technologie MIMO	57
3.1.3 La technologie ALTAI AlrFI :	58
3.2 Les équipements de la technologie ALTAI :	59
3.2.1 Les stations de base ALTAI (Série A8/A8n)	59
3.2.1.1 ALTAI A8 super Wi-Fi base station	59
3.2.1.1.1 Recommandations pratiques d'installation de station A8	60
3.2.1.1.2 L'ajustement des antennes de l'A8	63
3.2.1.2 ALTAI A8-Ei	64
3.2.1.3 Série A8n	65
3.2.2 Les points d'accès ALTAI	65
3.2.2.1 Altai A2 Wi-Fi Access Point/ Bridge	65
3.2.2.2 ALTAI A2e Wi-Fi Acces point/Bridge	66
3.2.3 Les CPE ALTAI	68
3.2.3.1 ALTAI C1n super WiFi CPE/AP	68
3.2.4 AWMS (Altai Wireless management system)	69
3.3 ALTAI Super Wi-Fi	71
3.4 Les scénarios de déploiement	72
3.4.1 En régions urbaines :	72
3.4.2 En régions rurales	73
4. Conclusion	74
Chapitre 3 : Architecture maillée	75
1 Introduction	75
2 Réseaux maillés sans fil	75

2.1 Architectures des réseaux maillés sans fil	76
2.1.1 Architecture maillée avec infrastructure	76
2.1.2 Architecture maillée sans infrastructure	76
2.1.3 Architecture maillée hybride	77
2.2 Caractéristiques des réseaux maillés sans fil	78
3. Le standard IEEE802.11s	80
3.1 Mesh BSS	80
3.2 Composants de Mesh BSS	81
3.2.1 Mesh station	81
3.2.2 Mesh Gate	81
3.3 Les opérations dans un Mesh BSS	82
3.3.1 Mesh Discovery	82
3.3.2 MPM (<i>Mesh peering management</i>)	83
3.3.3 Format des trames MAC	84
3.3.4 MCF (Mesh Coordination Function)	85
3.3.5 Mesh path selection protocol (HWMP)	86
4. Comparaison entre l'architecture maillée et la technologie ALTAI	88
4.1 Caractéristiques	88
4.1.1 Réseau maillé	88
4.1.2 Réseau Altai	89
4.2 Couverture	90
4.2.1 Point d'accès maillé	90
4.2.2 Station de base Altai	90
4.3 Coût de déploiement	91
5. Conclusion	92
Chapitre 4 : Modélisation et simulation de réseaux	93
1. Introduction	93
2. Simulateur OMNET++	93
2.1 Le modèle de simulation OMNET++	95
2.2 Création et Configuration d'un programme de simulation	97
2.2.1 Description de la topologie de modèle de simulation	97
2.2.2 Définition de messages	98

2.2.3 Implémentation des composants actifs de modèle de simulation	100
2.2.4 Configuration de modèle de simulation	101
2.3 Programmation des algorithmes :	103
2.4 Construction et exécution d'un programme de simulation	103
3. Framework INET	105
3.1 La structure de INET	106
3.2 Description de la structure de clients et points d'accès	106
3.2.1 Wireless Host	107
3.2.2 Wireless Access point	109
3.3 La mobilité dans INET	110
4. Modélisation de réseau	112
4.1 Modélisation de l'architecture cellulaire de ALTAI.	112
4.1.1 Modèle proposé	112
4.1.2 Modèle simulé	114
4.2 Modélisation de l'architecture Maillée	114
4.2.1 Modèle proposé	114
4.2.2 Modèle simulé	116
5. Simulation et analyse de résultats	117
5.1 Simulation de l'architecture cellulaire de ALTAI	117
5.1.1 La Topologie de modèle	117
5.1.2 Paramètres de simulation	118
5.1.3 Résultats et analyse	120
A. Scénario 1	121
B. Scénario 2	122
C. Scénario 3	124
D. Scénario 4	125
E. Scénario 5	127
F. Scénario 6	128
5.2 Simulation de l'architecture maillée	130
5.2.1 La topologie	130
5.2.2 Paramètres de simulation	131
5.2.3 Résultats et analyse	133
A. Scénario 1	133

B. Scénario 2	135
C. Scénario 3	136
D. Scénario 4 (Comparaison entre le modèle cellulaire et le modèle maillé)	138
CONCLUSION GENERALE	142
Bibliographie	144

INTRODUCTION GENERALE

Ces dernières années ont vu le monde devenir de plus en plus mobile. Le besoin de communication même en état de mouvement est devenue indispensable pour les différentes personnes (les professionnels et mêmes les particuliers). En conséquence, les réseaux utilisés traditionnellement se sont montrés inadaptés pour résoudre le problème de connectivité optimale et sans interruption pour les utilisateurs mobiles.

Une connexion sans fil n'impose pas autant de restrictions et contraintes, et offre une plus grande liberté de mouvement à l'utilisateur du réseau. Grâce à leurs avantages de mobilité, de flexibilité, de rapidité d'installation et de moindre coût de déploiement, les technologies sans fil commencent à être plus déployées que les réseaux traditionnels câblés.

Les utilisateurs de réseaux sans fil peuvent se connecter à des réseaux existants et peuvent se déplacer librement. Ce qui permet aux utilisateurs mobiles qui utilisent les différents types d'appareils de communications, comme les ordinateurs portables (Laptop), les téléphones portables intelligents (smartphone) et les mini-ordinateurs (netbooks) d'avoir un accès à l'information n'importe où et n'importe quand, de consulter son courrier électronique, naviguer sur internet dans les aéroports, les gares ou dans d'autres lieux publics. Les personnes peuvent transférer des fichiers, s'échanger des informations ou synchroniser des données. De plus, les réseaux sans fil libèrent les utilisateurs d'outils informatiques du câble Ethernet les attachant au mur. Ils peuvent travailler dans la bibliothèque, dans une salle de conférence, dans le parking ou même dans les cafés. Tant que les utilisateurs restent dans la portée de point d'accès, ils peuvent exploiter le réseau.

Parmi les technologies sans fil plus répandue en ce moment, la technologie Wi-Fi (Wireless Fidelity), cette technologie a connu un déploiement très rapide à travers le monde, elle est utilisée comme alternative de réseaux locaux filaires

(Ethernet) et ce pour assurer une connectivité sans fil dans une zone local de quelques mètres.

La technologie Wi-Fi est inclut dans la catégorie de réseaux locaux sans fil (Wireless local area network), son utilisation est destiné préalablement pour des zones internes de portée moyenne (bureau, maison, salle d'étude...etc.), par conséquent, le déploiement de la technologie Wi-Fi dans des zones externes de portée étendue a connue plusieurs défis liés aux propriétés de l'environnement de déploiement (obstacles, intempéries...) et aussi à la nature de signal Wi-Fi. Dans ce contexte plusieurs efforts sont réalisés par plusieurs groupes de recherches et aussi par plusieurs compagnies de technologies sans fil pour déployer la technologie Wi-Fi dans des zones externes de portée étendue.

Le présent projet s'inscrit dans ce contexte et qui consiste à étudier deux topologies de déploiement de réseaux sans fil Wi-Fi. Pour que nous puissions déterminer quel est la topologie adéquate que nous devons l'utiliser pour surmonter les défis de déploiement de réseaux Wi-Fi dans des zones étendues, et assurer une couverture optimale dans des environnements dure.

Dans ce projet nous réalisons une étude sur la topologie cellulaire utilisée par une compagnie de technologie sans fil spécialisé dans le déploiement de réseaux Wi-Fi, s'appelle ALTAI et la topologie maillé appliqué par le groupe IEEE802.11 qui développe le standard Wi-Fi.

Le présent mémoire comporte quatre chapitres :

Dans le chapitre I, nous présentons l'état de l'art des réseaux sans fil Wi-Fi y compris les protocoles et les fonctionnalités de couches physiques, MAC et réseau.

Le second chapitre portera sur la description de la technologie ALTAI qui utilise le principe de l'architecture cellulaire pour déployer des réseaux Wi-Fi. Nous détaillerons ses différents équipements et ses différents scénarios de déploiements.

Nous exposerons dans le troisième chapitre les réseaux maillés sans fil, nous détaillerons par la suite la variante IEEE802.11s, qui traite la topologie maillé pour les réseaux sans fil Wi-Fi IEEE802.11.

Le dernier chapitre sera dédié à la modélisation et la simulation des performances des réseaux cellulaires et maillés par le biais du simulateur OMNET++ (Objective Modular Network Testbed in C++). Avec des commentaires détaillés sur les résultats obtenus.

Enfin nous terminerons par une conclusion générale où seront résumés les résultats et les perspectives se dégageant de cette étude.

Chapitre1 : L'état de l'art des réseaux WIFI

1. Introduction

Les réseaux sans fil sont des systèmes de communications qui permettent l'interconnexion de plusieurs équipements mobiles sans l'utilisation des liaisons filaires. Ils sont basés sur des liaisons utilisant des ondes radioélectriques (électromagnétique et infrarouge) qui remplacent des câbles habituels. L'avantage principal des réseaux sans fil est la mobilité. Grâce aux réseaux sans fil, les clients peuvent rester connectés tout en se déplaçant dans une zone géographique plus ou moins étendue. Les différentes catégories des réseaux sans fil sont présentées dans la première partie de ce chapitre. Dans la seconde partie, nous dériverons avec détails les réseaux sans fil Wi-Fi et les caractéristiques du standard IEEE802.11.

2. Réseaux sans fil

2.1 Catégories des réseaux sans fil

Les réseaux sans fil sont classés, selon la portée de la zone géographique à couvrir en quatre catégories : [1]

2.1.1 Wireless Personal Area Network (WPAN):

Ce sont des réseaux à faible portée (quelque dizaine de mètres). Ils servent à relier des périphériques à un ordinateur, ou bien relier deux machines entre elles sans liaison filaire. Ils offrent un débit de transmission faible (1-2 Mbps). Parmi les technologies inclus dans cette catégorie, il y a la technologie Bluetooth (IEEE 802.15) et Infra-rouge (IR). [1]

2.1.2 Wireless Local Area Network (WLAN) :

Ils sont destinés pour une utilisation locale (entreprise, maison, ...). Similaire aux réseaux locaux Ethernet (LAN), ils peuvent couvrir une zone d'une centaine de mètres. La technologie la plus répandue, qui appartient à cette catégorie, est *Wireless Fidelity (Wi-Fi)*. Elle est développée par l'organisation IEEE (*WorkGroup IEEE802.11*), et ratifiée par l'organisation *Wi-Fi Alliance*. Cette dernière est responsable de la vérification de produits conformes au standard IEEE802.11. *Wi-Fi Alliance* réalise des tests d'interopérabilités sur les produits IEEE 802.11 de différents fabricants. Si les tests sont passés avec succès, elle vise les produits examinés par le logo Wi-Fi mentionné dans la figure 1.1. Le logo Wi-Fi permet d'assurer une interopérabilité de fonctionnement entre différents produits de différents fabricants. Notons que le projet présenté dans ce mémoire repose essentiellement sur cette technologie. Il y a d'autres technologies incluses dans cette catégorie comme HiperLAN. [1]



Figure1.1 : Le logo de la certification de Wi-Fi Alliance [3]

2.1.3 Wireless Metropolitan Area Network (WMAN):

Les réseaux sans fil adaptés à la couverture de villes et de villages arrivent quelques années après les réseaux locaux sans fils de type WLAN, il y a plusieurs technologies incluses dans cette catégorie, parmi eux WIMAX (World Wide Interoperability for Microwave Access) et les réseaux cellulaires mobiles (3G/4G LTE). [1]

2.1.4 Wireless Wide Area Network (WWAN) :

Le satellite permet des cellules de la taille de plusieurs pays et facilite l'accès à l'internet dans les zones rurales non accessibles avec les techniques traditionnelles filaires. [1]

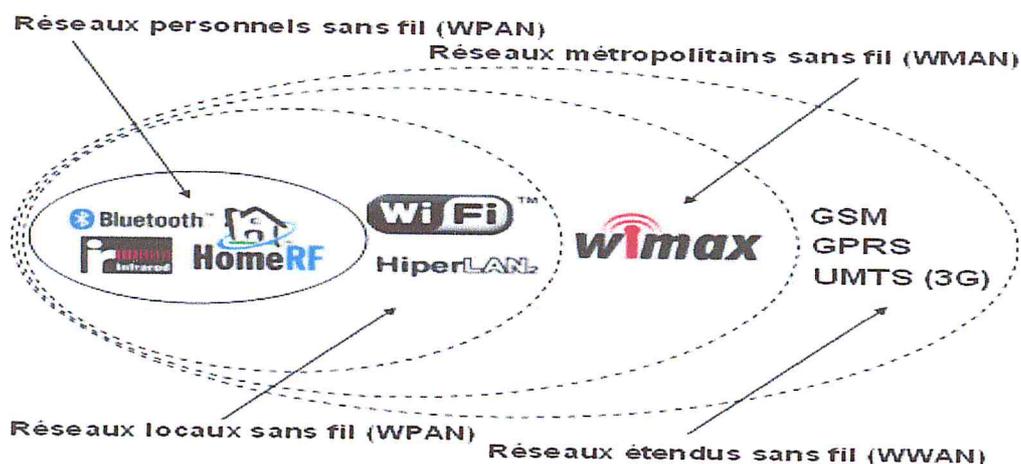


Figure 1. 2 : Les différentes catégories de réseaux sans fil [2]

3. Les réseaux sans fil Wi-Fi (IEEE802.11)

Le standard Wi-Fi a été initié en 1990 par l'organisation IEEE. Le groupe de travail (workgroup) qui travaille sur ce standard est nommé IEEE802.11. En 1997, le standard initial IEEE 802.11 a été ratifié et publié, il permet de fournir un débit de 1 à 2 Mbps. Avec le temps le groupe IEEE802.11 a développé des variantes améliorées qui permettent de fournir des débits élevés avec des fonctionnalités additionnelles. Le tableau 1.1 montre ces différentes variantes et leurs caractéristiques. [4]

variant	Caractéristiques
802.11	Standard initial, spécifie les fonctionnalités de couche MAC et physique (FHSSS et DSSS).
802.11a	Fonctionne dans la bande U-NII, utilise la modulation OFDM et offre un haut débit (54Mbps (théorique) et 30Mbps (réel)).
802.11b	Extension de standard 802.11, utilise la technique HR/DSSS dans la bande ISM. offre un débit de (11Mbps (théorique) et 6Mbps (réel)), et une zone de couverture d'environ de 300m.
802.11d	Extension de la norme 802.11, destinée à l'utilisation internationale des réseaux Wi-Fi 802.11 utilisent la technique FHSS.
802.11e	Définir les fonctionnalités nécessaires de la couche MAC pour implémenter la QOS (qualité de service) dans le réseau (EDCF et EPCF).
802.11f	Utilise le protocole Inter-AP roaming qui permet à un client de changer son AP de manière transparente lors d'un déplacement au sein du réseau (processus de roaming).
802.11g	Transposition de 802.11a vers la bande ISM, elle offre un haut débit (54Mbps) sur la bande ISM, compatible avec la variante 802.11b, la modulation de 802.11g est OFDM comme celle de la norme 802.11a.
802.11h	adapte la variante 802.11a à la réglementation européenne
802.11i	Implémentation de nouvelles méthodes d'authentification et cryptage (Advanced Encryptions System AES), Robust Security network association (RSNA).
802.11j	Adapte la norme 802.11a et à la réglementation japonaise.
802.11s	Application de la topologie maillée sur le standard IEEE802.11.
802.11n	Débits optimisé, grâce notamment à l'utilisation de systèmes MIMO (Multiple Input Multiple Output) et autres techniques de transmission. Offre des débits élevés (HT) de l'ordre de 600 Mbps.
802.11ac	Développé en 2012, C'est une extension de la variante 802.11n. Utilise des techniques de transmission améliorées et offre un débit plus élevé que 802.11n (Very High thrghouput).
802.11ad	Développé en 2012, elle offre un débit très élevé, elle utilise la

bande située autour de 60GHz.

Tableau1.1 : Les variantes de standard IEEE802.11 [5]

Les réseaux Wi-Fi utilisent deux bandes de fréquences libres (sans licence), la bande ISM située autour de 2.4GHz et la bande UN-II qui située au voisinage de 5GHz (voir figures 1.3 -1.4).

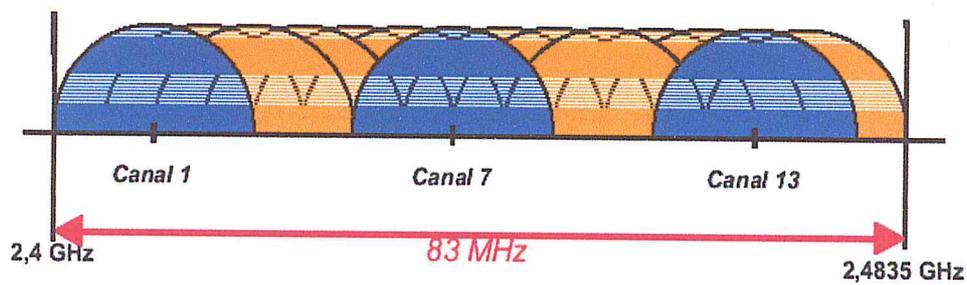


Figure 1.3 : la bande ISM [4]

Afin d'éviter les interférences dans la bande ISM nous devons utiliser des canaux qui ne chevauchent pas comme le montre la figure 1.3 (canal 1, 7 et 13).

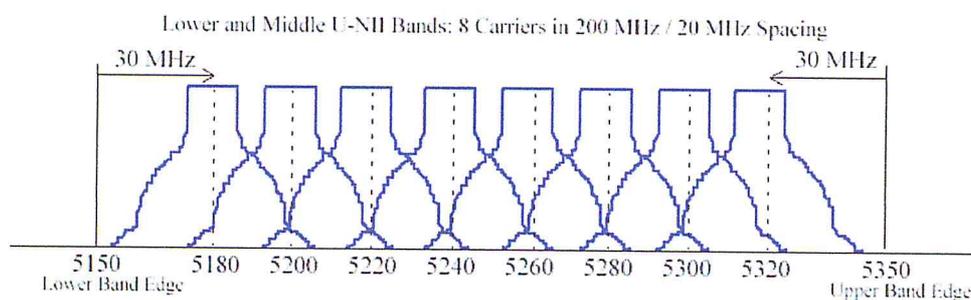


Figure1.4 : La bande UNII [4]

Le workgroup IEEE802.11 a réalisé des modifications sur les deux premières couches (physique et MAC) de modèle de référence OSI (Open System Interconnection), il redéfinir le comportement et les protocoles de ces deux couches afin de s'adapter avec l'environnement où les réseaux Wi-Fi sont déployés.

3.1 Variantes de standard IEEE 802.11

Au cours de ces dernières années, le standard IEEE 802.11 a connu de nombreuses améliorations en termes de sécurité, de débit et de portée. Le tableau 1.1 montre les différentes variantes de standard avec leurs caractéristiques.

3.2 Topologies

Ils existent deux topologies principales de réseaux Wi-Fi. La première est la topologie sans infrastructure (Ad-Hoc ou point à point). Les mobiles communiquent entre eux sans l'intermédiaire d'une station de base ou point d'accès (*Access Point ou AP*) (voir figure 1.5). Dans ce mode de communication, chaque mobile du réseau a la possibilité de communiquer directement avec tous ses voisins. Ainsi les stations en mode ad-hoc doivent être capables de réaliser le routage vers les autres stations (jouer le rôle d'un AP). C'est la topologie idéale lorsqu'aucune connexion à un réseau externe n'est nécessaire. L'ensemble des stations dans un réseau Ad-hoc constituent un IBSS. La seconde topologie est la topologie avec infrastructure (voir figure 1.6) dans laquelle les stations se connectent à une infrastructure centrale nommée point d'accès ou borne d'accès Wi-Fi. Le point d'accès joue le rôle d'un gestionnaire qui gère le trafic de réseau et peut être connecté à un réseau externe. L'ensemble composé de clients et de point d'accès forme une cellule appelée BSS. Chaque cellule possède un identifiant (BSSID). Il s'agit de l'adresse MAC de point d'accès. Plusieurs points d'accès peuvent être reliés à travers un système de distribution (DS). Ce dernier peut être un réseau filaire ou un réseau sans fil. L'architecture correspondante est appelée ESS. [5]

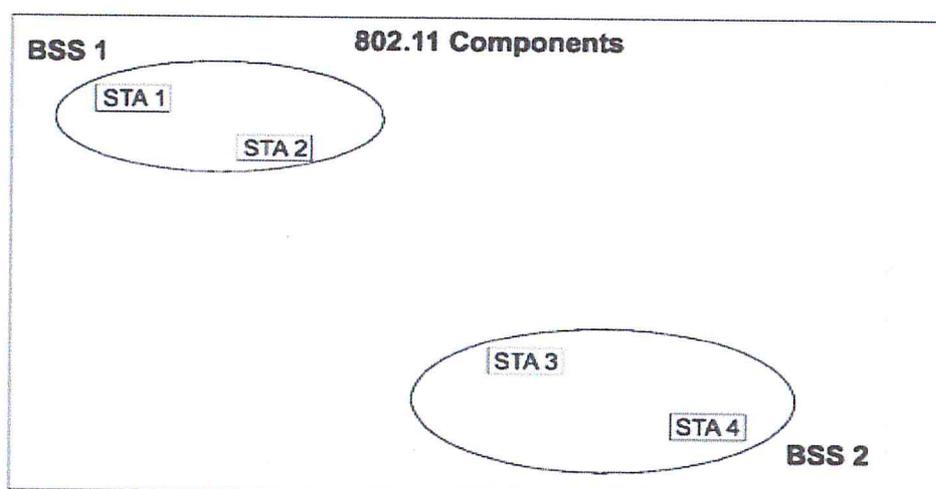


Figure1.5: IBSS [7]

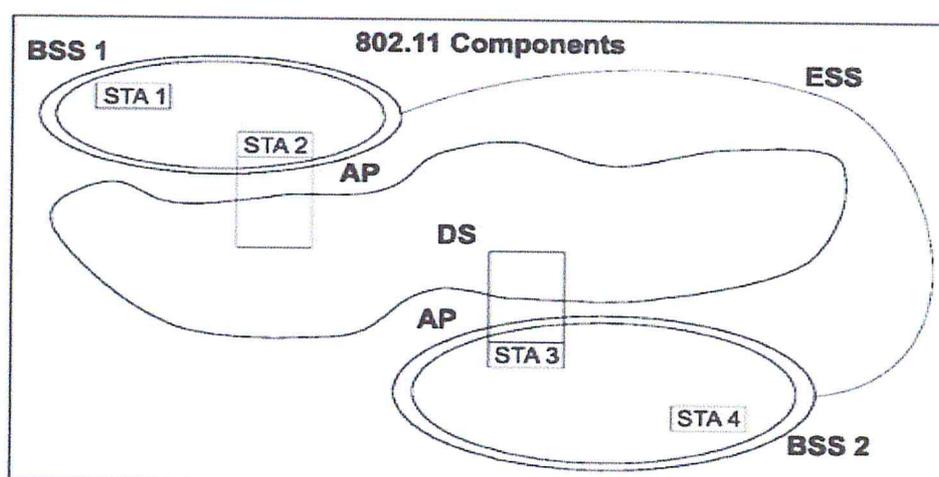


Figure 1.6 : BSS / ESS [7]

3.3 Les caractéristiques de canal

3.3.1 Capacité de canal

L'onde radio électromagnétique contenant les informations transmises à partir de l'émetteur, se propageant dans l'atmosphère et interagit avec celui-ci. L'interaction entre l'onde porteuse de l'information et le milieu environnant affecte

la qualité du signal que détecte le récepteur par la présence de signal de faible amplitude appelé bruit. Ce dernier, on se superposant au signal transmis détermine la qualité de l'information transportée par celui-ci. Ainsi pour que le signal soit reconnaissable par le récepteur, il est important que la puissance du signal soit très grande devant celle du bruit. L'étude théorique présentée par Shannon-Hartley en 1984 montre que la limite théorique de la capacité d'un canal de transmission C (bps) est déterminée par la bande passante du canal (largeur du canal) et le rapport Signal/Bruit (S/B) comme suite : [6]

$$C = W \cdot \log_{10}\left(1 + \frac{S}{B}\right) \quad (1-1)$$

C : capacité de canal en bits/seconde.

W : la largeur de canal Hz.

S/B : Signal/ Bruit en dB.

3.3.2 Affaiblissement des signaux

Lorsque nous jetons une pierre dans une flaque, nous pouvons remarquer l'effet de l'onde qui propage dans toutes les directions, La largeur de l'onde diminué avec la distance jusqu'à ce qu'elle a disparu complètement (voir figure 1.7). Il n'y a aucun obstacle dans le chemin qui peut empêcher la propagation de l'onde, elle a disparu toute seule quand elle atteint certaines distances, ce phénomène s'appelle Free Path Loss. [9]

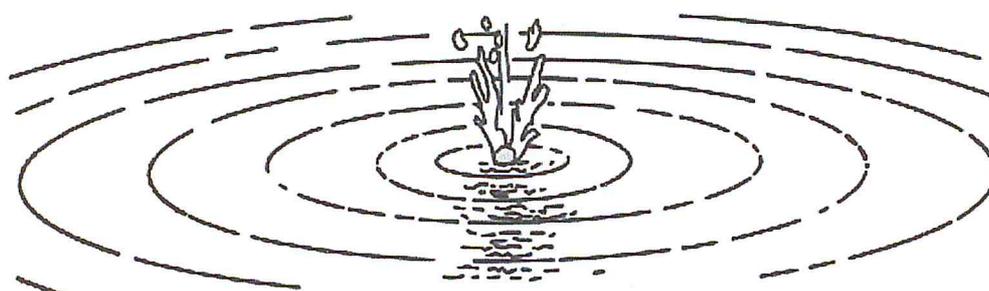


Figure 1.7 : la propagation des ondes [9]

Ce phénomène est appliqué sur les signaux émis par les points d'accès. Les signaux radio qui se propagent dans l'atmosphère se dégradent avec la distance, plus la distance augmente plus le signal s'affaiblit. Ainsi les stations qui se trouvent très proche de l'AP reçoivent un signal avec une puissance élevée. En revanche le signal reçu par les stations situant très loin de l'AP est très faible ce qui provoque une dégradation automatique du débit. (voir figure 1.8).[9]

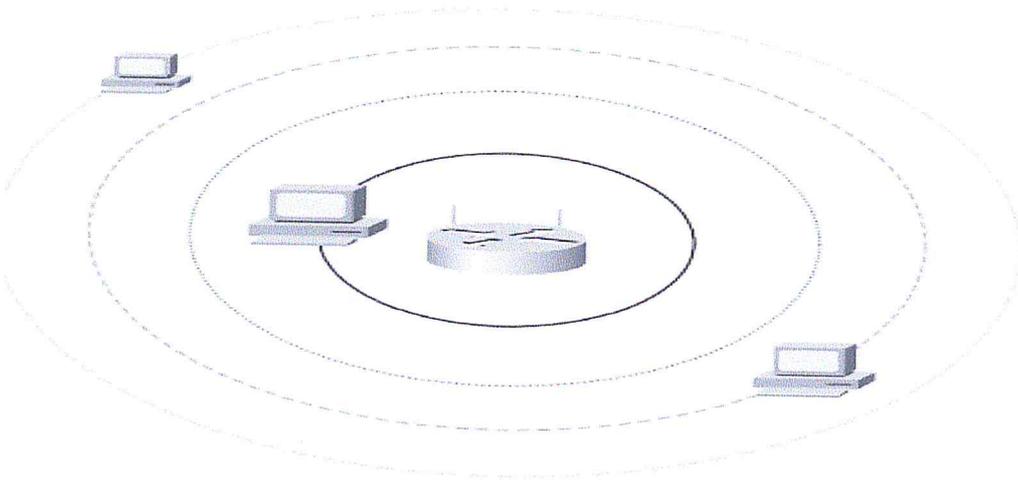


Figure 1.8 : L'affaiblissement des signaux [9]

L'affaiblissement des signaux dépend aussi de la distance qui sépare les stations de l'AP mais également de la nature du trajet et de la fréquence de l'onde radio émise par l'AP. Plus les distances et les fréquences sont élevées plus l'affaiblissement est important. En l'absence d'obstacles le long du trajet qui sépare une station de l'AP, l'affaiblissement de l'onde radio est : [5]

$$AFF (dB) = 32.5 + 20 \log f(GHz) + \log d (m) \quad (1-2)$$

F : La fréquence de l'onde en GHz.

d : La distance entre le point d'accès et la station en m.

En présence d'obstacles sur le trajet qui sépare une station de l'AP, l'affaiblissement total du signal est le résultat de plusieurs contributions :

Affaiblissement totale = puissance d'émission + gain d'antenne d'émission - affaiblissement de propagation - affaiblissement d'obstacle - marge de liaison + gain d'antenne de réception. [5]

3.3.3 L'Absorption

L'effet de l'absorption influence sur l'amplitude de l'onde, l'absorption réduit l'amplitude et par conséquent la distance parcourir par l'onde. [9]

3.3.4 La Réflexion

De plus de l'absorption, il y a aussi le problème de réflexion, qui affecte la propagation des ondes. La réflexion est produite lorsque le signal a rebondi par certaines objets (exemple : le verre) et prendre une nouvelle direction (voir figure 1.9). La réflexion dépend de la fréquence de signal. [9]

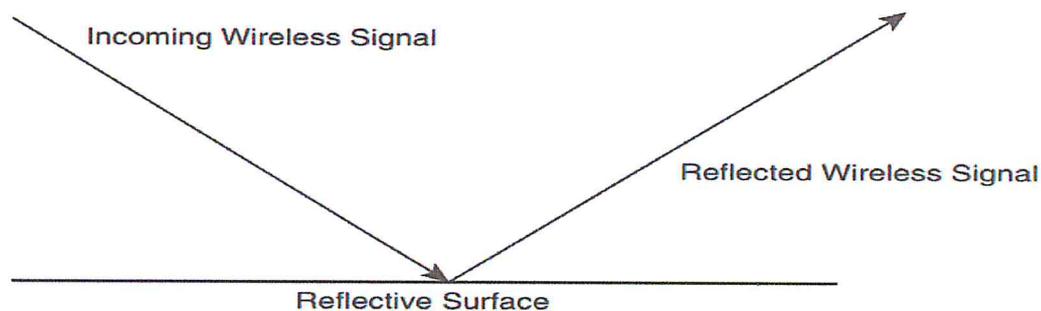


Figure1.9 : phénomène de réflexion des ondes électromagnétiques. [9]

3.3.5 La Réfraction

La réfraction c'est le changement de la direction ou de la pente de signal lorsqu'il traverse un milieu de densité différente. Comme elle montre la figure 1.10, lorsqu'une onde passe par un verre d'eau, une portion de l'onde est réfractée par le verre et l'autre portion est passée avec un angle différent. [9]

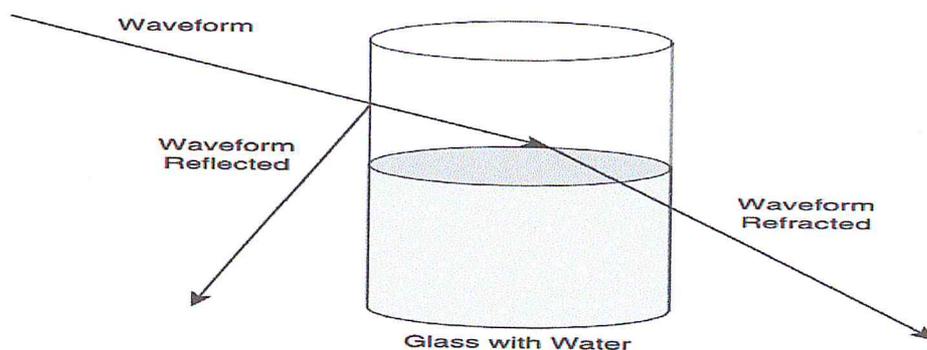


Figure 1. 10 : phénomène de réfraction des ondes électromagnétiques. [9]

3.3.6 La Dispersion

La dispersion est produite lorsque le signal prend différentes chemins, ce problème est provoqué par plusieurs objets (ex : microparticules d'eau) qui reflètent le signal dans différentes directions (voir figure 1.11). [9]

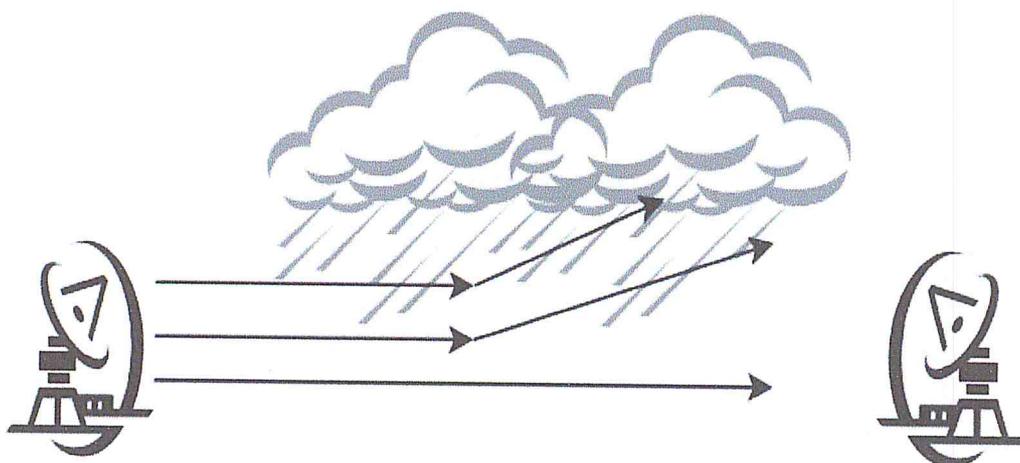


Figure 1.11 : phénomène de dispersion des ondes électromagnétiques. [9]

3.3.7 Le Multi trajet

Le signal transmis dans un canal radio peut rencontrer les différents phénomènes physiques mentionnés précédemment, par conséquent, le signal peut prendre différentes chemins de différentes longueurs, ce qui provoque des échos et arrive au niveau récepteur dans un désordre (*out of phases*), ces échos pouvant engendrer des évanouissements (*fading*), par conséquent. Lorsqu'on est dans une réception fixe ou mobile, la probabilité de recevoir uniquement une onde directe provenant d'un émetteur est très faible. On va donc recevoir le signal émis par l'émetteur ainsi qu'une multitude de signaux atténués et retardés provenant des différents échos, ce phénomène s'appelle *multipath* (voir figure 1.12). [8]

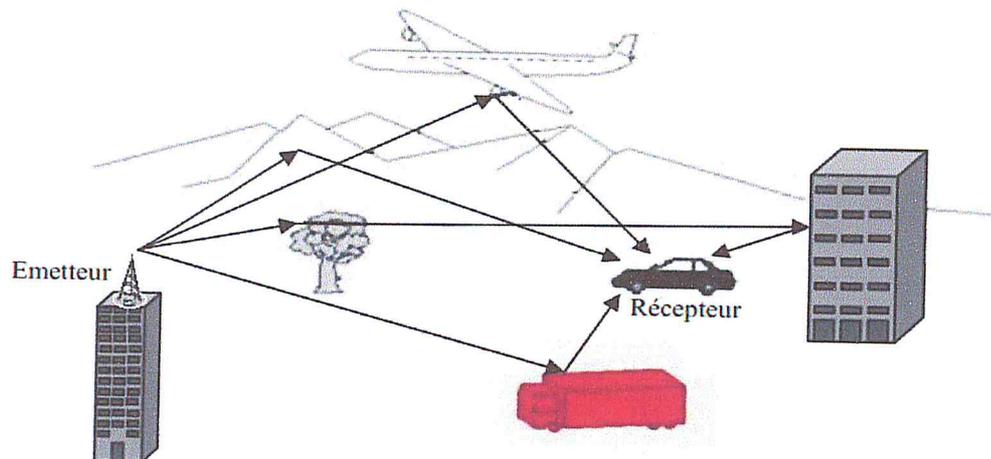


Figure 1. 12 : Trajet multiple dans un canal radio (multipath) [8]

Dans un environnement où il y a un multi trajet, nous pouvons avoir des points où la puissance du signal reçue est nulle, cette situation s'appelle évanouissement total (*deep fade*), ces point sont appelé *Blind spots* (voir figure 1.12).

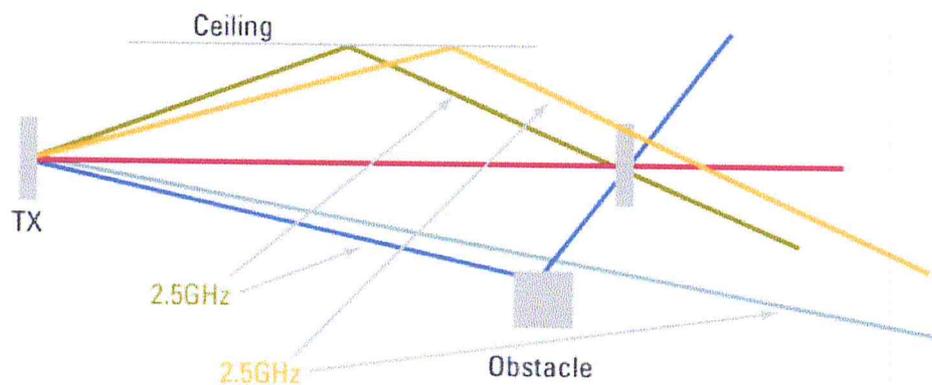


Figure 1.13 : Deep Fade [9]

3.3.8 La visibilité directe (LOS) et indirecte (NLOS)

Lorsque l'émetteur et le récepteur sont en vision directe et il n'existe aucun obstacle entre les deux qui empêche la propagation de signal, cette situation s'appelle LOS (*Line Of Sight*) (voir figure 1.14). En revanche, lorsque l'émetteur et le récepteur ne sont pas en vision directe et le chemin situé entre les deux inclut différents types d'obstacles, nous pouvons dire que les deux sont en état de NLOS (*Non Line Of Sight*) (voir figure 1. 15). [9]

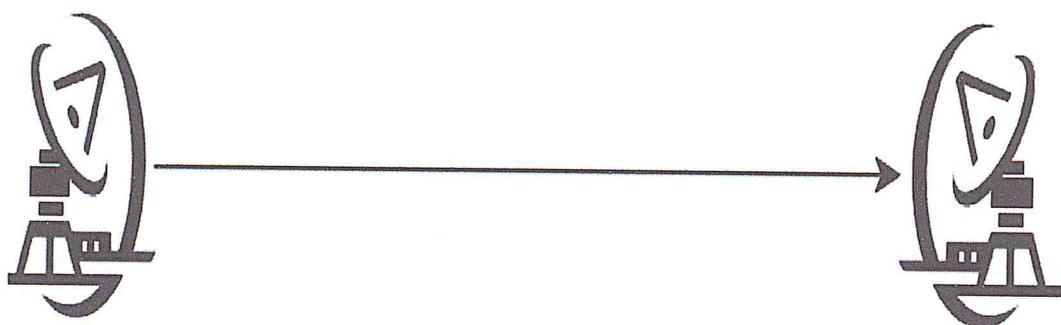


Figure 1.14 : Communication en LOS [9]

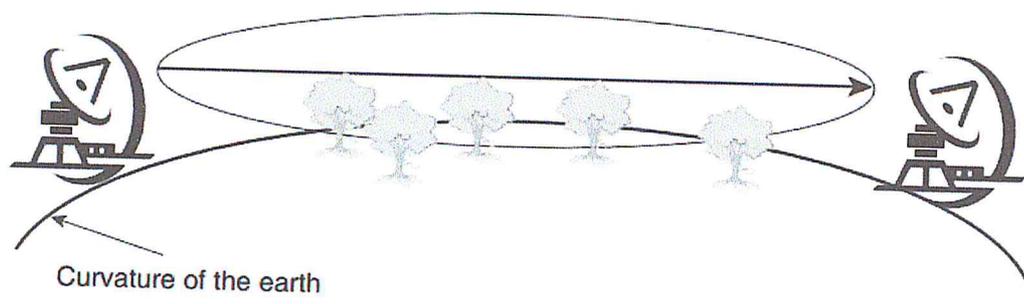


Figure 1.15 : Communication en NLOS [9]

3.4 Procédure d'accès

L'accès au réseau sans fil comprend trois étapes principales :

3. 4.1 processus de scan

L'identification par la station à l'écoute du réseau de l'AP et des autres stations liés au réseau s'effectue par l'intermédiaire d'un processus de scan (actif ou passif). Dans le scan passif, la station attend de recevoir une trame de balise (*Beacon Frame*) envoyée périodiquement par le point d'accès pendant un intervalle prédéfini (*Beacon Interval*). Dans le scan actif, c'est la station qui prend l'initiative d'envoyer directement une requête de sondage (*Probe Request Frame*) et attend le renvoi de réponse de point d'accès ou des autres stations. La réponse de l'AP se manifeste par une trame de réponse s'appelle *Prob Response*. Les trames de balises (*Beacon Frames*) et les trames de réponses (*Prob Responses*) contiennent les mêmes informations, parmi les éléments principaux incluent dans le corps des trames :

- La valeur du temporisateur TSF (*Timestamp*) qui sert à synchroniser l'horloge de la station avec celle de l'AP.
- La durée de temps entre l'envoi de deux trames de balises (*Beacon Frames*) successive (*Beacon Interval*).
- Les informations sur la capacité des couches MAC et PHY (*Capability Information*).

- L'identifiant de réseau, Service Set Identifier (*SSID*).
- Le débit supporté par l'AP (*Supported Rates*).
- Les informations spécifiques à la couche PHY (*PHY Parameters*) entre autre le numéro du canal en cas où la DSSS est utilisé ou la séquence de sauts utilisée en cas de FHSS. [5]

3.4.2 Décision de se joindre au réseau

Une fois les éléments de la trame ou les trames dans le cas de plusieurs APs sont reçus (*Beacon Frames* en cas de scan passif ou *Prob Responses Frames* en cas de scan actif) par la station, celle-ci devrait prendre la décision de s'associer ou non à l'un des APs disponibles selon les capacités supporté.[5]

3.4.3 Négociation de la connexion (Authentification et Association)

Le processus d'authentification est très important dans les WLAN, il permet de contrôler l'accès au réseau. On notera que dans les réseaux Wi-Fi aucune station ne peut échanger du trafic d'information avec une autre station ou un point d'accès sans qu'elle soit authentifiée et associé. [5]

3.5 Méthodes d'authentification dans la standard IEEE802.11

Le standard IEEE802.11 utilise les méthodes d'authentification, *Open System* (voir figure 1.16) et *Shared Key* (voir figure 1.17). La méthode *Open System (No Authentication)* est la plus simple. En effet, la station qui souhaite s'authentifier envoie une requête d'authentification à l'AP avec une spécification de l'utilisation de la méthode "*Open System*". Si l'AP supporte cette méthode d'authentification il renvoie une réponse synonyme de la validation de l'authentification. L'authentification *Shared Key* exige que le chiffrement (*Wired Equivalent Privacy WEP*) soit activé avec une même clef du client et de l'AP. [5]

Le processus d'authentification *Shared Key* s'effectue comme suit :

1. Le client envoie à l'AP une requête pour l'authentification *Shared Key*.
2. L'AP répond avec un texte-challenge en clair.
3. Le client chiffre le texte-challenge et place le résultat dans une trame de réponse.
4. Si l'AP peut déchiffrer la trame et extraire le texte-challenge initial, le client reçoit un message l'autorisant à accéder au WLAN.[5]

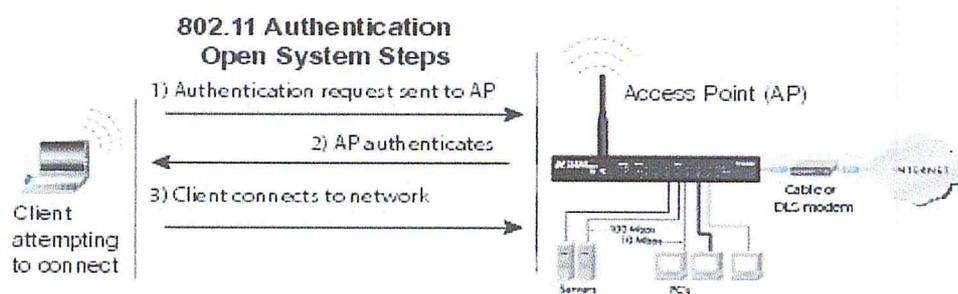


Figure 1.16 : Authentification Open System [5]

Notons qu'il y a autres méthodes d'authentification définit dans le standard IEEE802.11 comme l'authentification Radius (basé sur un serveur d'authentification) définir dans la variante IEEE 802.11i

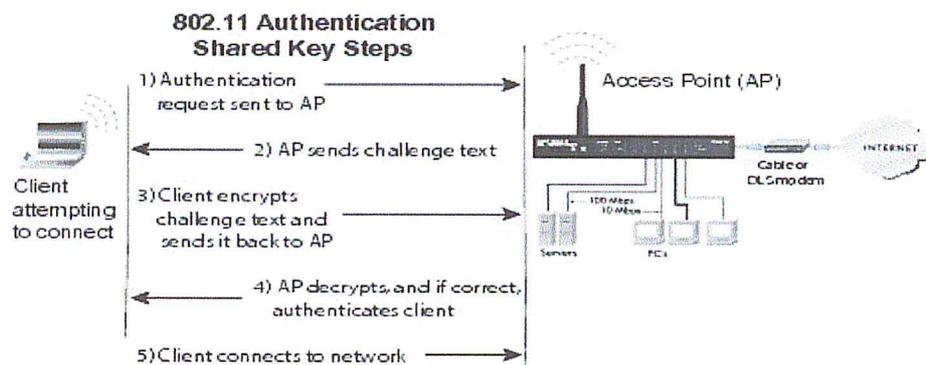


Figure 1. 17: Authentification Shared Key [5]

3.6 l' Association

L'authentification étant terminée avec succès, elle vient la phase d'association, dans laquelle la station envoie une demande d'association à l'AP avec lequel elle est déjà authentifiée. Si le point d'accès répond positivement, la station confirme son association à l'échange de trafic. Dans le processus d'association le point d'accès attribue un identificateur (*AID*) à la station, qui sera utilisé dans l'échange de trafic entre eux. Le standard IEEE802.11 utilise aussi deux autres services liés à l'association, c'est la dé-association et la réassociation. [5]

4. L'architecture de standard IEEE802.11

Le standard IEEE802.11 a redéfini les deux premières couches de modèle de référence OSI. Les fonctionnalités et les protocoles de la couche physique et MAC sont redéfini par le groupe IEEE802.11 afin qu'ils peuvent s'adapter à l'environnement de déploiement de réseaux Wi-Fi, l'architecture de standard IEEE 802.11 est illustré dans la figure 1.18. [7]

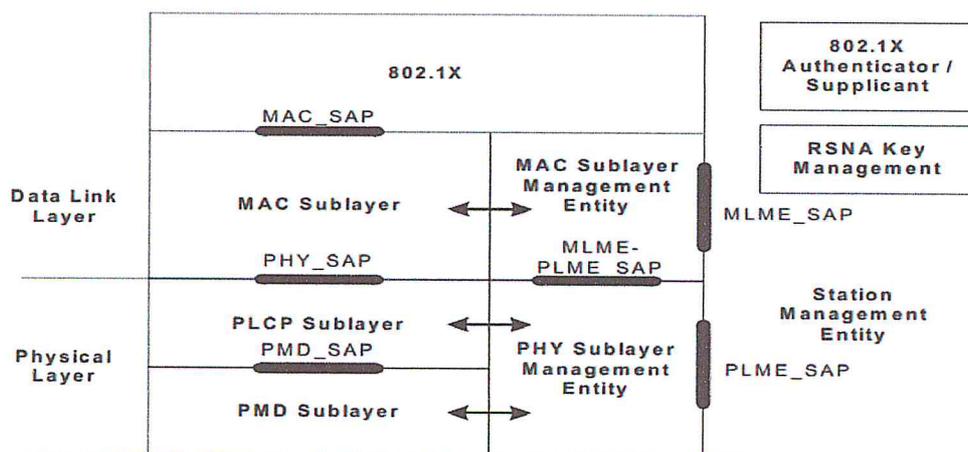


Figure 1.18. L'architecture de standard IEEE802.11 [7]

4.1 Les fonctionnalités de la couche physique

La couche physique définie par IEEE802.11 est composée de deux couches : la *PLCP* et la *PMD*. La couche *PLCP* réalise la procédure de convergence entre la couche *MAC* et la couche *PMD*, il encapsule les trames *MAC* dans un format de données (*physical protocol data unit PPDU*) (voir figure 1.19) appropriée pour la transmission dans l'air. [7]

La couche *PMD* est responsable sur l'envoi et la réception des données à travers les supports de transmission sans fil (*Wireless Media*). [7]

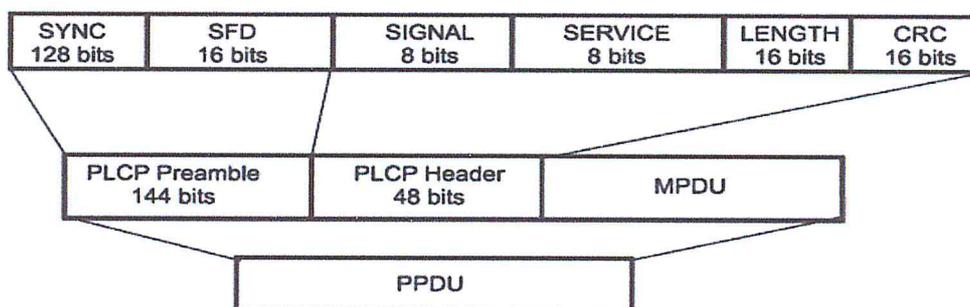


Figure1.19. Le format de PPDU [7]

4.2. Types de Modulations utilisé dans le standard IEEE802.11

Les techniques de transmission des informations utilisent un support analogique qui transporte seulement des informations codées. Ainsi il devient impératif d'encoder au préalable les informations à transmettre. L'encodage consiste à associer aux informations à transmettre un ou plusieurs symboles appropriés au support analogique. L'opération d'encodage repose sur la modulation de la fréquence, de la phase ou de l'amplitude du signal à transmettre. La modulation transforme les informations numériques (un signal numérique composé d'une suite de 0 et de 1) en une suite de symboles à transporter. [6]

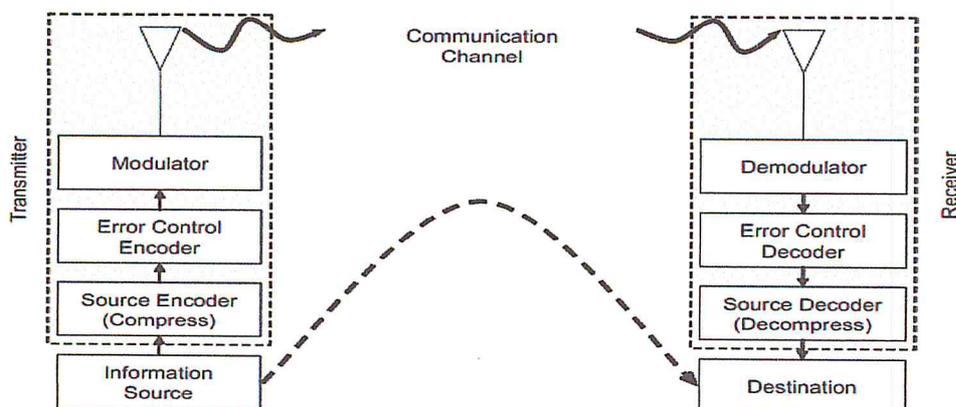


Figure 1. 20 : Processus de modulation et codage [6]

4.2.1. Modulation de la fréquence

C'est une modulation par décalage de fréquence (*GFSK*). Le principe de cette modulation est l'encodage des informations à transmettre en une série de symboles, chaque symbole est représenté par une fréquence égale à la fréquence centrale de canal au auquel est ajouté ou soustrait un petit décalage noté d ($FC+d$ ou bien $FC-d$). Ils existent deux types de modulation *GFSK* : [5]

a) *GFSK* à deux niveaux (2- *GFSK*) :

Cette modulation est très simple, elle utilise deux symboles pour représenter les valeurs d'un signal numérique qui sont 1 ou 0. Pour transmettre un 1 on augmente la fréquence d'une valeur égale $+d$, et en diminuant la fréquence d'une valeur égale $-d$ pour transmettre un 0. [5]

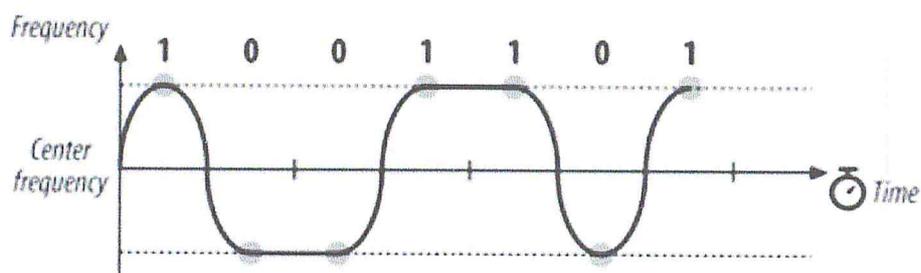


Figure 1. 21 : la modulation 2-*GFSK* [5]

b) GFSK à quatre niveaux (4- GFSK) :

Le principe de cette modulation est le même que la modulation 2-GFSK, mais elle utilise quatre symboles pour représenter les valeurs du signal numérique, ce qui permet de transporter deux bits par symboles au lieu d'un seul bit. Chaque symbole est représenté par un décalage de fréquence bien définie. Le tableau 2 montre les symboles associés aux différents décalages. [5]

Symbols	Décalages de fréquence
00	$-3/2 * h_2 * FC$
01	$-1/2 * h_2 * FC$
10	$+3/2 * h_2 * FC$
11	$+1/2 * h_2 * FC$

Tableau 1.2 : Symboles et décalages de fréquences dans la modulation (4- GFSK) [5]

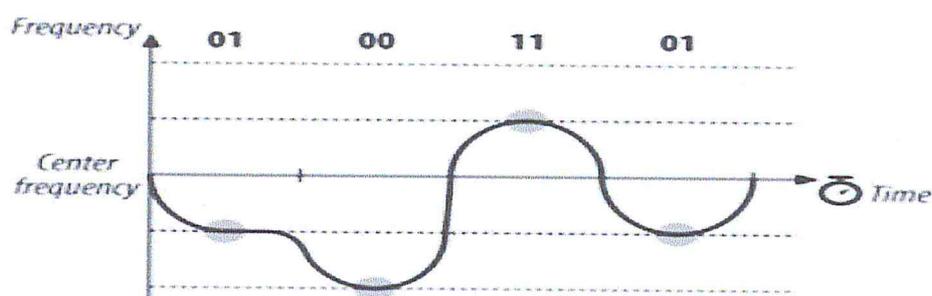


Figure 1. 22 : la modulation 4GFSK [5]

4.2.2. Modulation de phase différentielle (DPSK)

Les différents symboles à transmettre sont codés par une modification différentielle de la phase (*DPSK*) du signal transmis. Ils existent deux formes de cette modulation :

a) La Modulation de Phase Différentielle binaire(DBPSK) :

La DBPSK est la forme plus simple de la modulation DPSK. Cette modulation utilise deux états seulement, l'un pour coder un 1 et l'autre pour coder 0. On divise le temps en intervalles de symboles et pour chaque intervalle on détermine la phase par rapport à la phase précédente. Le tableau 3 montre l'association entre les symboles et le décalage de phase. [5]

Symboles	Décalage de phase
0	pas de décalage de phase
1	180°(demi-cycle)

Tableau 1.3 : Symboles et décalages de Phases dans la modulation DBPSK [5]

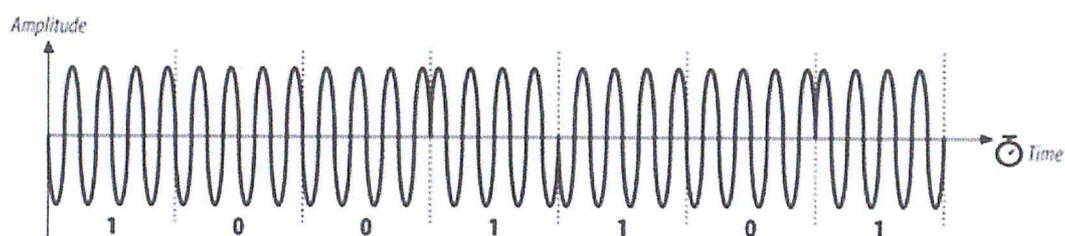


Figure 1. 23 : Modulation DBPSK [5]

b) La Modulation de Phase Différentielle à quatre états (DQPSK)

La modulation DQPSK permet de coder deux bits par symbole. A chaque symbole, on décale la phase d'un quart de cycle. Le tableau 4 montre la correspondance entre les symboles et le décalage de phase. [5]

Symboles	Décalages de phase
00	pas de décalage de phase
01	90 DEG
11	180 DEG
10	270 DEG

Tableau 1. 4 : Symboles et décalages de phase dans la modulation DQPSK [5]

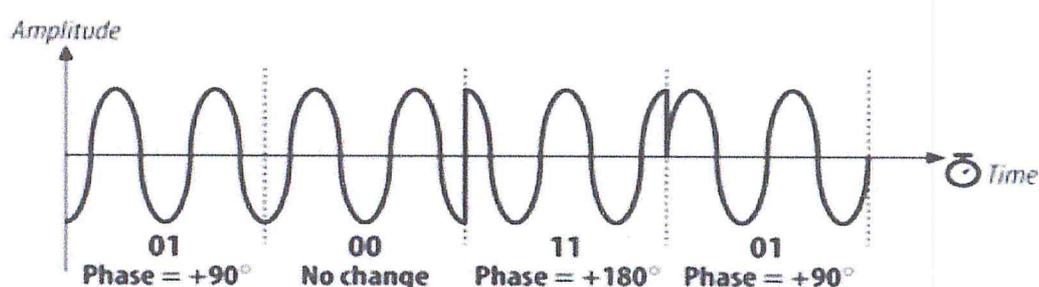


Figure 1.24 : Modulation DQPSK [5]

4.2.3 Modulation multi-porteuses OFDM

L'OFDM consiste à découper un large canal de fréquence en plusieurs sous canaux (sous porteuses), tous les sous porteuses peuvent transmettre des données en parallèle, les sous porteuses sont ensuite multiplexées pour composer un seul canal plus rapide. La possibilité de séparation des sous porteuses dépend d'une relation mathématique appelée Orthogonalité. L'OFDM forme ainsi une onde globale par l'application d'une Transformée de Fourier Rapide Inverse IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) sur l'amplitude de chaque sous porteuse. Puis à la réception, les récepteurs réalisent la transformé de fourrier rapide FFT afin d'extraire l'amplitude de chaque sous porteuse. L'OFDM applique un code de correction d'erreurs sur tous les sous porteuses COFDM (Coded OFDM). Ce système utilise un code de contrôle continue sur chaque sous canal qui permet aux récepteurs de détecter les bits corrompues ou perdues et de les réparer. Pour implémenter le mécanisme de correction des erreurs on y ajoutant des bits redondants aux flux de données. Pour cela deux types de codes

sont utilisés. IL y a Les codes en bloc qui fonctionnent avec des blocs de données de taille fixe et les codes convolutionnels qui fonctionnent avec des blocs de taille aléatoire. Ces derniers sont caractérisés par deux paramètres Le premier est la distance libre qui détermine la distance de transmission sur laquelle les bits de données seront codés. Le second est le taux de codage (R) qui détermine le nombre de bits redondant ajouté aux flux de données. Le format de la valeur détermine le rapport : nombre de bits de données transmis sur le nombre total de bits codés. Par exemple si $R=3/4$, cela signifie que 3 bits de données sont transmis dans chaque bloc de 4 bits. [5]

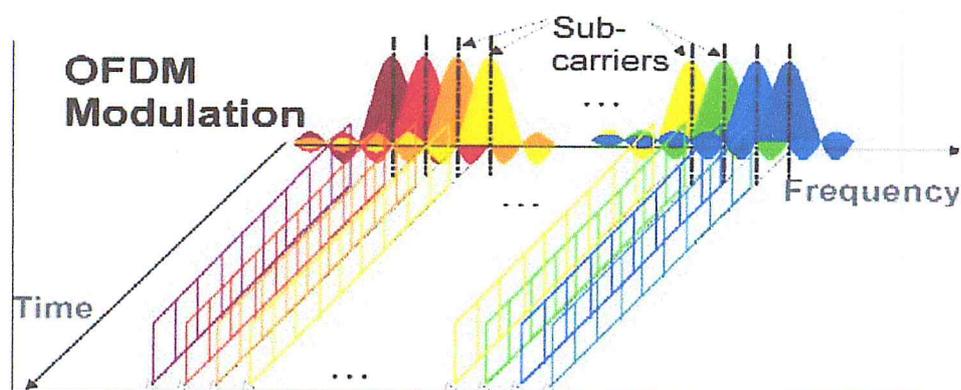


Figure 1.25 : Modulation OFDM [11]

4.2.4 Modulation d'amplitude en quadrature de phase (QAM)

Cette modulation est appliquée sur chaque sous porteuse pour transmettre des données. La QAM code les données sur une seule onde porteuse et effectue la modulation d'amplitude sur les deux composantes de l'onde (la composante en phase et la composante en quadrature). La QAM c'est la combinaison entre la PSK et ASK. [6]

La constellation est une représentation graphique des valeurs qui peuvent prendre un signal, à chaque point de la constellation on affecte un symbole, et à chaque symbole est affectée une valeur de bit. La QAM est décrite en mesurant le nombre de valeurs des bits de la constellation. Par exemple 16-QAM et 64-

QAM (voir figure 1.26) représentent respectivement quatre et six bits. Pour atteindre un débit élevé il suffit de définir des constellations avec plus de points. D'autre part, Pour calculer la capacité d'un canal de transmission, il suffit de multiplier le nombre de bits transporté par chaque sous porteuse par le nombre des sous-porteuses d'un canal.[6]

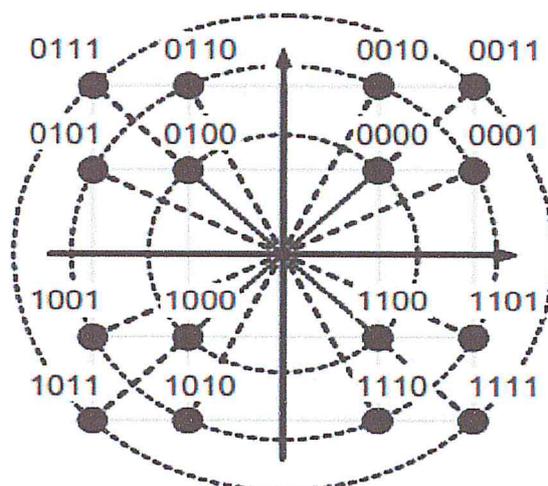


Figure 1. 26 : Constellation de 64-QAM [6]

4.3 Techniques de transmission dans IEEE802.11

4.3.1 FHSS et DSSS :

Le groupe IEEE802.11 a défini deux techniques de transmission dans le standard initial :

a. *FHSS* est une technique de transmission radio utilisant une suite de sauts de fréquences qui consiste à répartir l'ensemble des informations à transmettre sur un ensemble de sauts de fréquences de même largeur (voir figure 1.27). Elle est similaire aux systèmes *FDMA*, sauf que dans ces derniers des tranches de fréquences fixes sont allouées à chaque périphérique, tandis que dans la technique *FHSS*, les tranches de fréquences sont variables. L'emploi de la modulation *GFSK* à deux niveaux ou la modulation *4-GFSK* dans la technique

FHSS offre un débit respectif de 1Mbps et 2Mbps. La technique *FHSS* est déterminée par quatre paramètres :

- Le découpage de la bande de fréquence en plusieurs sauts.
- La séquence des sauts à enchaîner.
- *Dwell Time* : Le temps écoulé dans une fréquence.
- *Hope Time* : Le Temps de passage d'une fréquence à une autre fréquence. [5]

La bande *ISM* est divisée en plusieurs canaux de 1MHz, chacun d'eux à une fréquence centrale propre. Celle du premier canal débute à 2.400 GHz, il s'ensuit que la fréquence centrale du canal voisin est à 2.400 GHz + 1MHz. Le nombre de canaux employés est changé d'un pays à un autre. De même la séquence de sauts à utiliser dans une transmission ainsi que le nombre de sauts dans une séquence sont fixés en commun accord entre l'émetteur et le récepteur avant le début de la transmission. Le tableau 5 résume les séquences utilisé dans chaque pays : [5]

pays	Fréquences autorisé	Nombre de sauts
USA (FCC)	2 – 79 (2.402-2.479 GHz)	26
Europe (ETSI)	2-79 (2.402-2.479 GHz)	26
France	48-82 (2.448-2.482GHz)	27
Japon	73-95 (2.473-2.495 GHz)	23

Tableau1.5 : Les fréquences utilisées dans chaque pays [5]

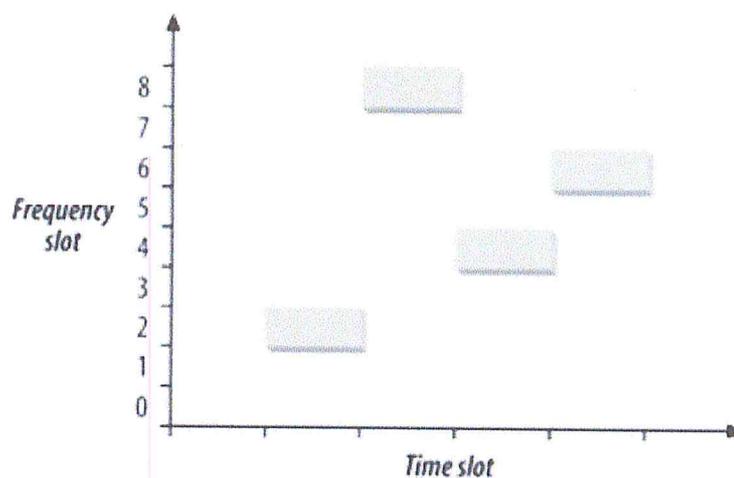


Figure 1. 27 : La technique FHSS [5]

b. DSSS est une technique d'étalement de spectre qui permet de transmettre un signal sur une bande de fréquence plus large. L'émetteur et le récepteur utilisent une même bande mais plus large que dans le cas de la technique FHSS. La fréquence de canal reste inchangée pendant toute la durée de communication. L'étalement de spectre à séquence directe s'effectue à l'aide d'un étaleur qui applique une transformation mathématique afin de répartir l'amplitude d'un signal à bande étroite sur une bande de fréquence plus large (voir figure 1.28). Au niveau de récepteur, un corrélateur effectue l'opération inverse du processus d'étalement pour reconstituer le signal original. Le processus d'étalement du signal applique une séquence de *chipping* aux flux de données. On applique pour chaque bit de données une séquence de 11 *chips*. Au niveau du récepteur, la séquence de chips est comparée à un flux de chips identique pour déterminer la valeur attribuée à un bit. Quand les deux séquences sont égales le bit transmis vaut 0 sinon il s'agit d'un bit à 1. La valeur importante dans l'étalement du spectre à séquence directe est le gain d'étalement qui représente le nombre de *chips* utilisé pour coder un bit de données. Plus celui-ci est élevé, plus il est facile d'identifier le signal transmis. [5]

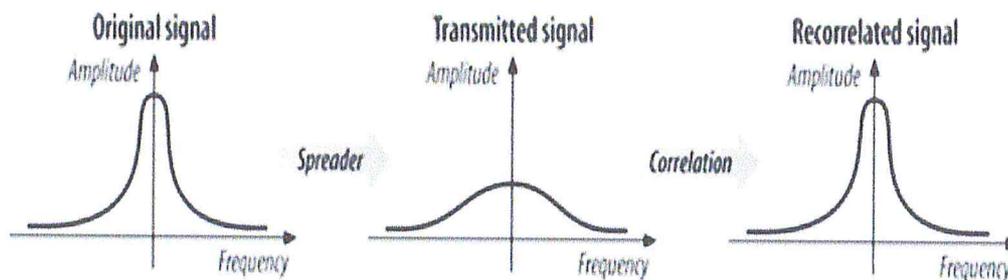


Figure 1. 28 : Étalement de spectre [5]

Pour coder un bit de données, Le standard IEEE 802.11 utilise la séquence de *Barker* (+1,-1, +1, +1,-1, +1, +1, +1,-1,-1,-1). L'opération *XOR* entre le bit à transmettre et la séquence de Barker est réalisée avant la transmission. Ainsi les récepteurs peuvent examiner le nombre de 1 reçu par période de symbole. Si le nombre 1 se répète six fois, le symbole correspond à la transmission de bit 0, sinon il indique la transmission de bit 1 [5]. Le tableau 1.6 illustre cette opération :

bit	séquence de barker	résultat
0	10110111000	10110111000
1	10110111000	01001000111

Tableau1.6 : Codage d'un bit de données par séquence de Barker [5]

La Technique *DSSS* partage la bande *ISM* en plusieurs canaux, chacun de 22 MHz. Cependant le nombre de canaux peut changer d'un pays à un autre (11, 13,14). Comme dans le cas de la technique *FHSS*, un canal est identifié par sa fréquence centrale. Le premier canal se situe sur la fréquence 2.412 GHz tandis que la séparation entre deux fréquences centrales de deux canaux successives est de 5MHz.

4.3.2 HR/DSSS (802.11b)

La variante 802.11b standardisée en 1999 utilise une extension de la technique *DSSS* nommée *HR/DSSSS*. Cette extension permet d'augmenter le débit jusqu'à 5,5Mbps et 11Mbps. Les caractéristiques de la couche PHY 802.11b sont

rapportées en tableau 7. L'augmentation du débit est le résultat de l'emploi d'une nouvelle technique de codage appelée le codage par code complémentaire CCK.

Paramètres	Valeurs
Durée SIFS	10 MS
Durée de préambule	144MS
Durée de l'entête PLCP	48 MS/24MS
Taille max de la trame MAC	4095 octets

Tableau1.7 : caractéristiques de la couche PHY 802.11b [5]

Le codage CCK est basé sur des transformations mathématiques complexes qui permettent d'utiliser des mots de codes de 8 bits afin de coder 4 bits et 8 bits de données pour atteindre un débit respectif de 5.5Mbps et 11Mbps. Le processus de codage CCK est assez similaire à celui de codage par séquence de *Barker*, sauf que le codage CCK utilise des mots de codage dynamiques qui sont constitués à partir de données tandis que le codage de *Barker* utilise une séquence statique définie préalablement. [5]

4.3.3 OFDM dans 802.11a

Afin d'obtenir un débit plus élevé, une autre variante a été normalisé également en 1999, c'est la 802.11a. Elle fonctionne dans la bande U-NII qui situé autour de 5 GHz et utilise la modulation multi-porteuses OFDM, La couche PHY 802.11a divise la bande UN-II en plusieurs canaux de 20 MHz, 10MHz et 5MHz. Chaque canal est constitué de 52 sous porteuses, quatre sont utilisées comme des porteuses pilotes pour surveiller le décalage de fréquences et les autres servent à la transmission des données. L'espace entre les sous porteuses est 0.3125 MHz. Plusieurs grandeurs sont nécessaires pour l'implémentation l'OFDM dans la variante 802.11a. La durée de l'intervalle de garde est de 800ns, celle de symbole est de 4ms (la durée de symbole doit être plus longue que celle de l'intervalle de

garde d'au moins 5 fois). L'intervalle d'intégration est égal à 3.2ms. Les taux de codage R utilisés sont $1/2$, $2/3$ et $3/4$. [5]

4.3.3.1 Débits supportés par 802.11a

802.11a utilise différents types de modulations pour coder les données transmises dans les sous porteuses, elle permet d'atteindre un débit de 6 à 54Mbps. 802.11a offre 4 classes de débit, 6 à 9Mbps, 12 à 18Mbps, 24 à 36 Mbps, 48 à 54Mbps. Les débits 6, 12 et 24Mbps sont obligatoirement supportés par les stations 802.11a car les stations ont la possibilité de dégrader automatiquement le débit de fonctionnement en cas de présence d'interférence. Le tableau 8 illustre l'implémentation d'OFDM dans la variante 802.11a. [7]

Modulation	Coding rate (R)	Coded bits per subcarrier (N_{BPSK})	Coded bits per OFDM symbol (N_{CBPS})	Data bits per OFDM symbol (N_{DBPS})	Data rate (Mb/s) (20 MHz channel spacing)	Data rate (Mb/s) (10 MHz channel spacing)	Data rate (Mb/s) (5 MHz channel spacing)
BPSK	$1/2$	1	48	24	6	3	1.5
BPSK	$3/4$	1	48	36	9	4.5	2.25
QPSK	$1/2$	2	96	48	12	6	3
QPSK	$3/4$	2	96	72	18	9	4.5
16-QAM	$1/2$	4	192	96	24	12	6
16-QAM	$3/4$	4	192	144	36	18	9
64-QAM	$2/3$	6	288	192	48	24	12
64-QAM	$3/4$	6	288	216	54	27	13.5

Tableau1.8 : L'implémentation d'OFDM dans 802.11a [7]

4.3.3.2 Caractéristiques de la couche PHY 802.11a

Le tableau 9 résume les caractéristiques de la couche PHY 802.11a.

paramètres	Valeur
Durée d'une tranche	9ms
Durée SIFS	16 MS
Durée de préambule	20MS
Durée de l'entête PLCP	4MS
Taille max de la trame Mac	4095 octets

Tableau 1. 9: caractéristiques de la Couche PHY 802.11a [5]

4.3.4 ERP (802.11g)

La variante 802.11a offre un débit plus élevé que la 802.11b mais elle n'est pas compatible avec cette dernière car elle fonctionne dans la bande de 5 GHz. Les besoins des utilisateurs d'un débit plus élevé avec une rétro compatibilité avec la 802.11b, conduit à l'apparition de la variante 802.11g. Cette dernière est une transformation de 802.11a de la bande *UN-II* vers la bande *ISM*. Le partage de la bande *ISM* dans la 802.11g est identique à celui de la 802.11b. Il existe plusieurs variantes de l'ERP :

a- *ERP-DSSS* et *ERP-CCK* : deux modes compatibles avec la *DSSS* et *HR/DSSS*.

b- *ERP-OFDM* : c'est le mode principale de la variante 802.11g. Il convient aussi au fonctionnement de la variante 802.11a dans la bande UNII, et supporte les mêmes débits que celle-ci (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps).

c- *ERP-PBCC* : C'est une extension de la technique *PBCC* fournie par la variante 802.11b. Elle peut atteindre des débits de 22 Mbps et 33 Mbps.

d- *DSSS-OFDM* : un mode qui combine entre les modulations *DSSS* et *OFDM*. Les données utiles du paquet sont codées avec l'*OFDM* puis placées dans un entête compatible codé avec *DSSS*.

Toutes les stations 802.11g sont contraintes à supporter les modulations *DSSS* (1 et 2 Mbps), *HR/DSSS* (5.5 et 11 Mbps) et *OFDM* à 6, 12, 24 Mbps. Les modes implémentés par 802.11g sont des variantes de techniques de transmissions existantes avec des modifications pour assurer la rétro comptabilité. [5]

4.3.4.1 Caractéristiques de la PHY 802.11g :

Le tableau 10 résume les principales caractéristiques de la couche PHY 802.11g

paramètres	Valeur
Durée d'une tranche	9ms/20ms
Durée SIFS	10 MS
Durée de préambule	20MS
Durée de l'entête PLCP	4MS
Taille max de la trame Mac	4095 octets
Durée de l'extension de signal	6ms

Tableau 1.10: caractéristiques de la Couche PHY 802.11g [5]

4.3.5 MIMO (802.11n)

Toutes les variantes précédentes utilisent une seule antenne pour la transmission et la réception des données. Pour atteindre un débit très élevé de l'ordre de 150 Mbps et plus, la variante 802.11n utilise une technologie s'appelle *MIMO*. La technologie *MIMO* consiste à utiliser simultanément plusieurs antennes pour la transmission et la réception des données (voir figure 1.29). Chaque antenne peut transmettre et recevoir un signal. Une seule trame peut être décomposée et multiplexée sur plusieurs flux spatiaux puis réassembler au niveau du récepteur. Cela permet d'augmenter le débit. [5]

L'avantage principal de la technologie *MIMO* réside dans l'utilisation du phénomène multipath. Ce dernier présente un grand défi pour les systèmes précédents. *MIMO* profite de multipath pour générer des signaux quasi-indépendants pour optimiser le système de transmission. [5]

La configuration des antennes dans *MIMO* est décrite par le produit : $Y \times Z$. Y et Z représentent le nombre d'antennes utilisés pour la transmission et la réception respectivement. [5]

La variante IEEE802.11n est implémentée dans les deux bandes 2.4GHz et 5GHz, il utilise des canaux de transmissions de 20MHz et 40MHz, les canaux de 40MHz sont utilisés seulement dans la bande 5GHz. Il y a plusieurs autres techniques utilisé par 802.11n en parallèle avec *MIMO*, comme *Spatial mapping*, *spatial multiplexing* et *transmit beamforming*. [7]

La variante 802.11n permet d'atteindre des débits élevé (*High throughput*), elle est basé sur la modulation *OFDM* défini dans 802.11a, avec l'utilisation de plusieurs flux spatiaux au même temps (jusqu'à 4 flux simultanés), dans certaines conditions (canaux de 40MHz+ 4 flux spatiaux simultanés) nous pouvons atteindre un débit de 600 Mbps. [7]

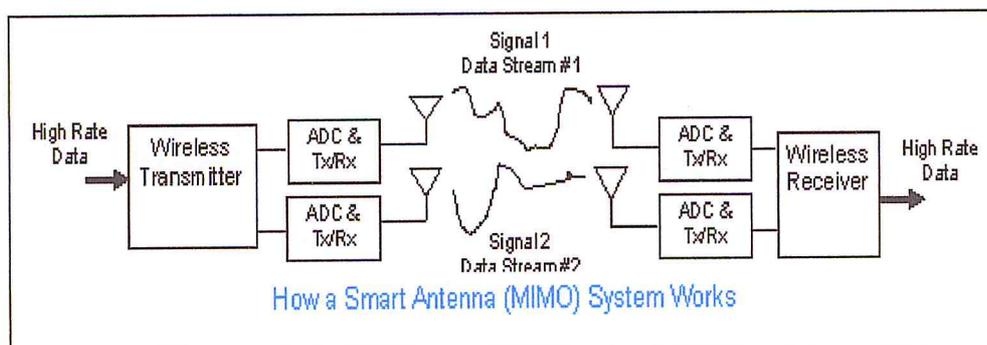


Figure 1. 29 : La technologie MIMO [5]

Les sous porteuses de 802.11n qui transportent les données sont modulées par l'utilisation des modulations *DPSK*, *QPSK*, *16-QAM* et *64-QAM*. 802.11n utilise le code convolutionnel avec $R=1/2$, $2/3$, $3/4$ et $5/6$.

paramètres	Valeur
Durée d'une tranche	9ms
Durée SIFS	16 MS
Durée de préambule	16MS
Durée de l'entête PLCP	4MS
Taille max de la trame Mac	8191 octets
Durée de RIFS	2ms

Tableau 1.11 : Les caractéristiques de la couche PHY 802.11n [5]

4.4 La couche MAC de standard IEEE802.11

La couche liaison du standard 802.11 constitué de deux sous couches, la sous couche *LLC*, et la sous couche *MAC*. La sous couche *MAC* dédiée de plusieurs fonctionnalités comme la gestion de l'accès au support de transmission, la fragmentation et réassemblage des trames, et la gestion d'économie d'énergie. [5]

4.4.1 Méthodes d'accès au canal :

La couche MAC définit plusieurs méthodes d'accès au canal, chaque méthode à ses propres caractéristiques et mode de fonctionnement, la figure 1.30 illustre les différentes méthodes d'accès implémenté par la couche *MAC*. [7]

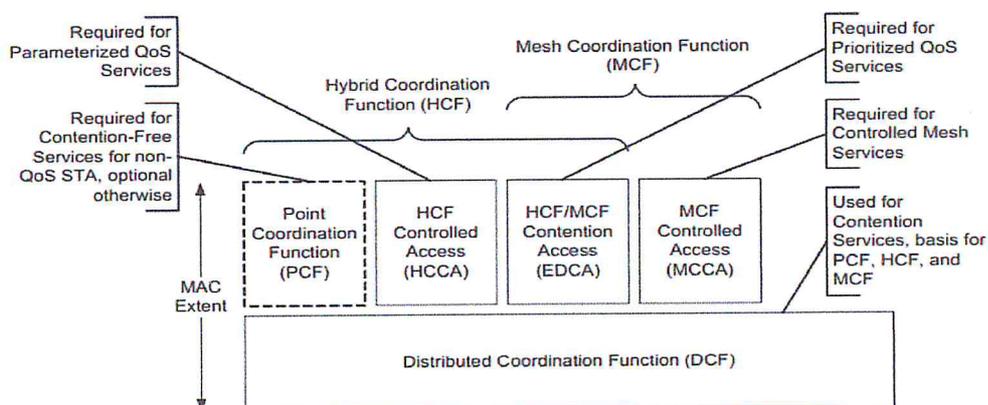


Figure 1. 30 : Méthodes d'accès au canal [7]

a. DCF :

DCF est la méthode d'accès de base, implémentée par toutes les stations de réseau, et dans les deux modes (infrastructure et ad-hoc), basée sur le protocole CSMA/CA.

Une station veut envoyer des données doit écouter le canal pour déterminer son état (libre ou occupé), si le canal est libre pendant une durée de *DIFS*, la station peut émettre ses données, sinon si le canal est occupé, la station doit différer la transmission et initialiser l'algorithme de *Backoff*. Une station calcule un intervalle du temps aléatoire appelé *Backoff_time* selon la formule 1-3. [3]

$$\mathbf{Backoff_time = Random() * Slot_Time} \quad \mathbf{(1-3)}$$

Random () est un nombre aléatoire contenu dans un intervalle $[0, CW]$. *CW* est un entier tel que $CW_{min} < CW < CW_{max}$. La taille de la fenêtre de contention $[CW_{min}, CW_{max}]$ et *Slot-Time* dépend de la couche physique utilisée.

Quand le canal deviendra libre pendant un *DIFS* (sans interruption), la station décrémente le *Backoff_time*. Quand *Backoff_time* = 0, la station peut accéder au canal et transmettre ses données.

la taille de la fenêtre de contention $[CW_{min}, CW_{max}]$ est doublée après chaque collision générée par la station. De plus, après chaque transmission avec succès la fenêtre de contention est réinitialisée à *CWmin*.

À la réception, la station destinataire doit répondre par l'envoi d'une Trame *ACK* après une durée de *SIFS* afin d'indiquer à l'émetteur que la trame est correctement reçue. Si aucun *ACK* n'est reçue par l'émetteur, il conclut qu'il y a une collision et reprendre la transmission de la trame.

Pour résoudre le problème de stations cachées (voir figure 1.31). Dans ce cas les deux stations (B et C) ne peuvent pas s'entendre, et par conséquent ils peuvent émettre au même temps à la même station ce qui provoque une collision. [3]

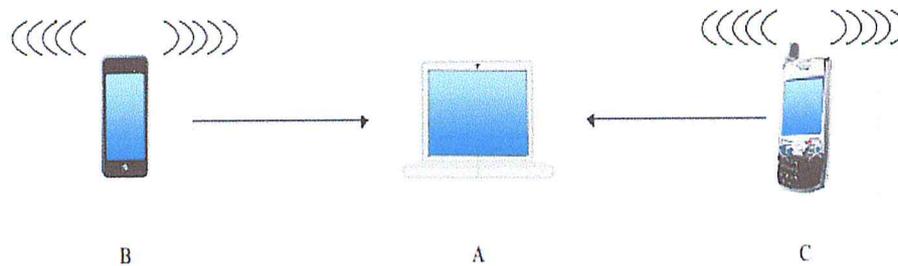


Figure 1.31 : problème de stations caché : (C est une station caché par rapport à B) [3]

Le mécanisme *CA* (*collision Avoidance*) définit une méthode de protection appelé *RTS/CTS*, la station qui exécute cette méthode doit envoyer au préalable une trame *RTS* contient des informations concernant la durée requise pour la transmission de la trame de donné. Le récepteur de la trame *RTS* doit attendre une durée de *SIFS*, puis il répond par une trame *CTS* contient les mêmes informations que *RTS*. Toutes les stations qui reçoivent la trame *CTS* mettent à jour leur *NAV* (*Network Allocation Vector*) par la durée mentionnée dans cette trame. L'utilisation du *NAV* permet aux stations de préciser la durée pendant laquelle l'accès au canal est différé. Après la fin de l'échange *RTS/CTS*, la station qui initialise ce mécanisme peut initier la transmission de données. Les figures 1.32 et 1.33 illustrent le mécanisme *RTS/CTS* et la méthode *DCF* respectivement.

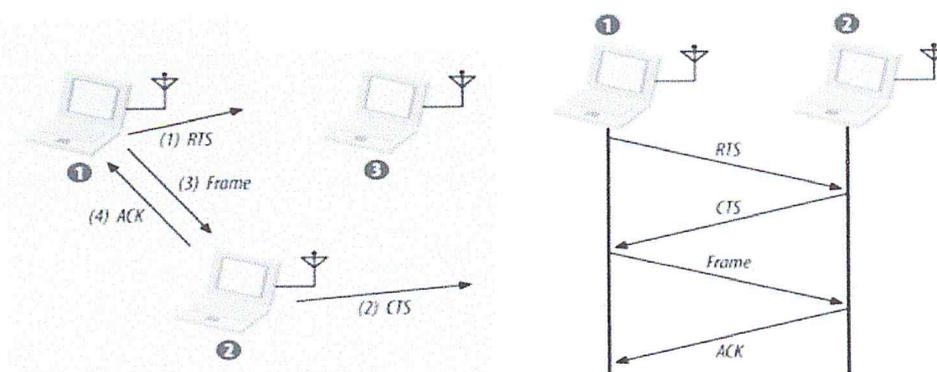


Figure 1.32 : Mécanisme RTS/CTS [5]

L'intervalle du temps entre l'envoi des trames est appelé *IFS* (*Inter-Frame Space*), la station doit déterminer que le canal est libre pendant un *IFS* bien précise, IEEE 802.11 à définit cinq types de *IFS* : [3]

1. *SIFS* : l'intervalle le plus court, utilisé pour les trames prioritaires comme *ACK*, *RTS/CTS*.

2. *PIFS* : utilisé par le point d'accès pour gagner l'accès au canal, plus court que *DIFS*, il offre plus de priorité aux points d'accès que des stations DCF, la valeur de *PIFS* est calculée sur la base de *SIFS* selon la formule (1-4).

$$PIFS = SIFS + Slot_Time \quad (1-4)$$

3. *DIFS* : utilisé par les stations fonctionnent en mode *DCF*, la valeur de *DIFS* est calculée sur la base de *SIFS* selon la formule (1-5).

$$DIFS = SIFS + 2 * Slot_Time \quad (1-5)$$

4. *EIFS* : utilisé par les stations en mode *DCF*, suite à un *FCS* erroné. La valeur de *EIFS* est calculée sur la base de *SIFS* selon la formule (1-6).

$$EIFS = SIFS + DIFS + ACK_Time \quad (1-6)$$

5. *AIFS* : utilisé par les stations implémentent la *QOS* afin de distinguer les différentes catégories d'accès.

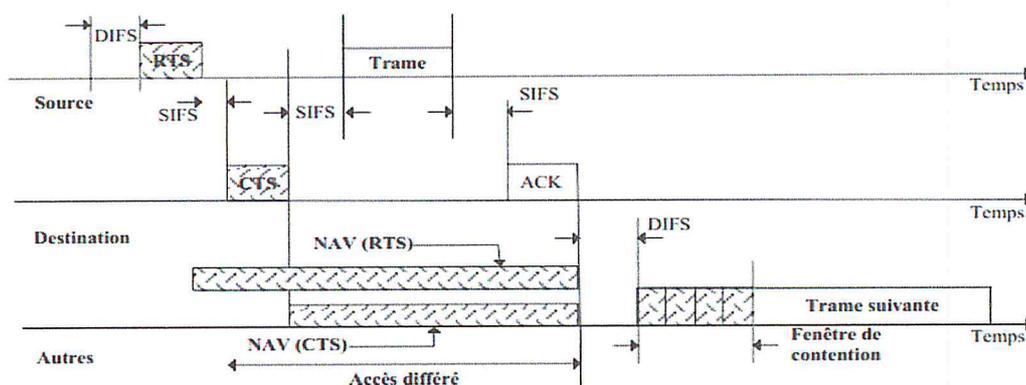


Figure 1.33 : DCF+RTS/CTS [7]

b. PCF

La méthode *PCF* est une méthode optionnelle, implémentée seulement dans la topologie infrastructure, elle requiert un point d'accès qui joue le rôle d'un point coordinateur. Cette méthode est exécutée pendant la période *CFP* qui se déroule alternativement avec la période *CP*. Les stations conformes aux règles du *PCF* ne peuvent pas transmettre sauf s'ils sont interrogés par le point coordinateur. Les différentes trames envoyées dans la période *CFP* sont : [3]

- *Data* : envoyé par le point coordinateur ou par *CF-Pollable STA* pour transmettre des données.
- *CF-Poll* : envoyé par le point coordinateur pour interroger une station.
- *Data+ CF-POLL* : envoyé par le point coordinateur pour transmettre des données à la prochaine station à interroger.
- *Data+ CF-ACK* : cette trame est utilisée pour envoyer des données et acquitter la réception d'une trame précédente.
- *Data+ CF-ACK+ CF-Poll* : envoyé par le point coordinateur pour envoyer des données à une station, acquitter la réception d'une trame précédente et interroger une station à émettre.

- *CF-ACK+ CF-Poll* : transmet par le point coordinateur pour acquitter la réception d'une trame précédente et interroger une station à émettre.
- *Null* : envoyé par une station ou le point coordinateur s'ils n'ont rien à transmettre.
- *CF-ACK* : utilisé pour acquitter la réception d'une trame précédente.
- *CF-End* : envoyé par le point coordinateur pour terminer la période *CFP*.
- *CF-ACK+CF-End* : envoyé par le point coordinateur pour acquitter la réception d'une trame précédente et terminer la période *CFP*.

4.4.2 Gestion de QOS :

Les variantes de standard IEEE802.11 standardisé au début (802.11a, b, g...) sont destinées pour supporter des applications *best-effort*, comme les applications web, ces applications ne requièrent pas des paramètres stricts dans leur transmissions (le délai de transmission, la bande passante...), mais avec le grand déploiement des réseaux locaux sans fil, ils sont amenées à supporter autres types de services et trafics comme les applications temps-réel (*VOIP*, *streaming vidéo*). Ces services définissent un ensemble de contraintes connues sous le terme Qualité de Service (QOS). [3]

Le terme QOS design tous les mécanismes permettent d'adapter le Comportement du réseau au besoin des applications, cette notion englobe les mécanismes permettent d'allouer les ressources du réseau à un flux de données pour garantir par exemple un délai de transfert borné et un taux de perte minimum. [3]

La variante IEEE802.11e apporte plusieurs améliorations sur la couche *MAC* afin de permettre aux réseaux IEEE802.11 de supporter les applications qui requièrent la QOS, parmi ces améliorations nous distinguons deux autres mécanismes

d'accès au canal qui sont des versions améliorées de *DCF* et *PCF*. Les deux méthodes sont : *EDCA* et *HCCA*. De plus, cette variante propose l'utilisation d'un contrôle d'admission afin de contrôler le flux dans le réseau. [3]

a. EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)

EDCA est une méthode d'accès distribuée, implémentée par toutes les stations. Elle distingue entre les différentes catégories de trafic. *EDCA* implémente quatre catégories de trafic différentes (*AC*), pour chaque *AC* elle implémente une file d'attente où les trames appartenant à ce *AC* sont placées. La figure 1.34 illustre le modèle d'implémentation de *EDCA*. Chaque trame envoyée sous *EDCA* a une valeur de priorité (*UP*) qui indique la priorité de la trame. Il y a huit valeurs de priorité différentes (0-7). Chaque trame est attachée à une *AC* parmi les catégories implémentées par *EDCA* selon sa valeur de priorité. Le tableau 1.12 illustre la correspondance entre *UP* des trames et l'*AC*. [7]

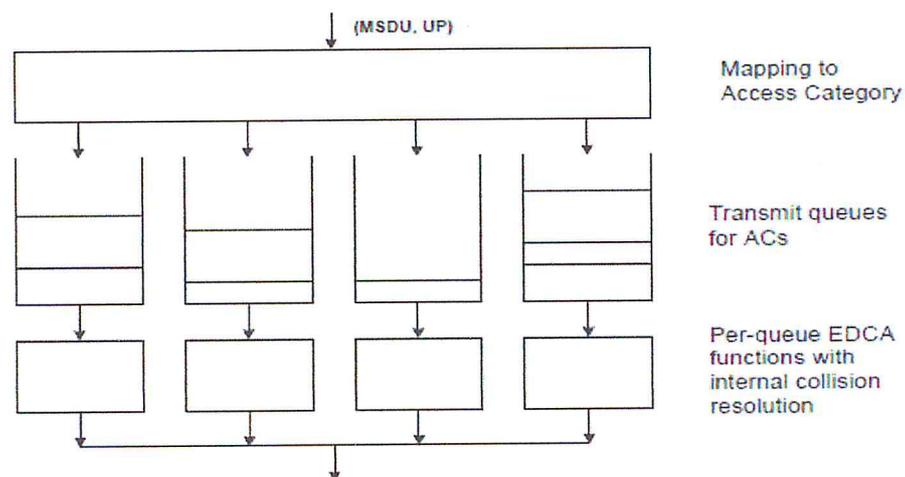


Figure 1.34: Implementation de EDCA [7]

Priorité	UP	AC	type de traffic
plus bas	1	AC BK	Background
	2	AC BK	Background
	0	AC BE	Best effort
	3	AC VE	Best effort
	4	AC VI	Video
	5	AC VI	Video
	6	AC VO	Voix
plus Haut	7	AC VO	Voix

Tableau 1.12 : correspondance entre UP et AC [7]

Pour chaque AC, une variante améliorée de DCF (EDCAF) a combattu pour gagner un *TXOP* (opportunité de transmission), la figure 1.35 illustre la procédure de *EDCA*. [7]

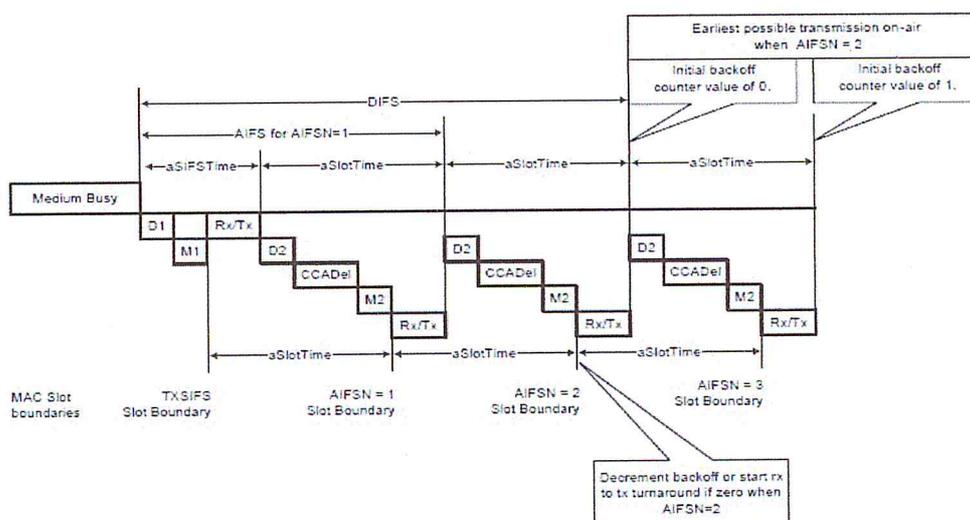


Figure 1.35 : Procédure EDCA [7]

b. HCCA

Le mécanisme *HCCA* gère l'accès au canal par l'utilisation d'une station central, (*HC*), qui est souvent un point d'accès *QOS*, le rôle de *HC* dans *HCCA* est la transmission des trames aux stations *QOS* et aussi l'allocation d'un *HCCATXOP* pour les différentes stations. Le point coordonnateur (*HC*) peut interroger les

stations dans les deux périodes CFP et CP. Le temps pendant lequel le HC prend le contrôle sur le canal est appelé *CAP*. [7]

4.4.3. Fragmentation :

La fragmentation et la défragmentation des trames sont des autres fonctionnalités de la couche MAC. La fragmentation consiste à diviser une seule trame MAC (*MPDU*) en plusieurs fragments. En revanche, la défragmentation consiste à réassembler les différents fragments de même *MPDU*.

La taille des fragments de même *MPDU* doit être identique, ainsi le nombre d'octets contenu dans un fragment est souvent un nombre pair, sauf pour le dernier fragment. La taille des fragments ne doit pas dépasser le seuil de fragmentation (*dot11FragmentationThreshold*).

Chaque fragment doit contenir un champ contrôle de séquence (*Sequence Control*), qui est composé d'un numéro de séquence (*sequence number*) et le numéro de fragment (*fragment number*), le numéro de séquence reste fixe dans tous les fragments, contrairement au numéro de fragment qui est initialisé à 0, puis il est incrémenté après chaque transmission avec succès d'un fragment. De plus, le champ *Frame Control* contient un bit appelé *More Fragments*, ce bit prend la valeur 0 dans le dernier fragment d'une trame.

La transmission d'une trame fragmentée est effectuée en rafale, c'est à dire l'émetteur ne quitte pas le canal sauf s'il termine la transmission de tous les fragments.

La fragmentation permet d'augmenter la fiabilité de réseau car les trames plus petites ont plus de probabilité d'être transmises correctement. Cependant la fragmentation peut surcharger le réseau, car chaque fragment nécessite un acquittement (*ACK*). [5]

5. Fonctionnalités de la couche réseau

La couche réseau construit une voie de communication de bout à bout à partir de voies de communications entre les voisins plus proches, elle possède trois fonctionnalités : [10]

A. Le Routage (*Routing*) : consiste à déterminer le chemin reliant deux nœuds distants.

B. Le Relayage (*Forwarding*) : consiste à retransmettre un paquet de donnée à une destination plus proche que sa destination final.

C. Le Contrôle de Flux : contrôler la congestion dans le réseau.

5.1 Routage

Le routage est une fonctionnalité qui consiste à acheminer l'information à sa destination, à travers un réseau de connexion. La fonctionnalité de routage consiste à trouver le chemin optimale à partir d'une source à une destination, en fonction de plusieurs critères (nombre de sauts, le temps de transmission...). On distingue deux entités dans l'opération de routage :

A. L'algorithme de routage : Elle prend la décision, sur quelle voie de sortie un paquet entrant doit être retransmis, Le but de l'algorithme de routage est le calcul de la route entre une source et une destination selon certaines critères.

B. Le protocole de routage : Un ensemble de règles appliqué aux paquets échanges entre les entités au sein de la couche réseau. [10]

5.2 Classification des protocoles de routage :

Nous pouvons classer les protocoles de routages dans les réseaux selon trois critères : la catégorie (Réactif, Proactif, Hybride), l'architecture (plat, hiérarchique) et l'algorithme (Link State, Victor Distance). [10]

5.2.1 L'architecture :

On distingue deux types de protocoles de routages selon l'architecture :[10]

1. Protocoles de routage plat :

Ce type de protocoles considère que tous les hôtes de réseau sont égaux, ils sont regroupés en deux groupes, protocoles de routage orientées topologies qui utilisent comme information de routage l'état de ses connexions avec ses voisins, et aussi protocoles orientée destination qui calculent le nombre de sauts existe entre une source et une destination.

2. Protocoles de routage Hiérarchique :

Ces protocoles fonctionnent en attribuent des rôles spécifiques à certains hôtes, par exemple un hôte peut servir comme une passerelle (*Bridge*) pour autres hôtes voisins. Il y a deux modes de fonctionnement pour les protocoles hiérarchiques, les protocoles à sélection de voisins où chaque hôte offre la fonction de routage à un sous ensemble de ses voisins direct, et les protocoles à partitionnement qui divisent le réseau en plusieurs zones, et dans chaque zone une seul station qui assure le routage. [10]

5.2.2 L'algorithme

Il y a deux types d'algorithmes :

1. Les protocoles à état de lien (*Link State*) :

Chaque station doit maintenir une carte complète sur le réseau (cartographie) où ils figurent les stations de réseau et ses liens, l'établissement des tables de routage s'effectue à partir de cette carte. Cette algorithmme est inutile dans les réseaux étendue car le volume d'information qu'il nous devons enregistrer devient très importants. [10]

2. Les protocoles à vecteur de distance (*Distance Vector*) :

Ce type de protocoles enregistrent la liste de toutes les stations de réseau et le Voisin de chaque station (*next-hop*) par lequel il faut passer pour atteindre la destination par le chemin plus court. [10]

5.2.3 Catégories des protocoles de routages

Il existe trois catégories de protocoles de routages. Les protocoles Proactifs, Réactifs et Hybrides.

1. Les Protocoles de routages Proactif :

Dans le routage proactif, les stations établissent au préalable des tables de routages contenant l'information de routage vers chaque station de réseau. Ces tables sont souvent mises à jour par les stations de façon à correspondre aux changements de topologie de réseau. Parmi les protocoles de cette catégorie, nous citons *DSDV*, *GSR*, *FSR*, *HSR* et *ZHLS*. [10]

2. Les Protocoles de routages Réactif :

Dans ce type de protocoles, les routes sont créés à la demandes, lorsqu' une station veut transmettre, elle lance un processus de découverte de la route afin d'obtenir l'information de routage qui est inconnue au préalable. Deux techniques sont utilisées dans le routage réactif :

A. La Technique d'apprentissage en arrière :

La source doit découvrir la route avant sa transmission, il lance une opération d'inondation de la requête sur tout le réseau, lorsque une station intermédiaire reçoit la requête, elle indique le chemin à la source. Lorsque la requête atteint le destinataire, il renvoie la réponse suivent le même chemin. [10]

B. La Technique du routage Source :

La station source détermine la liste de toutes les stations par lesquelles doit transiter le message, la station source doit inclut dans le paquet une route source. La source envoie le paquet au premier hôte dans la route, et chaque hôte qui reçoit le paquet doit enlever son adresse jusqu'à ce que le paquet arrive à sa destination. Parmi les protocoles de routage réactifs, nous citons *AODV*, *TORA*, *DSR*. [10]

3. Les protocoles de routages Hybrides :

Les protocoles de routage Hybride combinent entre les deux protocoles proactifs et réactifs, ils utilisent les protocoles proactifs pour avoir des informations sur les voisins plus proches (au maximum 2 sauts), à partir de ce niveau ils manipulent les protocoles réactifs pour découvrir les routes. Ce type de protocole est bien adapté aux réseaux étendus, parmi ces protocoles nous citons *CBRP* et *ZRP*. [10]

Conclusion :

Dans ce chapitre on a vu les différentes catégories de réseaux sans fil, puis on a détaillé les réseaux sans fil Wi-Fi et les fonctionnalités de couche physique et MAC de standard IEEE802.11. Dans le chapitre suivant nous parlerons sur les réseaux cellulaires et la technologie ALTAI.

Chapitre 2 : La Technologie ALTAI

1. Introduction

Le présent chapitre porte en premier sur la description du principe de déploiement de l'architecture cellulaire, puis de la technologie ALTAI en liaison avec ce type d'architecture et le standard Wi-Fi, l'essentiel de ce chapitre a été dédié à la présentation des équipements de la technologie ALTAI avec ses caractéristiques et aussi les différents scénarios de déploiement implémenté par cette technologie.

2. Réseaux cellulaires

Un réseau cellulaire divise la zone de couverture en plusieurs cellules, la taille des cellules dépend de nombre de clients. Dans les régions urbaines, les cellules sont plus petites et plus nombreuses qu'en régions rurales, car il y a un nombre important de clients. Dans Chaque cellule se trouve une station de base (*BTS*), qui assure l'accès au réseau pour les clients, chaque *BTS* à un nombre limité de clients qu'elle peut supporter, donc le nombre de *BTSs* augmente proportionnellement avec le nombre de clients. Un canal de communication (fréquence) est attribué à chaque cellule. Afin d'éviter les interférences et économiser la bande utilisée, nous pouvons attribuer même canal de communication aux cellules suffisamment éloigné. Les cellules sont regroupées pour composer *local area (LA)*. La figure 2.1 illustre l'architecture d'un réseau cellulaire. [12]

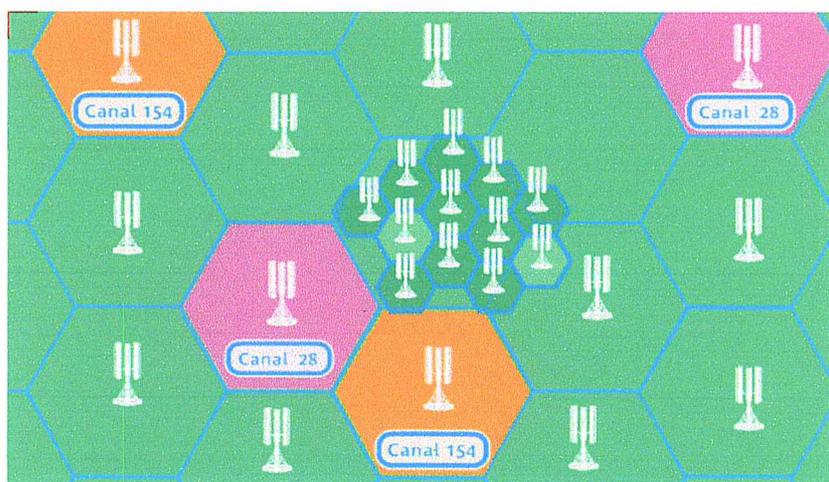


Fig.2.1 : Architecture de réseaux cellulaires [12]

2.1 Composants d'un réseau cellulaire

Un réseau cellulaire est composé de :

- *BTS* (voir Figure 2.2) :

L'accès au réseau pour les clients est assuré par les *BTS*, les *BTS* envoient et reçoivent les informations de clients lors d'une communication et peuvent évaluer la qualité de communication. Chaque *BTS* couvre une zone limitée (cellule), et supporte un nombre limité de clients. [12]

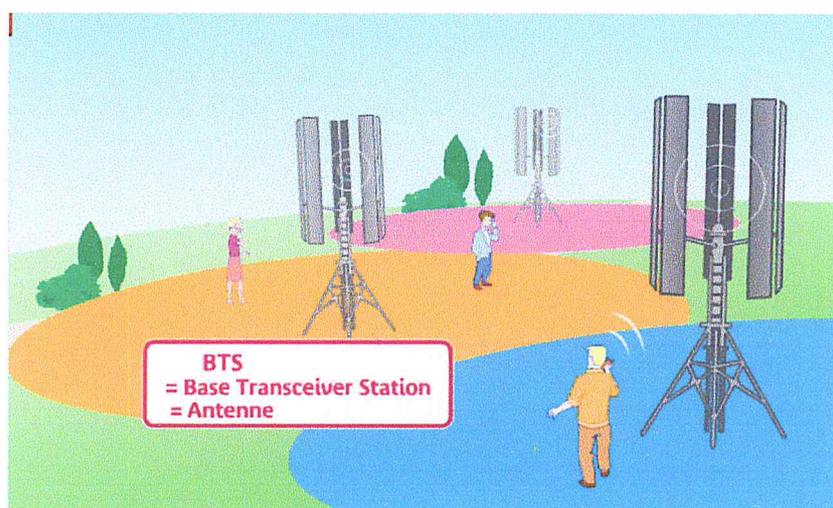


Figure 2.2 : Base Transceiver Station [12]

- *BSC* (voir Figure 2.3) :

Les *BTS*s de différentes cellules sont rattaché à un contrôleur de station de base (*BSC*), le *BSC* à plusieurs rôles, comme l'allocation des canaux de communication, le traitement des mesures fournir par les *BTS*, et la gestion de l'opération de *HANDOVER*. [12]

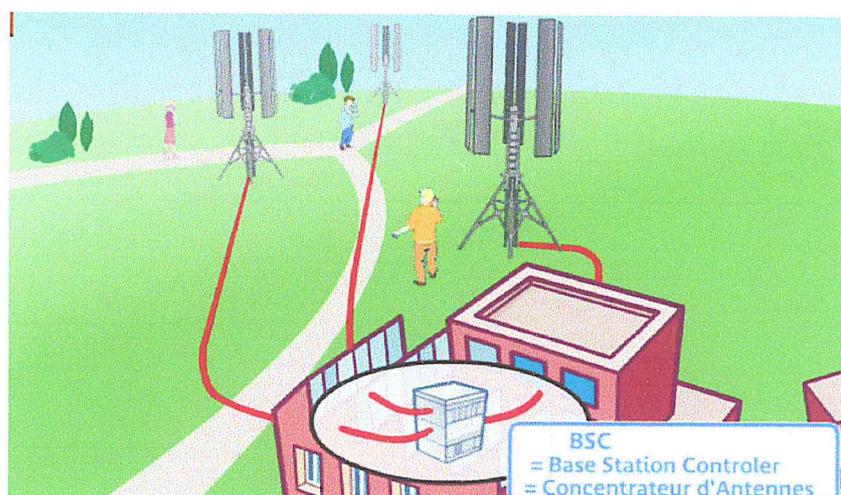


Figure 2.3 : Base Station Controller [12]

- *MSC* (voir Figure 2.4) :

Commutateur de service mobile qui permet d'établir la communication, il intervient aussi dans la mobilité des clients. [12]

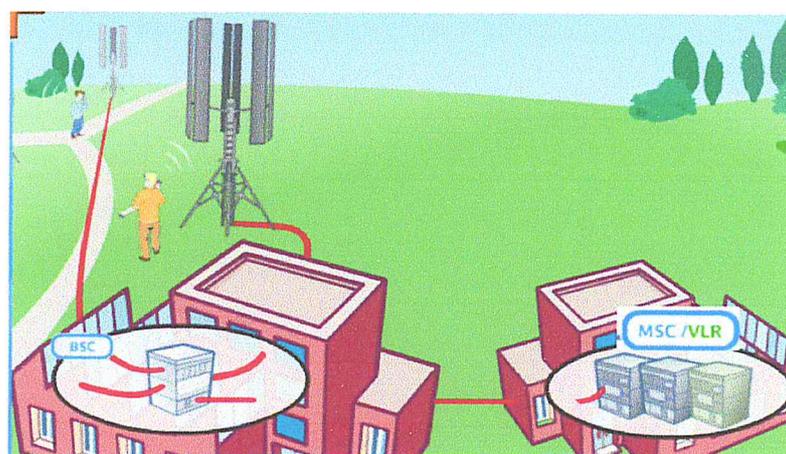


Figure 2.4 : Mobile Service Switching Center [12]

- *VLR* :

Enregistreur de localisation, permet de citer les clients présents dans sa zone de couverture. *MSC* parle avec *VLR* pour récupérer la localisation de clients. [12]

-*HLR* (voir Figure 2.5) :

C'est un serveur contient les coordonnées et l'emplacement de clients. *MSC* contacte *HLR* pour récupérer les informations d'un client lors de l'établissement d'une communication. [12]

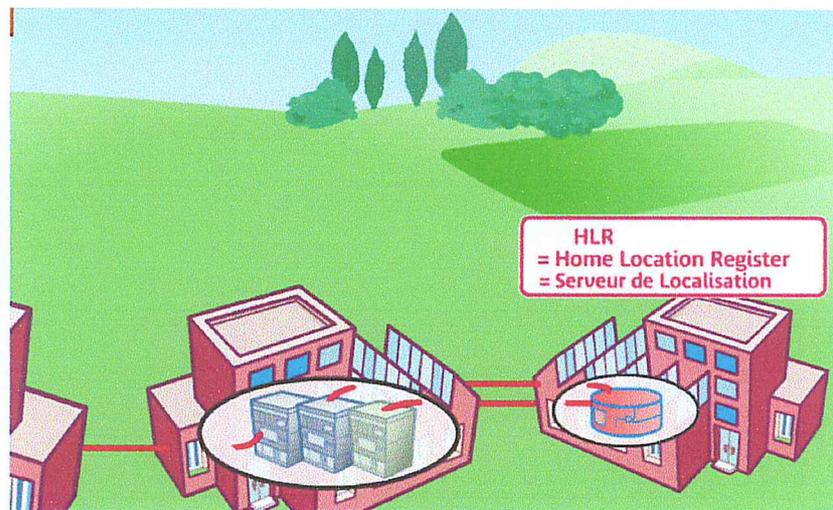


Figure 2.5 : Home Location Register [12]

2.2 Processus de communication

Le processus de communication passe par les étapes suivantes :

1. Le client établit une communication avec la *BTS* de la cellule.
2. La *BTS* route la demande au contrôleur *BSC* au-quelle elle est attaché.
3. Le *BSC* contacte le commutateur *MSC* plus proche.

4. Le *MSC* envoie les informations de client au serveur *HLR* pour l'authentification.
5. Si l'authentification passe avec succès, le *MSC* renvoie une notification d'autorisation au client et établit la communication. [12]

La figure 2.6 montre le processus de communication.

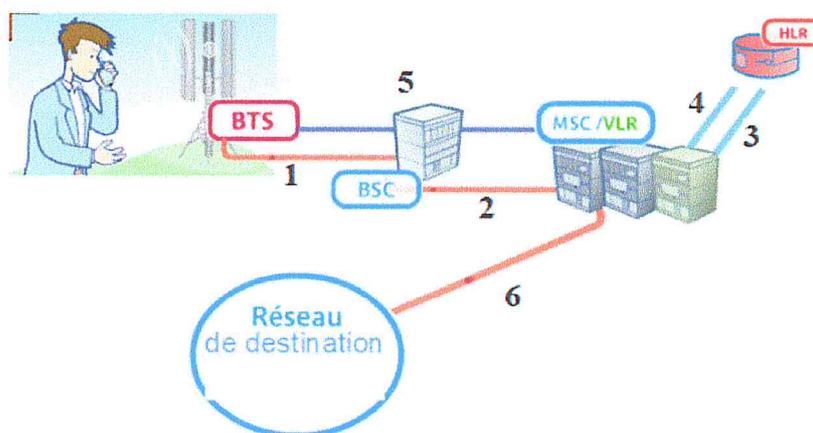


Figure 2.6 : Le processus de communication [12]

2.3 HANDOVER

Les clients sont souvent en déplacement, pour que le réseau supporte la mobilité de clients, il doit être capable de déterminer ses localisations à n'importe quel moment. Un client indique automatiquement son emplacement actuel au réseau par l'échange des informations avec la *BTS* de la zone où il est situé. La *VLR* actualise la liste de clients présents dans sa zone. Lors de déplacement, afin de ne pas perdre la communication, le réseau réalise un relais de communication entre différentes cellules, ce processus s'appelle *HANDOVER*.

Lorsque le signal est trop affaibli, signifie que le client est situé très loin de *BTS* et se trouve dans la périphérie de la cellule, à ce moment le réseau cherche quelle est la *BTS* appropriée pour le client afin qu'il reçoive un signal de qualité optimale. Une fois la nouvelle *BTS* est déterminée, le client rejoint cette *BTS*, et rentre dans la nouvelle cellule. Le chevauchement de différentes cellules permet de réaliser *HANDOVER* sans complications.

Grâce à l'opération de *HANDOVER*, le réseau peut gérer l'attribution de différents clients aux différents équipements selon la disponibilité de ces derniers. La Figure 2.7 montre le processus de *HANDOVER*. [12]

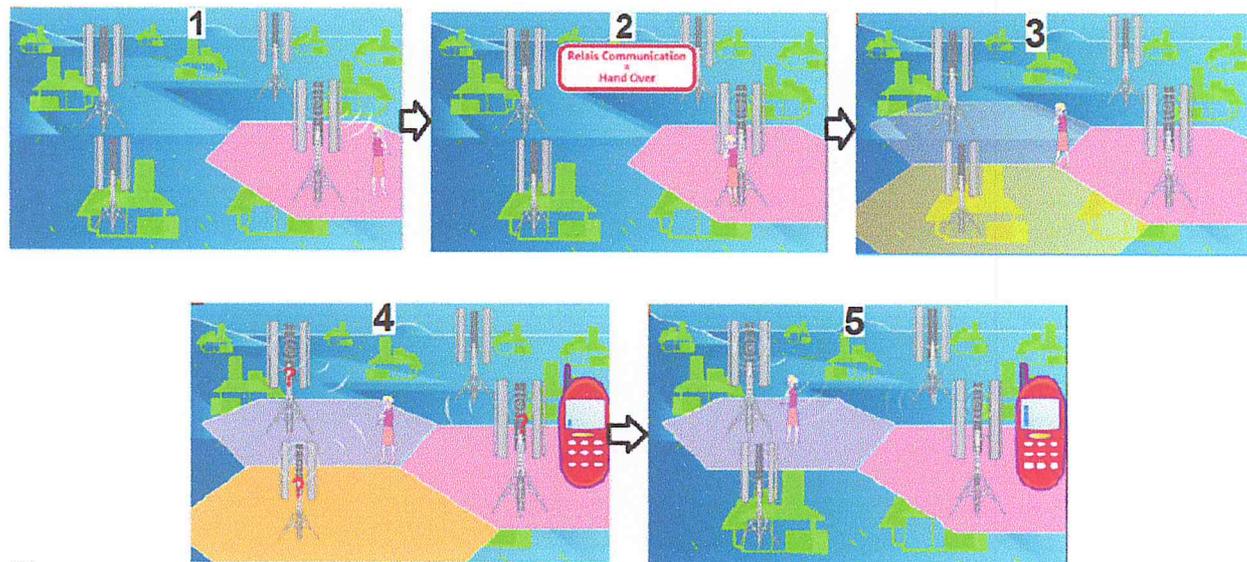


Figure 2.7 HANDOVER [12]

3. La Technologie ALTAI

ALTAI est une compagnie de technologie, spécialisé dans La conception, le développement et la commercialisation des solutions Sans fil innovante, de longue couverture et de haute capacité (*Wireless Broadband solutions*).[]

Les solutions sans fil développé par ALTAI sont destiné pour différentes environnements (urbaines, rurales) et pour différentes types de constructions (ports, aéroports, campus universitaires, usines, hôpitaux...).

ALTAI utilise le principe de l'architecture cellulaire pour déployer ses différentes solutions. Le déploiement des solutions ALTAI se réalise par l'utilisation de différents types d'équipements implémentent le standard Wi-Fi et qu'ils fonctionnent en collaboration pour offrir meilleurs services aux clients. Les solutions ALTAI peuvent être déployé en parallèle avec autres technologies de réseaux cellulaires (3G /4G(LTE)/ WIMAX.).

La technologie ALTAI est déployée dans la plupart de pays du monde. La figure 2.8 montre le positionnement de la technologie ALTAI par rapport aux technologies sans fil. [13]

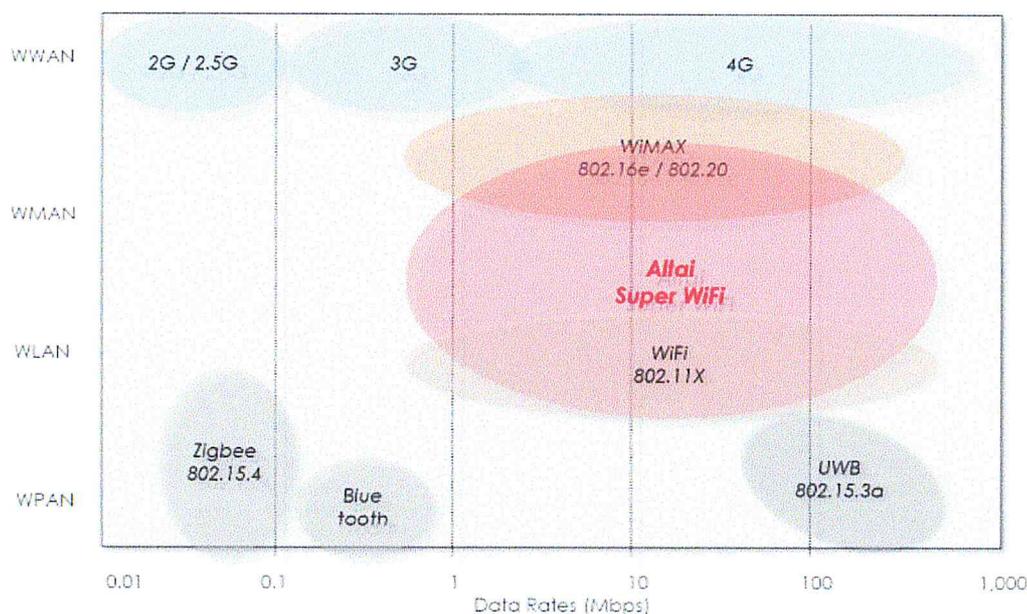


Figure 2.8 : La comparaison entre différentes technologies sans fil [13]

3.1 Technologies exploitées par ALTAI

La Technologie Wi-Fi fait partie de la plupart des équipements mobiles que nous utilisons quotidiennement (*LapTop, PDA...*). Les réseaux sans fil Wi-Fi sont destinés principalement pour des environnements étroits (*indoor environnement*) qui ont une zone de couverture limitée (ex. Home, Office...). Le déploiement de réseaux sans fil Wi-Fi dans des environnements externes (*outdoor*), qui ont besoin une large couverture a connue plusieurs difficultés comme la portée limitée fournir par les point d'accès et la couverture non uniforme ce qui provoque des déconnexions fréquentes pour les clients, et aussi le nombre de clients limité qu'un point d'accès peut supporter. A cause de ces différentes limitations, la technologie Wi-Fi n'est pas destinée pour un déploiement externe de longue portée (*outdoor coverage*). ALTAI utilise différentes technologies pour surmonter ces différentes limitations et offre la possibilité de couvrir une zone étendue (*indoor et outdoor*),

avec éliminations des interférences de différentes sources, ce qu'il assure des services fiable pour les clients. ALTAI offre:

Best coverage

Best capacity

Highest efficiency. [13]

3.1.1 Super smart Antenna

ALTAI utilise une technologie avancée s'appelle *Smart Antenna*, elle est implémentée par l'ensemble des stations de base Wi-Fi (*Super Wi-Fi base stations*) fournit par ALTAI, cette technologie permet d'assurer des performances élevées aux clients Wi-Fi.

La technologie *Smart Antenna* repose sur une structure composée de plusieurs antennes (*antenna array*) avec un algorithme de traitement de signal évolutif, elle permet d'assurer une couverture optimale, uniforme et de longue portée (*indoor et outdoor*), elle possède les caractéristiques suivantes :

- Chaque station de base est composée de plusieurs antennes structurées (*antenna array*).
- Le signal émis par les clients est reçu par tous les antennes de la station de base
- Le signal reçu est traité en temps réel avec optimisation de rapport *SNR (Signal Noise Ratio)* pour chaque client Wi-Fi.
- Les antennes possèdent plusieurs radios (*Multiple radios*).et peuvent prendre différentes angles de positionnement et différentes polarisations. [13]

3.1.2 La technologie MIMO

Les stations de base ALTAI utilisent la technologie *8*8 :2 MIMO* (huit (8) antennes pour transmission et huit antennes pour réception), avec deux flux de donnée (*Data Stream*) simultanée envoyé en parallèle. Ce qui permet d'amplifier le signal et

améliorer le débit (*throughput*). La figure -2.4- présente l'exemple de la technologie *MIMO* exploité par ALTAI. [13]

3.1.3 La technologie ALTAI AirFI :

Algorithme qui permet de contrôler l'utilisation de la bande passante (*bandwidth*), elle contrôle et ordonnance les transmissions pour chaque client Wi-Fi, ce qui permet de réduire les collisions dans les cellules et augmenter le débit. [13]

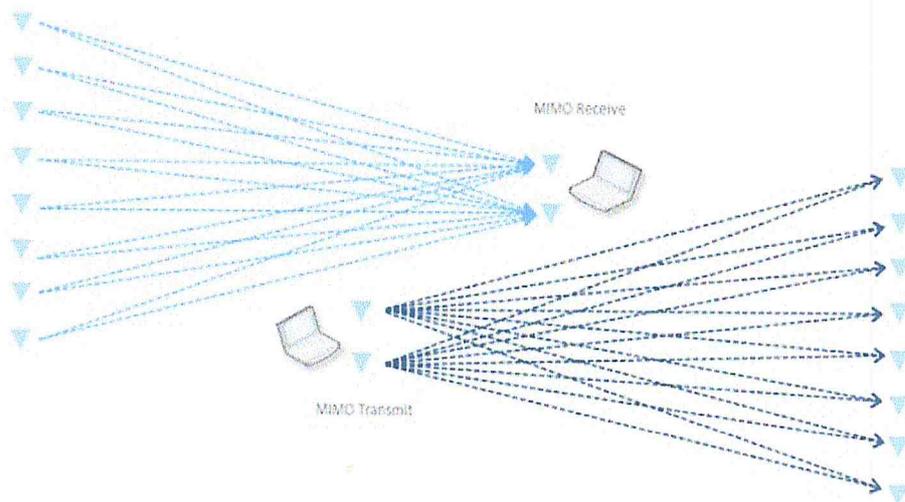


Figure 2.9 : La technologie MIMO appliqué par ALTAI [13]

Un autre avantage parmi les avantages de la technologie ALTAI, c'est la protection améliorée contre les interférences. L'atténuation des Interférences se réalise automatiquement. De plus, elle utilise un algorithme de sélection automatique de canal (*automatic channel selection*) qui lui permet de contrôler et sélectionner automatiquement un canal avec faible interférence. La station de base ALTAI divise la zone de couverture en plusieurs secteurs, chaque antenne couvre un secteur, quand il y a une interférence, seulement un secteur qui est affecté et les autres peuvent continuer à fonctionner correctement, ce qui donne un avantage pour les stations de base ALTAI comme le montre la figure 2.10. [13]

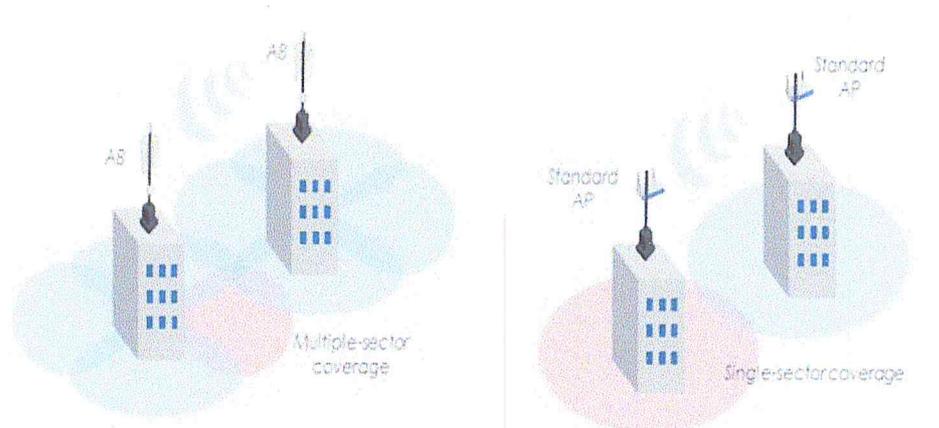


Figure 2.10 : La protection contre les interférences [13]

3.2 Les équipements de la technologie ALTAI :

Altai propose une gamme d'équipements (stations de bases, points d'accès, passerelles, CPE) qui fonctionnent en collaboration pour fournir une meilleure connectivité aux clients. [13]

3.2.1 Les stations de base ALTAI (Série A8/A8n)

3.2.1.1 ALTAI A8 super Wi-Fi base station

A8 est une station de base Wi-Fi, destinée pour une utilisation externe (*outdoor*), permet de fournir une couverture optimale à partir d'un nombre très réduit de sites d'installation. Elle possède plusieurs radios (802.11a/ b/g). A8 peut fonctionner dans la bande de 2.4GHz. A8 peut fournir une meilleure couverture en particulier dans l'environnement *NLOS* (*Non line of Sight*), jusqu'à 360 degrés avec un rayon de 500m dans un environnement *NLOS* et 1Km dans un environnement *LOS*. Elle est dotée de plusieurs antennes (4 *dual-slant antennas*) ajustables selon la zone de couverture souhaitée. Chaque antenne peut couvrir un onglet précis de la zone de couverture. A8 peut être déployé avec autres technologies sans fil (*WIMAX*, *GSM*). A8 utilise les variantes 802.11b/g pour assurer l'accès aux clients et la variante 802.11a pour le *Backhaul*. De plus, elle offre un débit de 1Mbps jusqu'à 54Mbps. La figure 2.11 montre l'équipement A8. [13]

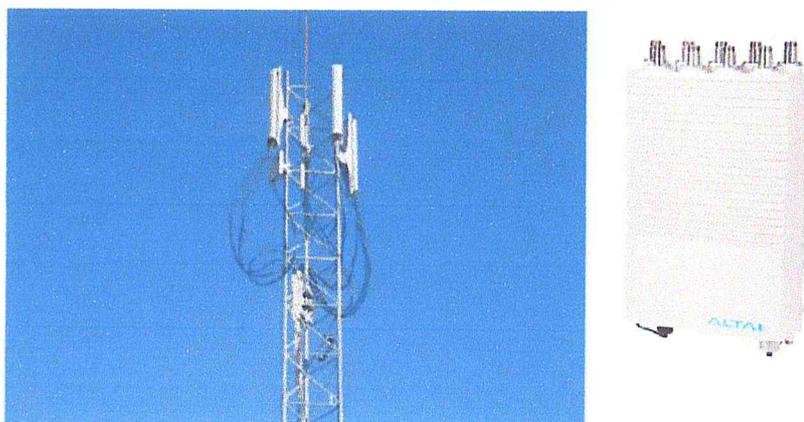


Figure 2.11 : La station de Base A8 [13]

L'emploi de la station de base A8 réduit de 1/6 le nombre totale de stations de base nécessaires à la couverture d'une région. Il en résulte un schéma de réseau moins complexe et un temps de latence faible. Le tableau 2.1 résume les principales caractéristiques de l'A8. [13]

3.2.1.1.1 Recommandations pratiques d'installation de station A8

-Dans un environnement urbain, il est recommandé d'installer l'A8 dans les corners de toit des immeubles sur un pôle de hauteur du 3 à 5 mètres (voir figure 2.12).

-Il faut éviter de placer A8 dans le centre des immeubles. Le toit de ces derniers constitue un obstacle pour le signal émis par A8 (voir figure 2.13).

-En présence d'un autre réseau sans fil (GSM, WIMAX, 3G...) et si l'A8 est en face de l'antenne de l'autre réseau, une séparation de plus de 100m est nécessaire afin d'éviter les interférences (voir figure 2.14).

-Les antennes d'A8 doivent être orientées dans des directions différentes avec un angle de pente différente (voir figure 2.12). [13]

Standard	802.11b/g	802.11a
mode d'opération	point d'accès	passerelle <i>PTP, PTMP</i>
Bande de fréquence	2.412-2.472 GHz	5.15-5.35 GHz 5.47-5.725 GHz 5.725-5.825GHz
puissance de transmission	5-25 dBm	24 dBm
Débit	1-11Mbps(802.11b) 6-54Mbps(802.11g)	54, 48, 36, 24, 18, 12, 9,6 Mbps
Antennes	4 antennes externes avec une option de montage flexible	/
Backhaul	non	oui
Sécurité	Authentification (OS,SHK,WPA, WPA2,802.1x) Cryptage (WEP, TKIP, AES) MAC based Access Control Suppression du SSID	/ cryptage (WEP,TKIP,AES)
couverture	Un onglet de 360° avec un rayon de 500m(NLOS) Un onglet de 360° avec un rayon de 1km(LOS)	/
Gestion	Web-based administration CLI-based Administration (Telnet et console) SNMP	/
Spécifications physiques	Dimension (290 x 210 x 89 mm) Poids (4 kg unité de base. 6.5 kg totale) Montage (pôle ou mur) Température de Fonctionnement :(-40° jusqu'à 60°) Humidité (0-100) Vitesse de la vente (217 km/h)	/

Tableau 2.1 : caractéristiques de l'A8 [13]



Figure 2.12 : Montage d'A8 [13]

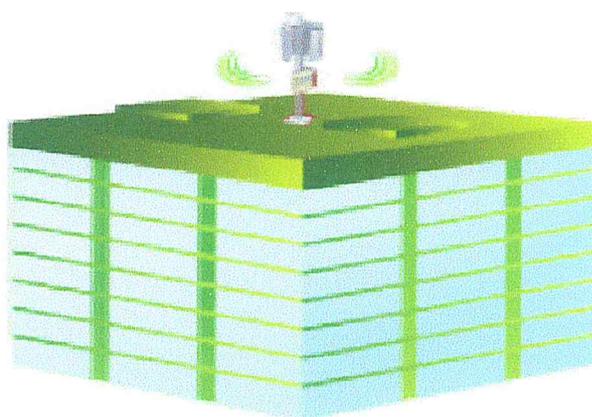


Figure 2.13 : erreur de montage de A8 [13]

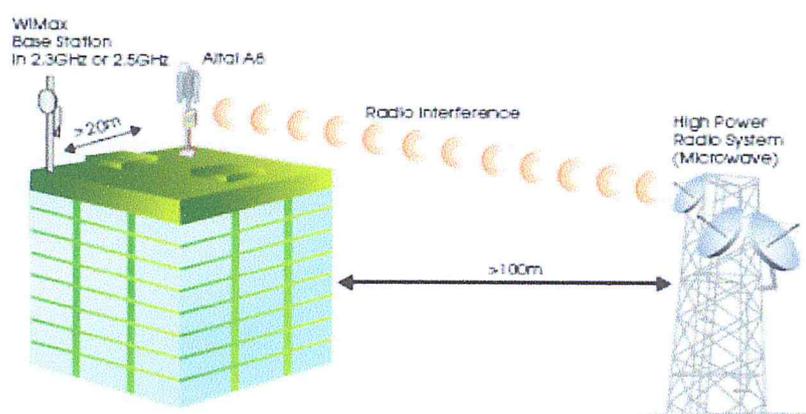


Figure 2.14 : Distance de séparation entre A8 et autres stations [13]

3.2.1.1.2 L'ajustement des antennes de l'A8

L'ajustement des antennes se réalise en fonction de la hauteur, la position de l'antenne et de la distance de couverture désirée (voir figure 2.15). Les grandeurs d'angles de pente en fonction de la hauteur et la distance de couverture sont rapportées en tableau 2.2. [13]

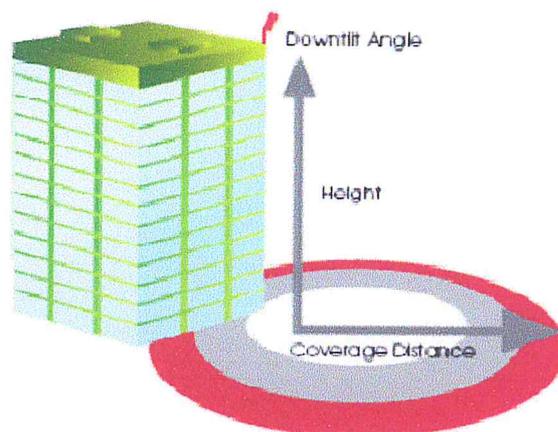


Figure 2.15 : la pente des antennes de A8 [13]

Hauteur(m)	10	20	30	40	50
couverture(m)					
100	6°	11°	17°	22°	27°
200	3°	6°	9°	11°	14°
300	2°	4°	6°	8°	9°
400	1°	3°	4°	6°	7°
500	1°	2°	3°	5°	6°
600	1°	2°	3°	4°	5°
700	1°	2°	2°	3°	4°
800	1°	2°	2°	3°	4°
900	1°	1°	2°	3°	3°
1000	1°	1°	2°	2°	3°

Tableau 2.2 : les valeurs de l'onglet de pente par rapport à la distance de couverture [13]

3.2.1.2 ALTAI A8-Ei

ALTAI A8Ei est un point d'accès Wi-Fi *outdoor*, possède les mêmes caractéristiques d'A8n, équipé avec des antennes intégrés (internes) (*integrated multi-beam Antenna array*), optimisé pour assurer une couverture maximale avec Un débit élevé à partir d'un nombre de sites d'installation minimum.

Les antennes intégrées de *A8Ei* permettent d'éliminer les câbles externes entre les antennes et l'unité de base (voir figure 2.16), ce qui permet une installation simple et facile de A8-Ei.

La station de base *A8* divise la cellule en plusieurs secteurs. En revanche, la cellule couvrir par *A8Ei* est composé d'un seul secteur (*sector coverage*) qui a un angle de couverture (*horizontal beamwidth*) de 80° à 100° , avec un rayon de couverture de 500m jusqu'à 800m dans les environnements *NLOS*, et jusqu'à 1700m dans les environnements *LOS* (voir figure 2.17). [13]

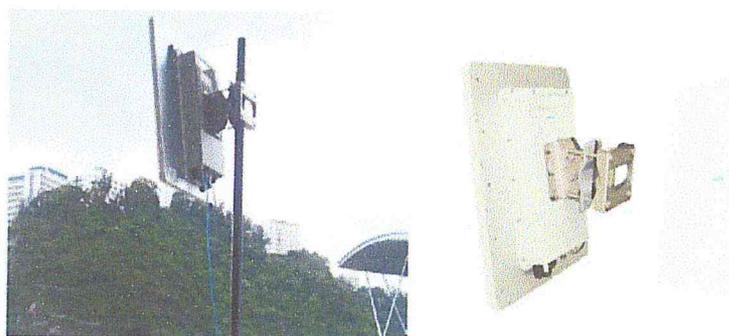


Figure 2.16 : ALTAI A8-Ei [13]

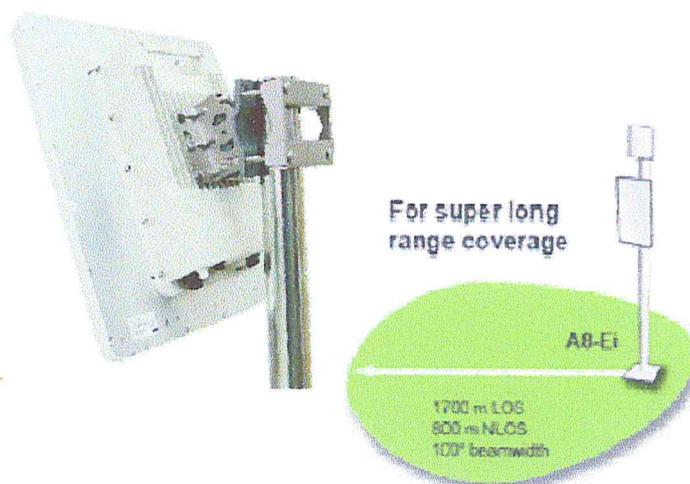


Figure 2.17 : La couverture de A8-Ei [13]

3.2.1.3 Série A8n

Il y a une autre série de stations de base développée par Altai, cette série comprend *A8n*, *A8Ein*, *A8in*. Ces stations de bases implémentent la variante *802.11n* avec la technologie *MIMO 2 : 8*8*. Ils fonctionnent dans les deux bandes 2.4GHz et 5GHz (*dual-band*) et possèdent plusieurs radios (*802.11b/g/a/n*). Ils ont des capacités élevées et ils peuvent fournir des débits jusqu'à 300 Mbps. [13]

3.2.2 Les points d'accès ALTAI

3.2.2.1 Altai A2 Wi-Fi Access Point/ Bridge

A2 Wi-Fi Access point (voir figure 2.18) est destiné à être utilisé dans le système ALTAI Super Wi-Fi pour augmenter ses capacités, étendre la largeur de la zone de couverture et d'atteindre les zones de couverture bloquées par les obstacles.

A2 peut être déployée comme un point d'accès indépendant pour couvrir des zones externes de petite taille (*Micro coverage*). Elle peut être déployée aussi comme un complément de la station de base A8, pour pallier les trous de couverture (*holes coverage*) d'A8 dans les régions urbaines. [13]

L'A2 possède une grande capacité de *Broadcast* dans la bande 2.4GHz et une capacité de communication avec autres équipements à travers le *Backhaul* dans la bande 5GHz. Elle peut se connecte directement à une station de base A8 ou à travers une passerelle (*Bridge*) qui fonctionne dans la bande 5GHz pour créer un système Wi-Fi de haut capacité.

A2 *Wi-Fi Acces point/Bridge* implémente la variante 802.11n avec la technologie (2*2) :2 MIMO. A2 *Wi-Fi Acces Point/Bridge* utilise les variantes 802.11b/g/n, elle permet d'atteindre un débit jusqu'à 300Mbps.

Deux modes de fonctionnement caractérisent l'A2 (voir figure 2.19) :

a. Point d'accès :

L'A2 peut remplacer A8 dans les petites régions et fonctionne comme un point d'accès indépendant pour couvrir des zones de petites tailles.

b. passerelle (*Bridge*) :

Pour étendre la portée de réseau, on a besoin des équipements qui réalisent la fonction d'une passerelle (*Bridge*). *Altai A2* est conçue pour fonctionner comme un *bridge PTP (Point To point) ou PTMP (Point To Multi Point)*. A2 peut former des liens *point-to point* avec un autre *bridge* et aussi des liens *point-to-multi points (PTMP)*. [13]

3.2.2.2 ALTAI A2e Wi-Fi Acces point/Bridge

ALTAI A2e (voir figure 2.20) est un point d'accès possédant les mêmes caractéristiques que A2 *Wi-Fi Acces point* mais sans antennes externes. Elle peut fonctionner dans les deux bandes 2.4GHZ et 5GHz. [13]

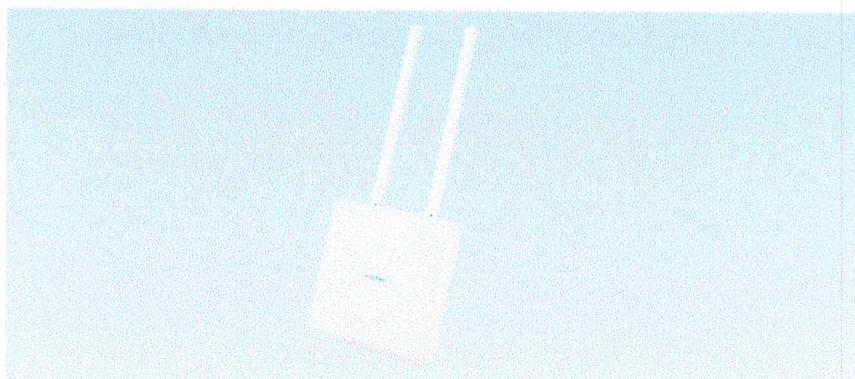


Figure 2.18 : A2 WiFi Acces point/Bridge [13]

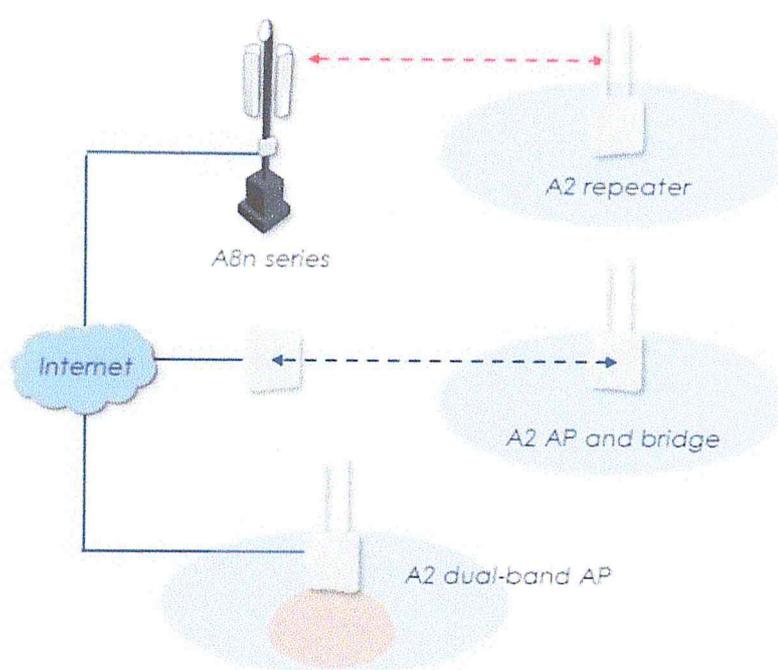


Figure 2.19 : cas d'utilisations de A2 [13]

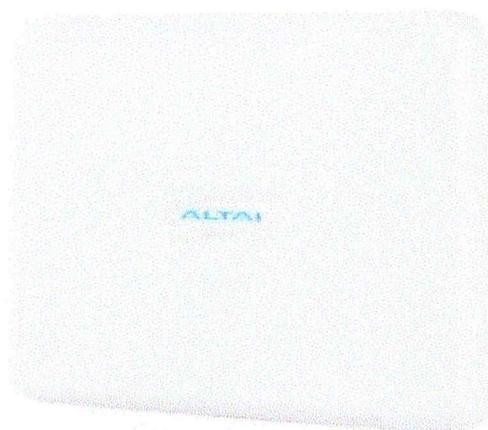


Figure 2.20 : ALTAI A2e [13]

3.2.3 Les CPE ALTAI :

3.2.3.1 ALTAI C1n super WiFi CPE/AP

ALTAI C1n est considéré comme un équipement important dans *ALTAI Super Wi-Fi system*, utilisé principalement pour étendre la couverture Wi-Fi externe (*outdoor*) à une couverture interne (*indoor*). Il peut être aussi utilisé comme un point d'accès indépendant.

C1n est conçue principalement pour être un CPE, afin qu'il étende la couverture Wi-Fi externe (*outdoor coverage*) d'une station de base A8/A8n ou un point d'accès A2, à une couverture interne (*indoor coverage*) pour que les clients situés à l'intérieur (Homme, office) peuvent connecter. Quand nous déployons C1n avec A8n ou avec A2 nous pouvons étendre la portée par des distances importantes. Le tableau 2.3 montre les distances que nous pouvons atteindre par l'utilisation de C1n.

C1n incorpore un mécanisme de contrôle de bande passante (*bandwidth control mechanism*) qui lui permet de contrôler le débit de transmission sur les deux liens (*uplink* et *downlink*) pour chaque client. Il fonctionne seulement dans la bande 2.4GHz. C1n peut être installé à l'extérieur (*outdoor*), sur les murs, ou sur les toits des immeubles (*rooftop*), de plus nous pouvons l'installer en interne (*indoor*), sur un bureau.

C1n peut être déployé aussi comme un point d'accès Wi-Fi indépendante pour des cellules de petite taille (*pico coverage*), il supporte les clients qui implémentent le standard 802.11b/g/n. il peut couvrir un onglet de 70° avec un rayon de 300m (NLOS) et 600m (LOS). [13]

Configuration	A8n	A8n+C1n	A8-Ein	A8-Ein+C1n	A2-Ei+C1n
rang dans la bande 2.4Ghz	1Km Los 500m NLOS	2.7Km LOS 1.3Km NLOS	1.7KM LOS 800m NLOS	4Km LOS 1.8Km NLOS	3Km LOS

Tableau2.3 : Les distances achevées par l'utilisation de C1n [13]

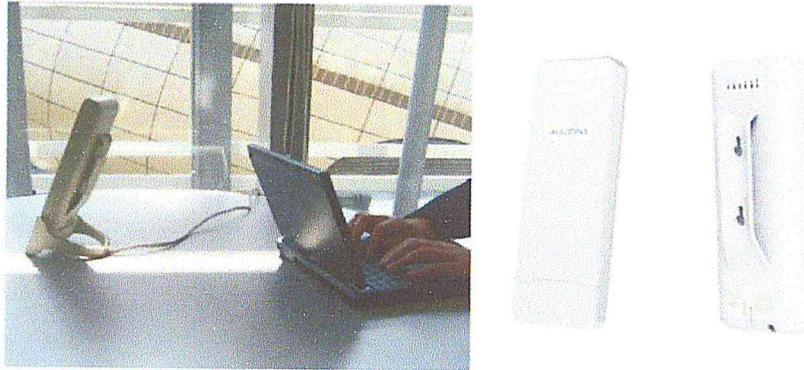


Figure 2.21 : ALTAI C1n/C1an CPE [13]

Il y a des autres équipements dans cette série. *C1an super wifi CPE* qui possède les mêmes caractéristiques de *C1n* mais il fonctionne dans la bande 5GHz, et aussi *U1 super Wi-Fi USB* (voir figure 2.22) qui fonctionne aussi comme un *CPE* et qui est alimenté à l'aide d'un câble USB. [13]

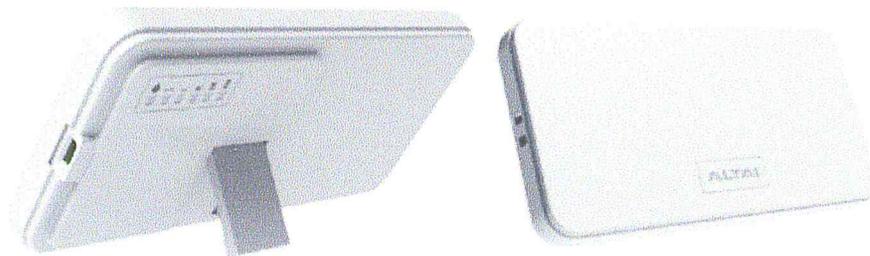


Fig 2.22: U1 super Wi-Fi CPE USB [13]

3.2.4 AWMS (Altai Wireless management system)

Le déploiement d'un réseau sans fil Wi-Fi dans une cité étendue (*City Wide Wi-Fi*), nécessite un système de gestion et de contrôle avancé pour que nous pouvons suivre le comportement de réseau et contrôler le fonctionnement de ses différentes éléments, afin de maintenir des services réseau performant *Altai*

Wireless Management system (AWMS) fournir des outils puissant pour gérer un réseau sans fil étendue.

AWMS fournit aux opérateurs un suivi complet des éléments de réseau, et des fonctions de gestion pour les réseaux Wi-Fi. La figure 2.23 illustre l'équipement AWMS.

AWMS permet de réduire la complexité de contrôle et faciliter les opérations et la maintenance de réseau, à travers une administration centralisé et à distance des éléments de réseau.

Les fonctionnalités de AWMS incluent la gestion des pannes, la gestion de configuration, la gestion des comptes et de sessions des utilisateurs, et la gestion de sécurité. La figure 2.24 montre les différentes fonctionnalités de AWMS. [13]

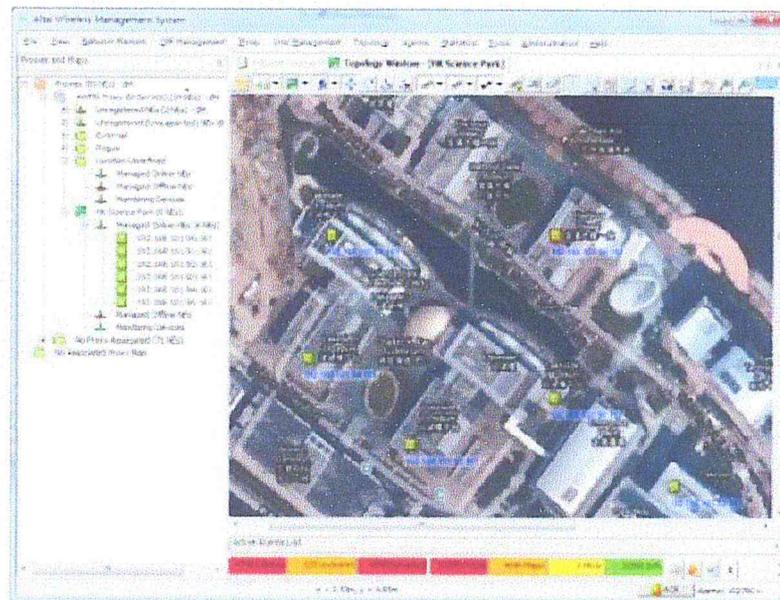


Figure 2.23 : AWMS [13]

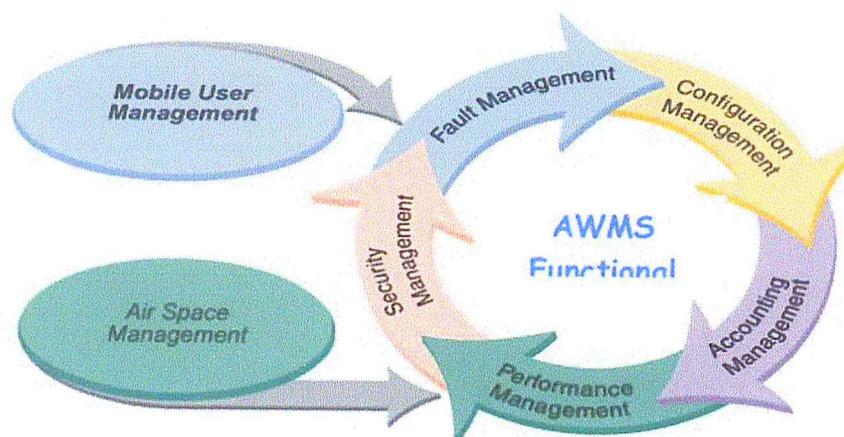


Figure 2.24 : Les fonctionnalités de AWMS [13]

3.3 ALTAI Super Wi-Fi

Le système développé par ALTAI s'appelle ALTAI super Wi-Fi :

ALTAI Super Wi-Fi = Smart Antenna Wi-Fi + Cellular Architecture

ALTAI super Wi-Fi repose sur l'architecture cellulaire, les réseaux déployés par ALTAI composent de plusieurs cellules, chaque cellule est servie par une station de base (série A8) ou un point d'accès (Série A2). La communication entre les différentes stations de base se réalise à l'aide d'un réseau *Backhaul* (réseau dorsal) formé par plusieurs équipements qui fonctionnent comme des passerelles (*Bridges*). Les équipements développés par ALTAI peuvent fonctionner dans les deux bandes 2.4 GHz et 5GHz (*Dual-Band*), Un exemple de l'architecture ALTAI est mentionné dans la figure 2.25. [13]

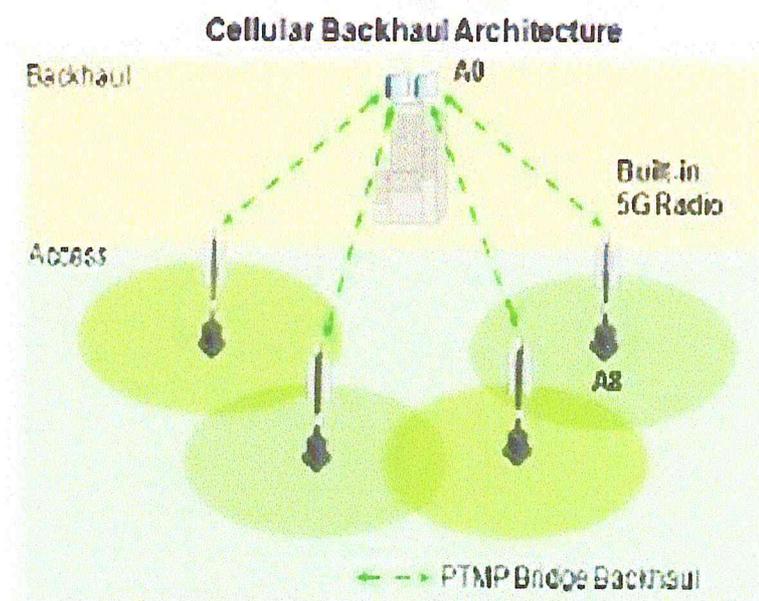


Figure 2.25 : L'architecture cellulaire de ALTAI [13]

3.4 Les scénarios de déploiement

3.4.1 En régions urbaines :

La figure 2.26 montre un modèle de solution proposé par Altai en régions urbaines, cette solution composée de plusieurs niveaux d'hierarchie :

A .Le Centre du réseau (*Core Network*) : comprend les outils de la gestion du réseau Comme :

- AWMS (Altai Wireless Management System)* : Offre plusieurs fonctions telles que la configuration du réseau, la gestion des imperfections, la sécurité et la gestion des clients.

- Service Controller* : contrôle la bande passante de réseau.

- Application Servers* : plusieurs serveurs d'applications peuvent être installés comme serveur HTTP, serveur radius...

-Network Security : outils utilisés pour assurer la sécurité de réseau. [13]

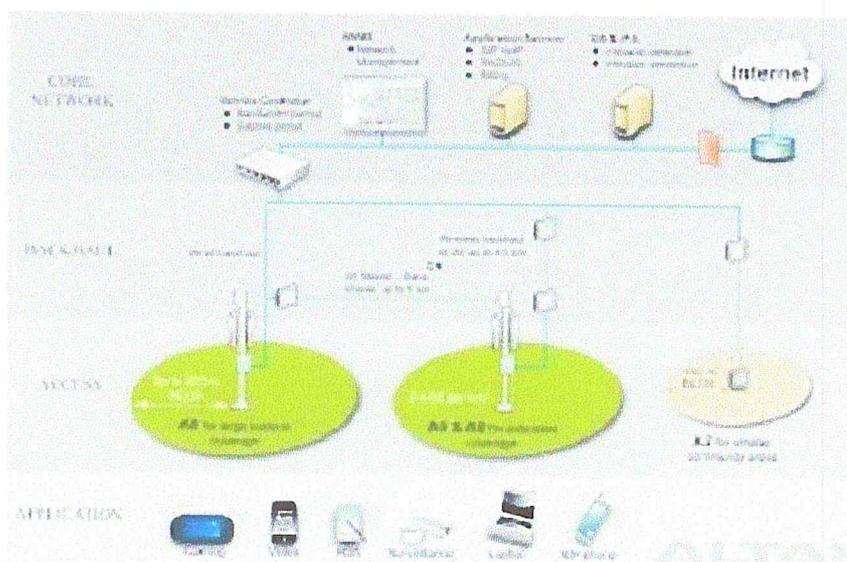


Figure 2.26 : scénario de déploiement en régions urbaines [13]

B. *Backhaul* : c'est le réseau qui assure les liaisons entre les stations de base et entre celles-ci et le centre du réseau, il est constitué de plusieurs équipements fonctionnent comme des passerelles (*Bridges*).

c. *Access* : l'accès au réseau pour les différents clients est assuré par l'ensemble des stations de bases et points d'accès ALTAI. Dans les régions urbaines, on a une densité de population élevée et un nombre important de différents types d'immeubles et de constructions. Par conséquent, pour que nous pouvons assurer une couverture optimale, les cellules doivent être plus petites et plus nombreuses ce qui implique un nombre important de stations de base et point d'accès. [13]

3.4.2. En régions rurales

La Solution proposée par Altai pour couvrir les régions rurales est illustrée en figure 2.27. En revanche de régions urbains, dans les régions rurales il y a un nombre de clients moins importants, par conséquent les cellules sont plus grandes et moins nombreuses. [13]

Chapitre 3 : Architecture maillée

1 Introduction

Les réseaux sans fil ont plusieurs avantages comme la mobilité, la flexibilité et le moindre coût de déploiement, qui leur permettent d'être déployés à travers le monde. En parallèle de ces avantages il y a plusieurs autres inconvénients comme la portée limitée de points d'accès et de stations de base, ce qui limite la mobilité de clients. Pour étendre la couverture de réseaux sans fil, une autre architecture réseau est développée s'appelle l'architecture maillée.

Dans ce chapitre nous présentons au début les réseaux maillés sans fil (*Wireless Mesh Networks*), par la suite nous détaillons le standard *IEEE802.11s* qui implémente les différents protocoles nécessaires pour supporter l'architecture maillée par le standard Wi-Fi. Puis à la fin de chapitre nous réalisons une petite comparaison entre cette architecture maillée et l'architecture cellulaire présenté dans le chapitre 2.

2. Réseaux maillés sans fil

Les réseaux maillés sans fil (*Wireless Mesh Networks*) sont une classe émergente des réseaux sans fil. Ils reprennent le principe d'un réseau sans fil à multiples-sauts (*Multi-Hop*), c'est-à-dire que les communications entre deux nœuds peuvent être supportées par plusieurs nœuds intermédiaires, appelés (*Mesh Routers*) dont le rôle est de relayer l'information d'un point à un autre. [14]

Dans *WMN*, les nœuds sont composés des routeurs maillés et font concorder des clients. Chaque nœud n'opère pas seulement comme un hôte, mais aussi comme un routeur, en envoyant des paquets à d'autres nœuds qui peuvent ne pas être dans la même gamme de transmission sans fil. Un *WMN* est dynamiquement organisé et configuré d'une façon autonome, avec l'établissement automatique et maintenu de la connectivité des nœuds du réseau maillé entre eux. [14]

L'ensemble de routeurs maillé constitué l'infrastructure de réseau maillé (Backhaul network), les clients peuvent être raccordé directement aux routeurs maillés. Les WMN permettra aux utilisateurs de rester en ligne n'importe où et n'importe quand. De plus, il y a certains routeurs maillés incorporent des fonctionnalités additionnelles (*Bridging / Gateway*), qui permettent l'intégration de WMN avec autres réseaux externes (WIMAX, cellulaire, Wi-Fi, Internet...). Par conséquent, l'intégration de WMN permet aux utilisateurs finaux de bénéficier des services d'autres réseaux. [14]

Le principe de multi-sauts permet d'étendre la couverture à des distances étendues sans sacrifier la capacité de canal. De plus il offre la possibilité de communication entre les utilisateurs sans avoir une liaison directe entre eux. [14]

2.1 Architectures des réseaux maillés sans fil

Ils existent trois sortes d'architectures :

2.1.1 Architecture maillée avec infrastructure

Ce type d'architecture inclut les routeurs maillés, qui forment l'infrastructure réseau, dont leur rôle est le routage des paquets et qui permettent la connectivité entre les clients. L'infrastructure réseau peut être constituée en utilisant l'une des technologies sans fil (IEEE802.11, IEEE802.16...etc.), cette infrastructure fournit une interface pour l'intégration de WMN avec autres réseaux sans fil et avoir l'accès à Internet (voir figure 3.1). [14]

2.1.2 Architecture maillée sans infrastructure

Ce type d'architecture constitué des nœuds clients seulement (voir figure 3.2). Ceux-ci jouent un double rôle, utilisateur final et routeur. Cette architecture permet une communication « *peer to peer* » à travers tous les nœuds du réseau. Ce type de réseaux est plus similaire aux réseaux conventionnels ad-hoc. [14]

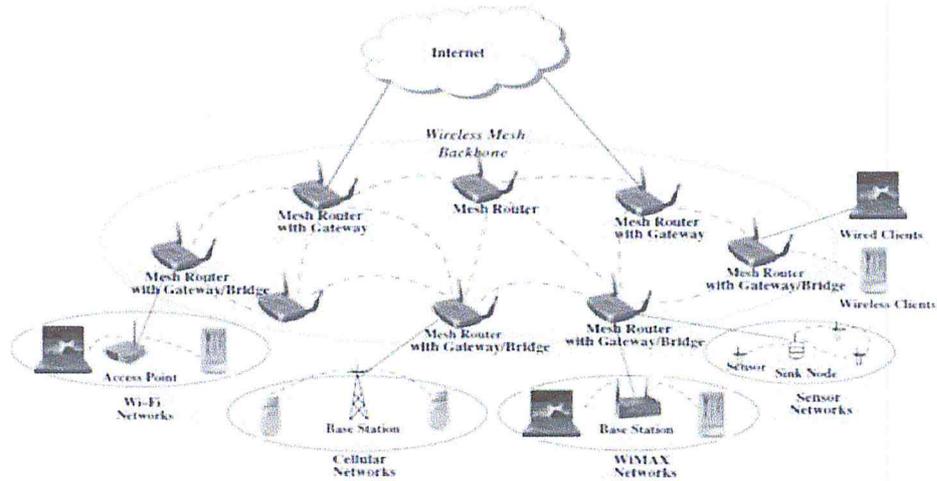


Figure 3.1 : Architecture avec infrastructure [14]

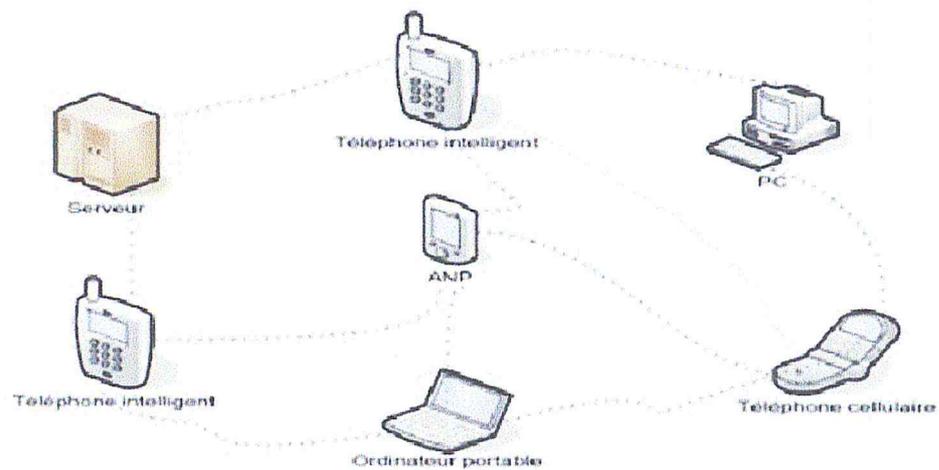


Figure 3.2 : Architecture sans infrastructure [14]

2.1.3 Architecture maillée hybride

Cette architecture est la combinaison des deux architectures précédentes. Les clients communiquent entre eux via les routeurs maillés ou « peer to peer ». De plus, l'infrastructure de WMN permet la connectivité aux différents réseaux tels qu'internet, Wi-Fi, WiMax...etc. (voir figure 3.3) [14]

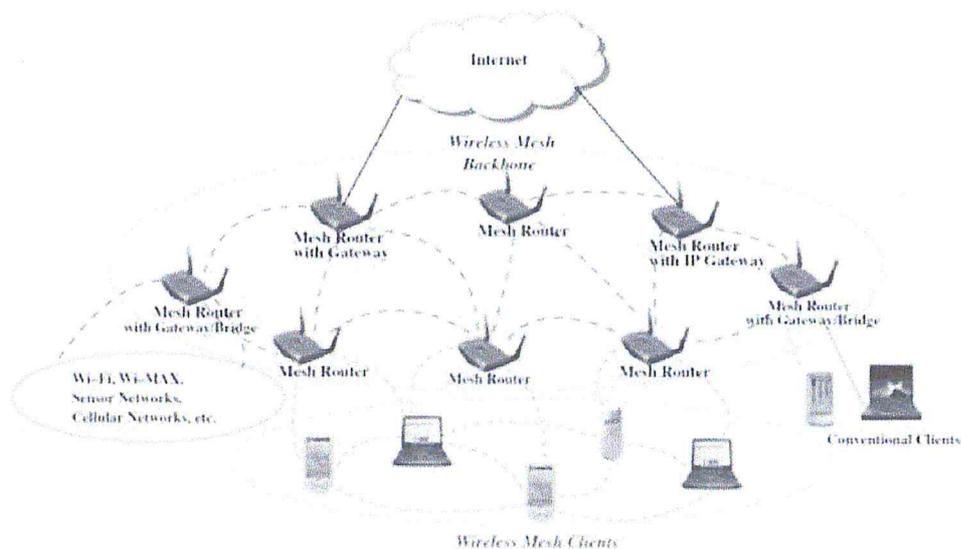


Figure 3.3 : Architecture Hybride [14]

2.2 Caractéristiques de réseaux maillés sans fil

1. Réseau sans fil multi-saut :

Le principe de multi-sauts exploité par les réseaux maillés sans fil, permet d'étendre la couverture sans dégrader les performances de réseau, et de fournir la connectivité entre les utilisateurs sans avoir une liaison directe entre eux. [15]

2. Fiabilité élevée :

Grâce aux chemins multiples, un paquet pourra toujours atteindre sa destination finale même dans le cas de défaillance d'un chemin particulier. [15]

3. Support de réseaux ad-hoc et auto configuration :

Les réseaux ad hoc conventionnel sont considéré comme un sous ensemble de réseaux maillés, les techniques existantes développées pour les réseaux ad-hoc sont déjà applicables à *WMN*. De plus, les routeurs maillés ont les capacités de formation et configuration automatique de réseau. [15]

4. Support de plusieurs types de communications :

Les communications « *Peer to Peer* », et aussi l'accès à l'internet par des communications « *client-serveur* », sont supportés par les réseaux *WMN*. [15]

5. Multiples types de mobilité :

Les routeurs maillés ont une mobilité faible et presque nul. Tant que les clients peuvent être des nœuds mobiles ou stationnaires. [15]

6. Nombres de radios multiples :

Les routeurs maillés peuvent avoir deux ou plusieurs radios (Interface radio), une interface est utilisée pour la communication avec les clients et les autres sont utilisés pour le *Backhaul*. [15]

7. Compatibilité et interopérabilité avec les réseaux sans fil existants

Par exemple, *WMN* construit et basé sur le standard IEEE 802.11 doit être compatible avec ce standard dans le sens de supporter le réseau maillé et les clients Wi-Fi conventionnels. [15]

8. Intégration

WMN permettent aussi l'intégration des différents réseaux existants tels que Wi-Fi, Internet, et les réseaux cellulaires par les fonctions de (*Bridging /Gateway*) des routeurs maillés. Par conséquent, les utilisateurs dans un réseau peuvent avoir les services fournis par d'autres réseaux. [15]

3. Le standard IEEE802.11s

Le groupe IEEE802.11s (TGs) a été créé en janvier 2004, il apporte des nouvelles fonctionnalités à la couche physique et MAC du standard IEEE802.11 afin qu'il peut supporter la topologie maillée. Cet ensemble de fonctionnalités s'appelle *Mesh Facility*. [15]

3.1 Mesh BSS

Un *Mesh BSS* est un réseau LAN IEEE802.11 composé de plusieurs stations indépendantes (*Mesh Stations*), chaque station à des liens (multi-chemins) vers ses voisines (*Neighbors Mesh Stations*). [7]

La communication entre les stations maillées dans un *Mesh BSS* peut réaliser en *multi-hop* (passer par plusieurs stations intermédiaires), ce qui permet à n'importe quelle deux stations de communiquer même s'ils ne situent pas dans la même portée. Le multi-hop (multi-sauts) permet d'étendre la portée de stations maillées et offre plus de flexibilité de déploiement de *Mesh BSS*. [7]

Dans *Mesh BSS*, il n'existe pas un point d'accès central comme le cas d'infrastructure BSS. L'identifiant de *Mesh BSS* (*MeshID*) est spécifié par la station qui envoie la trame de balise (*Beacon Frame*). De plus, le *multi-hop* permet à n'importe quelles deux stations dans un *Mesh BSS* de communiquer, c'est le cas contraire pour un *IBSS (ad-hoc)* où les stations ne peuvent pas communiquer si elles ne situent pas dans la même portée. Un *Mesh BSS* peut inclure une ou plusieurs interfaces vers des réseaux externes, et peut être utilisé comme un *DSM (Distribution service media)* pour réunir plusieurs infrastructure BSS. Un *Mesh BSS* implémente un sous ensemble de techniques de QOS. [7]

3.2 Composants de Mesh BSS

3.2.1 Mesh station

Une Station maillée (*Mesh Station*) est une station qui implémente les techniques de QOS et supporte les services de maillages (*Mesh Services*), elle participe dans la création et les différentes opérations de *Mesh BSS* (*path selection, Forwarding*). Une *Mesh Station* peut être la source, la destination, ou propagatrice de trafic, certaines *Mesh Stations* réalisent seulement l'acheminement (*Forwarding*) des trames. [7]

3.2.2 Mesh Gate

L'intégration de *Mesh BSS* avec des réseaux externes nécessite l'addition de *Mesh gates* au *Mesh BSS*. *Mesh gate* est une *Mesh station* qui a deux ou plusieurs interfaces (radios), elle permet l'intégration de *Mesh BSS* avec le DS. *Mesh gate* c'est la destination de n'importe quelle trame envoyé par *Mesh Station* et destiné hors de *Mesh BSS*. Un *Mesh BSS* peut inclut plusieurs *Mesh gates*. [7]

La figure 3.4 montre un *Mesh BSS* qui combine *Mesh Stations*, *Mesh gates*, *APs*, et *portals*.

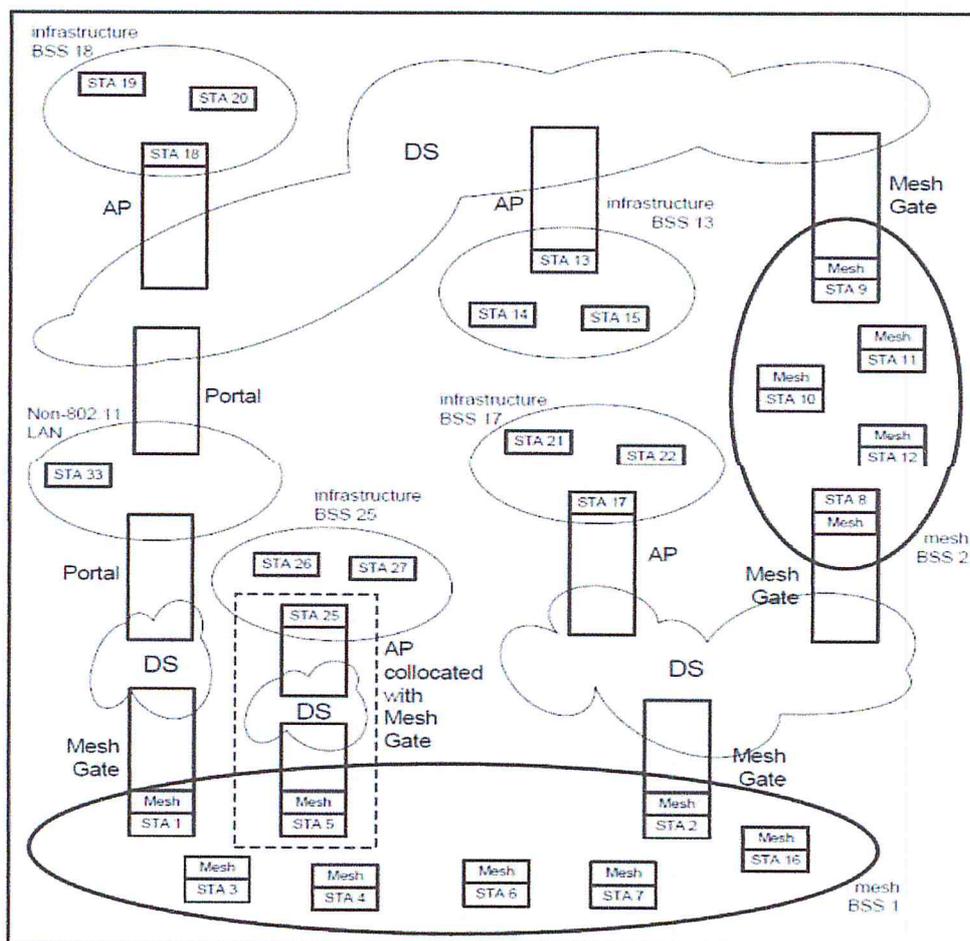


Figure 3.4 : Mesh BSS [7]

3.3 Les opérations dans un Mesh BSS

Les composants de *Mesh BSS* ont plusieurs fonctionnalités qui leur permettent de communiquer entre eux. [7]

3.3.1 : Mesh Discovery

Les stations maillées doivent réaliser un processus de scan (Actif ou Passif) afin qu'elles puissent découvrir un *Mesh BSS* opérationnel. Le processus de scan permet aux stations maillées de déterminer le profil d'un *Mesh BSS*.

Un *profil* d'un *Mesh BSS* est un ensemble de paramètres spécifique au *Mesh BSS*,

Un profil inclut :

MeshID : C'est un identifiant d'un Mesh BSS, chaque Mesh BSS à un identifiant unique.

Path selection protocoleID : C'est l'identifiant de protocole utilisé pour la découverte et la sélection de chemins dans un Mesh BSS. Dans *IEEE802.11s* le protocole par défaut est HWMP (*Hybride Wireless Mesh protocol*).

Path selection metric ID : C'est l'identifiant de la métrique utilisé par le protocole de sélection de chemins, dans *IEEE802.11s* la métrique par défaut est *AirtimeLink*.

Congestion contrôle mode ID : C'est l'identifiant de mode utilisé dans Mesh BSS pour contrôler la congestion.

Synchronisation méthode ID : L'identifiant de la méthode de synchronisation utilisée dans Mesh BSS

Authentication protocole ID : L'identifiant de protocole d'authentification utilisé dans Mesh BSS.

Le Profil de Mesh BSS est envoyé dans *Beacon frames* et *Prob Responses frames*. Une station maillée doit configurer un *Mesh Profile* avant de joindre un Mesh BSS. Toutes les stations dans un Mesh BSS ont mêmes valeurs de paramètres de *Mesh profile*. [7]

3.3.2 : MPM (*Mesh peering management*)

Dans un Mesh BSS, les communications directes entre les stations maillées voisins sont autorisées seulement quand il y a une relation de *peer* entre eux (*peer mesh stations*). Après le processus de *Mesh Discovery*, une station maillée doit établir une relation de *mesh peering* avec une ou plusieurs stations voisines

Deux stations maillées sont considéré comme *peer mesh stations* après qu'elles

terminent l'exécution de protocole MPM (*Mesh Peering Management*) avec succès, ou le protocole AMPE (*Authenticated Mesh peering Exchange*). [7] La figure 3.5 présente le déroulement des protocoles MPM et AMPE.

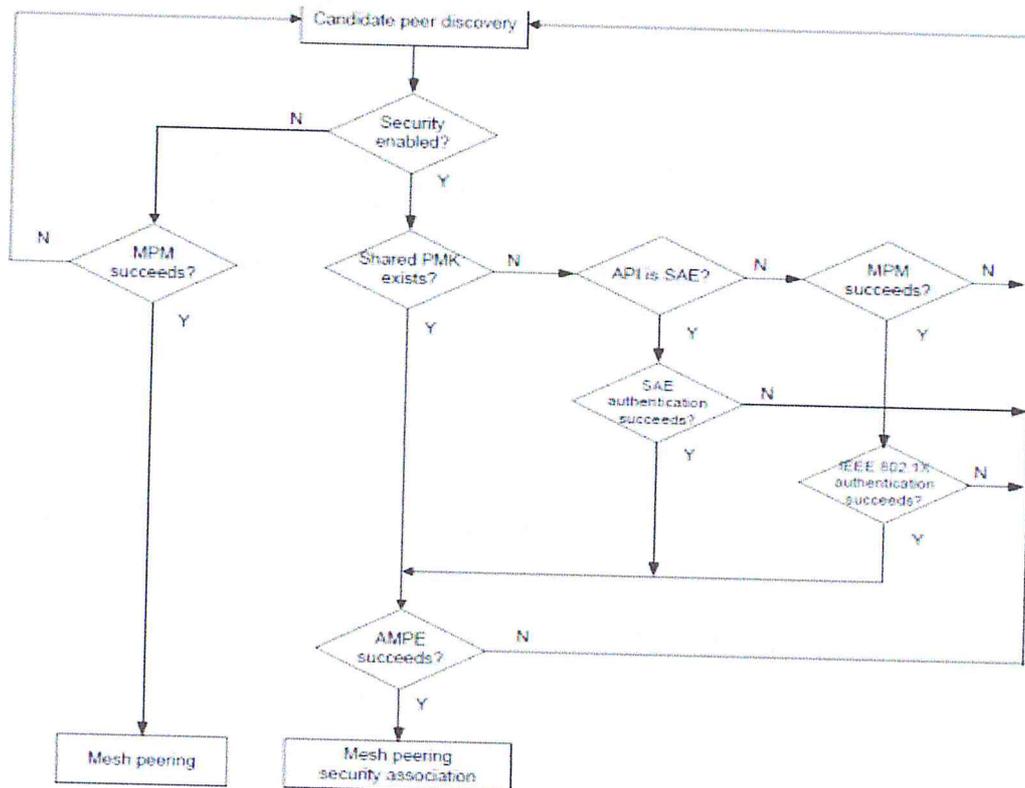


Figure 3.5 : Mesh peering Management [7]

3.3.3 : Format des trames MAC

Les stations maillées utilisent un format de trames QOS (inclut le champ QOS control). De plus, le corps de la trame (Frame Body) inclut un champ additionnel s'appelle *Mesh Control* (voir figure 3.6). La figure 3.7 montre le format des trames utilisées par les stations maillées. [7]

stations maillées reviennent à la méthode *EDCA* pour accéder au canal. Cette méthode réduit la probabilité de collisions [7]. La figure 3.8 présente la méthode *MCCA*

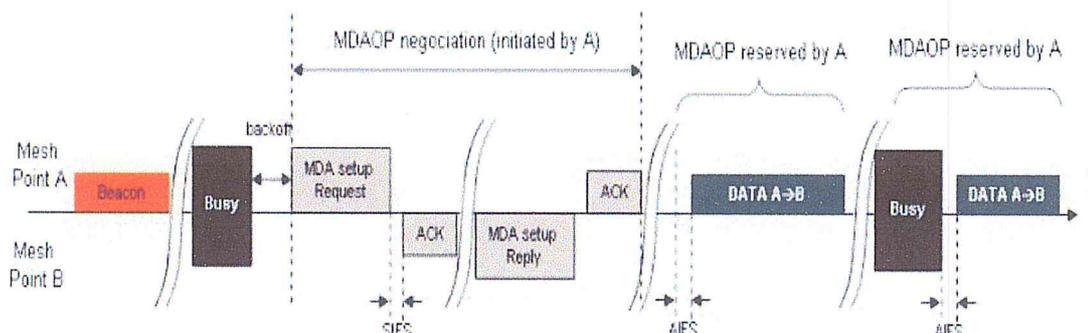


Figure3.8: MCF Controlled based access [7]

3.3.5: Mesh path selection protocol (HWMP)

Mesh path selection permet de découvrir et sélectionner un chemin de transmission multi-sauts (multi-hop) entre une station source et une station destinataire dans un *Mesh BSS*.

HWMP (Hybride Wireless Mesh Protocol) est utilisé comme protocole de sélection de chemins par défaut dans *Mesh BSS*. Les règles utilisées par *HWMP* sont inspirés de protocole *AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector)*.

HWMP supporte deux modes d'opérations dépend de la configuration de réseau :

Mode réactif : ce mode est toujours opérationnel, indépendamment de la configuration de *Mesh BSS*, il permet aux stations maillées de communiquer par l'utilisation de chemins *peer to peer*.

Mode proactif : Dans ce mode, une fonctionnalité additionnel est ajoutée au mode réactif, cette fonctionnalité permet de configurer une station maillée comme une

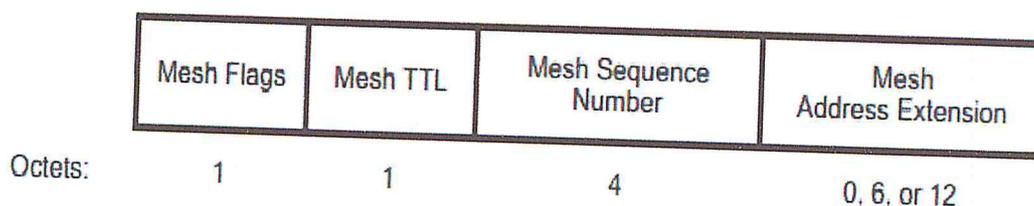


Figure 3.6 : Format de Mesh control [7]

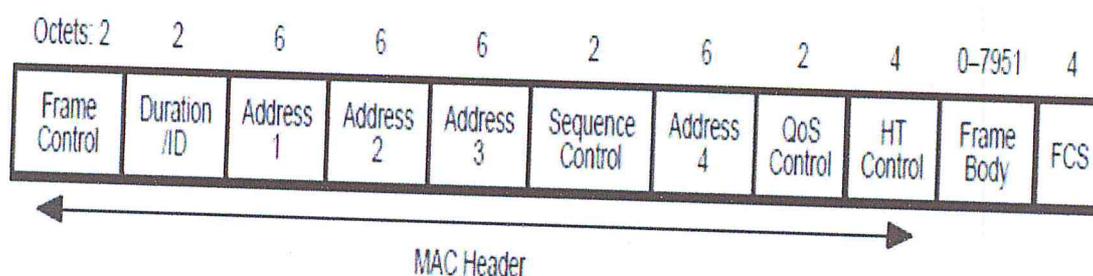


Figure 3.7 : Format de trames MAC [7]

3.3.4 : MCF (Mesh Coordination Function)

Les stations maillées appartiennent à un *Mesh BSS* utilisent *MCF* pour l'accès au canal partagé. *MCF* inclut deux méthodes différentes :

MCF Contention-Based Acces : C'est la méthode d'accès principale utilisée par les stations maillées. Cette méthode est *EDCA (Enhanced Distributed Channel Acces)* définit dans le chapitre 1.

MCF-Controlled Based Acces (MCCA) : Méthode d'accès optionnel permet aux stations maillées d'accéder au canal avec une probabilité de collision faible.

Avec *MCCA*, les stations maillées réservent une opportunité de transmission appelée *MCCAOP*. Pour négocier un *MCCAOP*, une station maillée envoie une requête (*MCCAOP setup request*) au récepteur (*Unicast ou Broadcast*) pour. Les stations maillées qui reçoivent cette trame répondent par *MCCAOP Setup reply*.

Au début d'un *MCCAOP*, la station propriétaire de *MCCAOP (MCCAOP owner)* peut transmettre ses différentes trames qui appartiennent aux différentes catégories par l'utilisation de *EDCA*. Une fois la période *MCCAOP* est terminée, les

racine (*root mesh station*) par l'utilisation de mode proactif, et créer des chemins à partir de cette racine vers les autres stations maillées de *Mesh BSS* (*construit un arbre*).

Ces deux modes sont utilisées simultanément car le mode proactif est une extension de mode réactif.

La métrique utilisé par le protocole HWMP pour la sélection de chemins s'appelle *Airtime*, cette métrique est mesuré sur chaque lien et correspondre à la quantité des ressources radios consommées pendant la transmission d'une trame sur un lien particulier [7]. Le *Airtime* est calculé selon la formule (3-1).

$$C_a = \left[O + \frac{B_t}{r} \right] + \frac{1}{1-e_f} \quad (3-1)$$

O et *Bt* sont des constants, leur valeurs sont mentionnées dans le tableau 3.1.

paramètres	valeur	Description
O	Dépend de la variante de la couche physique (802.11a/b/g...)	Indique <i>channel acces overhead</i> , inclut les entêtes de trames, les séquences d'entrainements...etc
Bt	8192	Nombre de bits dans la trame de test.

Tableau 3.1 : la valeur des paramètres de *Airtime* [7]

r : indique le débit de transmission en *Mbps*.

e_f : indique *frame error rate* pour une trame de taille *Bt*.

Une fois le chemin entre la source et la destination est sélectionné, la station maillée source achemine les données à travers ce chemin par la fonction de *forwarding*. Les données peuvent être transmit à travers toutes les stations de *Mesh BSS*, même si ces dernières ne sont pas des voisines. La figure 3.9 montre

l'acheminement des données dans un *Mesh BSS*. [7]

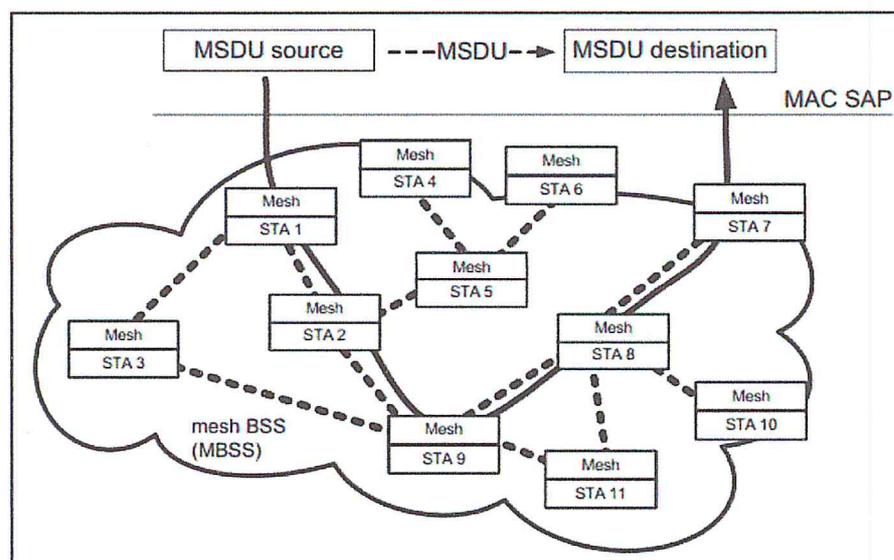


Figure 3.9 : Transmission de données dans un Mesh BSS [7]

4. Comparaison entre l'architecture maillée et la technologie ALTAI

4.1 Caractéristiques [13]

4.1.1 Réseau maillé

- Un réseau maillé est un réseau multi-sauts. Un paquet est transféré d'un saut à un autre jusqu'à ce qu'il atteigne sa destination final.
- Dans les réseaux maillés nous pouvons utiliser un seul réseau *Backhaul* pour un nombre important de points d'accès.
- Les points d'accès maillés n'ont pas besoin d'être placé dans un emplacement bien précis, ils peuvent eux-mêmes s'organiser pour former un réseau maillé.
- Un réseau maillé peut fournir des communications point à point (*peer to peer*).

Cependant, les communications en mode *client-serveur* ne sont pas garanti.

-La couverture d'une zone étendue nécessite un nombre important de nœuds maillés.

– La plupart de points d'accès maillés sont équipés de deux radios, un pour assurer l'accès aux utilisateurs et l'autre pour le *Backhaul*.

– Les algorithmes de routage font passer les données par un nombre importants de sauts avant d'arriver à l'utilisateur final. Cependant un nombre de sauts important provoque un temps de latence élevé. Ce qui rend le support des applications *temps-réel* (*VOIP, vidéo*) très difficile dans le réseau. [13]

4.1.2 Réseau ALTAI

-Utilise le principe de l'architecture cellulaire (plusieurs cellules, chacune d'elle contient une station de base et plusieurs autres stations secondaires).

– Le *Backhaul* est localisé au niveau de point d'accès qui offre l'accès aux utilisateurs.

– supporte les communications *client-serveur*.

– Les paquets sont transférés directement par une station de base vers une autre où se trouve le destinataire final.

– Une couverture étendue avec un minimum site d'installation.

– Offre un temps de latence faible approprié pour le support des applications *temps-réel* (*real-time*).

– Les stations de base possèdent deux radios ou plus, une pour l'accès et les autres pour le *Backhaul*. [13]

La figure 3.10 montre la différence d'architecture entre le réseau maillé et le réseau ALTAI.

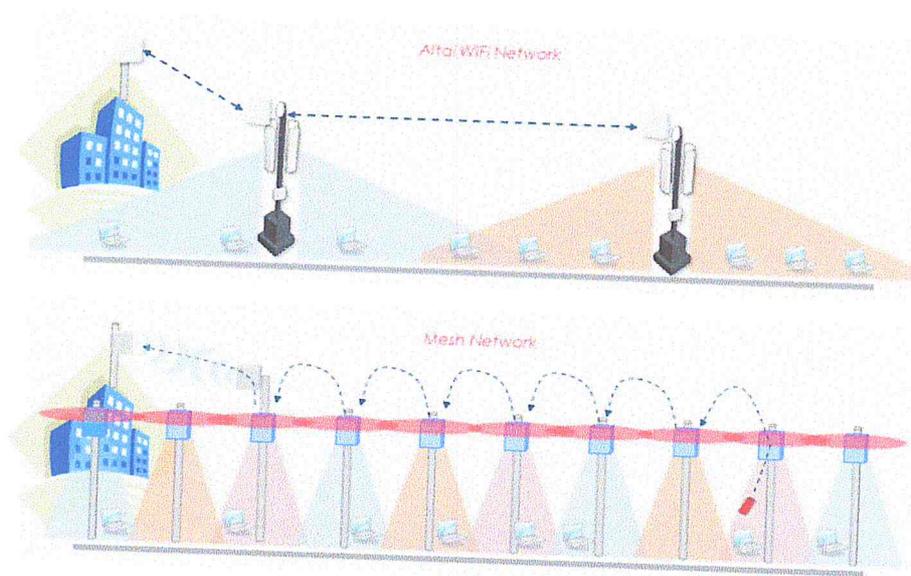


Figure 3.10 : La différence entre l'architecture maillée et l'architecture ALTAI [13]

4.2 Couverture

4.2.1 Point d'accès maillé

25 point d'accès / Km² : Un rayon de couverture de *120m* par point d'accès dans l'environnement *NLOS*, avec un chevauchement entre quelques points d'accès.

100 point d'accès au Km² sont nécessaires dans les régions urbaines denses. [13]

4.2.2 Station de base ALTAI

4stations de base /Km² : Un rayon de couverture de *350m* par station de base

12 stations de base/Km² sont nécessaires dans les régions urbaines denses. [13]

La figure 3.11 montre la différence de couverture d'un point d'accès maillé et une station de base ALTAI.

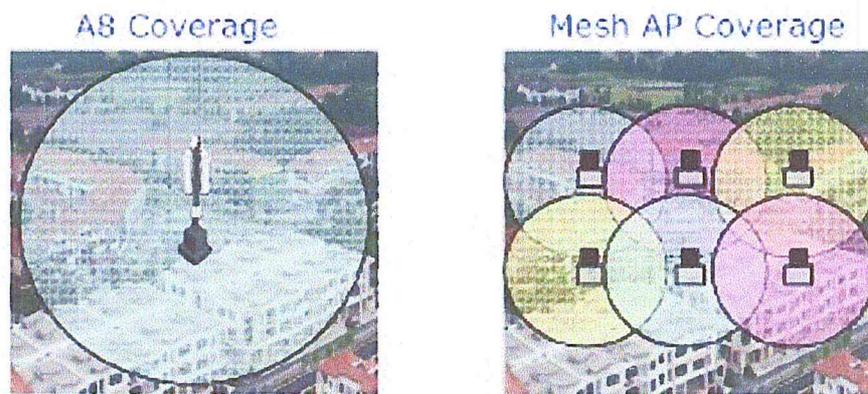


Figure 3.11 : La différence entre la couverture d'une station de base ALTAI et un point d'accès maillé [13]

4.3 Coût de déploiement

ALTAI offre un coût de déploiement moins faible que les réseaux maillés. La figure 3.12 montre la différence du coût entre la technologie ALTAI et l'architecture maillée. [13]

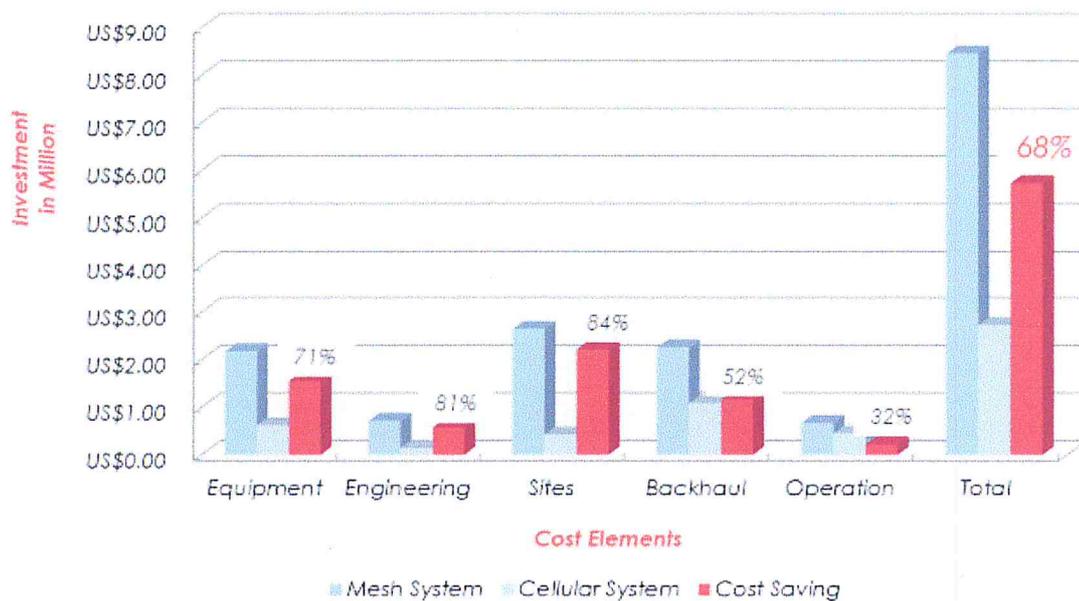


Figure 3.12 : La différence de coût entre la technologie ALTAI et l'architecture maillée [13]

5. Conclusion

Dans ce chapitre on a parlé sur le principe de l'architecture maillée, puis on a détaillé le standard IEEE802.11 qui applique cette architecture pour créer des réseaux locaux sans fil (WLAN) Wi-Fi maillés. Dans le chapitre suivant nous aurons détaillés le simulateur utilisé dans notre projet et aussi nous analyserons les résultats de simulation obtenues.

Chapitre 4 : Modélisation et simulation de réseaux

1.Introduction

Le projet proposé consiste à réaliser des simulations sur deux modèles d'architectures (L'architecture cellulaire de la technologie ALTAI et l'architecture maillée de standard IEEE802.11s) afin d'étudier les performances de deux modèles. Les simulations sont réalisées à l'aide de simulateur OMNET++. Dans le cadre de la réalisation de mémoire de master, notre travail consiste d'abord à comprendre les fonctionnalités du simulateur OMNET++, puis simuler des modèles élémentaires pour les deux architectures.

2. Simulateur OMNET++

OMNET++ (*Objective Modular Network Testbed in C++*) est un Framework de simulation orienté-objet, modulaire (architecture générique basée sur les modules). OMNET++ est utilisé dans plusieurs domaines comme la modélisation de réseaux filaires et sans fil (*Wired and wireless networks*), la modélisation de différents protocoles réseau, et la modélisation des systèmes de multiprocesseurs (Multi-tâches) et les systèmes distribués. En générale OMNET++ est utilisé pour modéliser et simuler n'importe quel système qui basé sur l'approche d'événements discrets et qui peut être mappé sous forme de plusieurs entités communiquent entre eux par l'échange des messages. [16]

Un système d'événements discrets est un système où les événements sont créés pendant des instances discrètes dans le temps. Le Temps dans un modèle de simulation est appelé *simulation time*. [16]

Un réseau informatique est considéré comme un système d'événements discrets. Parmi ses événements le début de transmission d'un paquet, la fin de transmission d'un paquet, et l'expiration de délai d'attente d'un paquet. [16]

OMNET++ fournir l'infrastructure et les outils nécessaires pour réaliser les simulations. Parmi les caractéristiques fondamentales de cette infrastructure est son architecture basée sur les composants (modules). Les modèles de simulation utilisés par OMNET++ sont formés par des composants élémentaires réutilisables appelés Modules, les modules peuvent connecter entre eux à travers des ports (*gates*). De plus, ils peuvent être réunir pour former des modules plus complexes.

Les modules communiquent par des messages qui transportent les données transmises. Les messages peuvent être envoyés à travers des chemins prédéfinis par l'utilisation des canaux et des ports, comme ils peuvent être envoyés directement à sa destination appropriée. [16]

Les modules peuvent avoir des paramètres. Les paramètres permettent de personnaliser le comportement de modules, et aussi paramétrer la topologie de modèle de simulation.

Le modèle de simulation est composé de plusieurs niveaux d'hierarchies, les modules situent dans le niveau d'hierarchie plus bas sont appelé Modules simples, ils encapsulent le comportement de modèle de simulation, et ils sont programmés en langage C++, par l'utilisation de bibliothèque de simulation. [16]

Les simulations réalisées par OMNET++ peuvent être exécuté sous différentes interfaces (Graphique et line de commande). OMNET++ peut être exécuté sous différentes plateformes (Windows, Linux, MAC OS). [16]

OMNEST est la version commercial de OMNET++ .OMNET++ est gratuit, il est destiné uniquement pour une utilisation académique et à but non lucratif. À des fins commerciales, il faut obtenir des licences OMNEST à partir de Simulcraf. [16]

2.1 Le modèle de simulation OMNET++

Un modèle OMNET++ est constitué de :

1. Modules simples :

Sont les modules actifs de modèle de simulation, ils encapsulent le comportement de modèle, contiennent le code c++ implémenté par l'utilisateur.

2. Modules Complexes :

Encapsulation d'un ensemble de modules simple connecté entre eux, Les modules simples et complexes sont des instances de type de module. Le module de plus haut niveau s'appelle *Network*, ce module contient des sous-modules (hiérarchie illimité). [16] La figure 4.1 montre l'architecture de modèle de simulation OMNET++

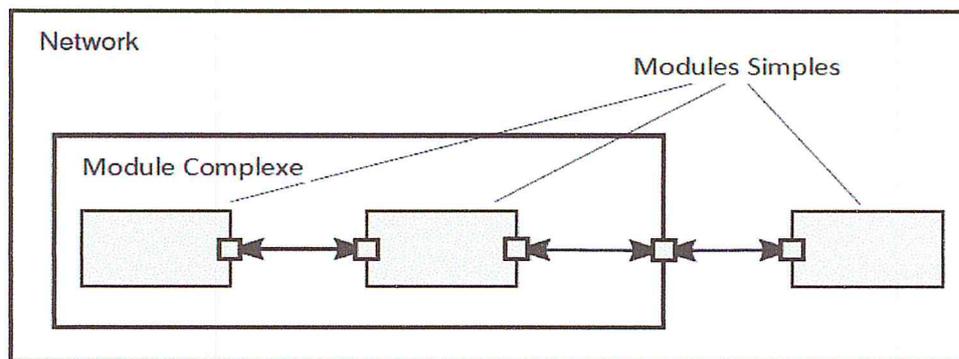


Figure 4.1 : Architecture de modèle de simulation OMNET++ [16]

3. Messages :

Les modules communiquent entre eux par l'échange des messages. Dans un modèle de simulation qui représente un réseau de données, les messages peuvent modéliser les différents paquets de différents protocoles (*Protocol Data Unit PDU*). Ils peuvent contenir des structures de données complexes. Les modules

simples peuvent envoyer les messages directement à sa destination ou à travers un chemin prédéfini par l'utilisation des *gates* et des liens. [16]

4. Ports (*Gates*) :

Les ports (*Gates*) sont les interfaces d'entrées- sorties de modules, il y a trois types de *gates*, *input*, *output*, et *input/output*. Les messages sont envoyés à travers *output gates* et reçues à travers *input gates*. [16]

5. Liens :

Les messages sont transmis à travers des liens. Les liens sont créés dans un même niveau d'hierarchie. Un lien peut relier deux sous-modules ou un sous-module et son parent (Module complexe). Les liens sont utilisés pour modéliser les supports de transmission physiques. Les liens peuvent posséder plusieurs paramètres : débit, délai de transmission, taux d'erreur par paquet (*Packet error rate*), et taux d'erreurs/bit (*bit error rate*) comme il peut être désactivé. Un lien avec ses paramètres constitué un objet appelé *Canal*. L'utilisateur peut paramétrer les types de canaux fournis par OMNET++ ou créer un nouveau type. [16]

6. Paramètres :

Les modules peuvent posséder des paramètres. Les paramètres des modules peuvent être affectés dans les fichiers de langage *NED* (*.Ned*) ou dans le fichier de configuration *omnetpp.ini*. Les paramètres peuvent prendre des valeurs numériques, *booléen*, *string*, *XML*. Dans un module complexe les paramètres peuvent définir le nombre de sous-modules et le nombre de ports. [16]

2.2 : Création et Configuration d'un programme de simulation

2.2.1 Description de la topologie de modèle de simulation

La structure d'un modèle de simulation OMNET++ est constituée à l'aide d'un langage de description de topologie s'appelle *NED (Network Description)*, par l'utilisation de NED l'utilisateur peut déclarer les différents composants de modèle de simulation, il peut créer des modules simples et les connecter entre eux pour former des modules complexes, comme il peut déclarer différents canaux avec différentes paramètres pour modéliser les supports de transmission physique. Les paramètres de modèle de simulation peuvent être aussi déclarés par le langage NED. [16]

NED Editor inclut dans l'IDE (*Integrated Development Environment*) de OMNET++ offre à l'utilisateur la possibilité de décrire la topologie de modèle de simulation graphiquement (voir figure 4.2) ou textuellement (voir figure 4.3). [17]

Parmi les caractéristiques du *NED* : La Hiérarchie, la réutilisation des composants, les Interfaces (graphique et line-command), l'héritage, et l'utilisation des Packages.

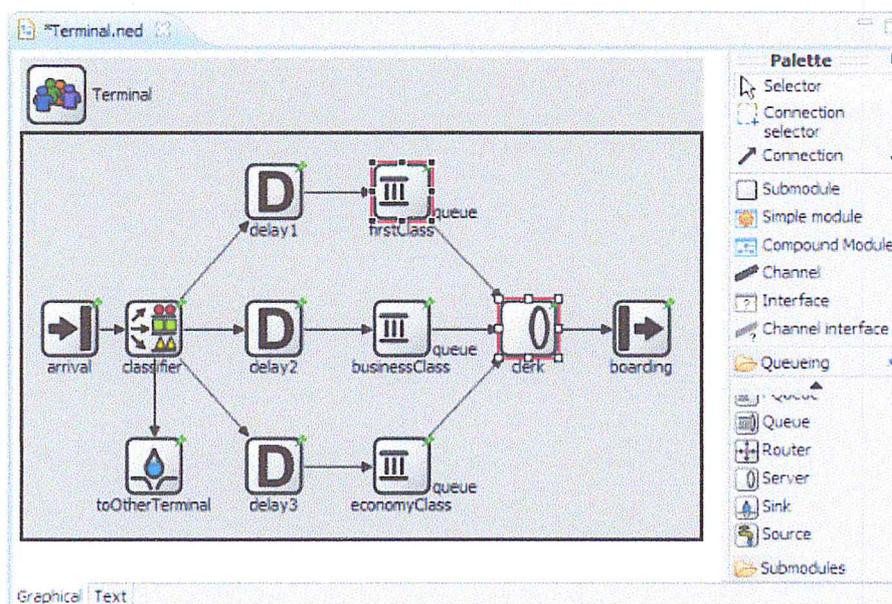


Figure 4.2 : NED Editor dans le mode graphique [18]

```

simple Node {
  gates:
    inout port;
}

network ExampleNetworkModule extends CallCenter {
  parameters:
    int a;
  types: // defines locally used objects
    channel PPPLink {
      parameters:
        @display(c="red");
        double delay = 10us;
        undefinedError = 23;
    };
    module HostX extends Host {
      double linkSpeed;
    };
  submodules:
    host[100]: HostX;
  connections:
    host[0].pppPort++ <--> PPPLink <--> host[1].pppPort--;
}

CallCenter {
  CallCenter - compound-module type
  ExampleNetworkModule - compound-module type
  Host - compound-module type
  RingQueue - compound-module type
  SimpleQueue - compound-module type
  TandemQueue - compound-module type
  Terminal - compound-module type
  link - keyword
}

```

Figure 4.3 : NED Editor dans mode texte [18]

2.2.2 Définition de messages

Les fichiers représentant les messages dans le modèle de simulation ont l'extension (.msg). Les messages sont représentés par la classe de base *cMessage*, et aussi la classe *cPacket* (*cPacket* hérite de *cMessage*). *cPacket* est utilisé pour représenter les différents paquets circulant dans un réseau de données (Segment TCP, Datagrammes IP, trames MAC...). L'utilisateur peut hériter de ces deux classes pour créer de nouveaux types de messages avec des données additionnelles. [16]

La classe *cMessage* définit les champs suivants : [16]

Message Name : un champ string qui représente le nom de message. Il apparaît dans l'interface graphique qui montre l'exécution de programme de simulation.

Message Kind : un champ *integer* qui indique le type, le rôle, la catégorie, ou l'identité de message.

Scheduling priority : Ce champ est utilisé par *simulation kernel* pour déterminer l'ordre de délivrance de deux messages qui ont même temps d'arrivé.

Send time, arrival time : le temps d'envoi et d'arrivé de message.

Source module, Source gate : Le module simple qui est la source de message et aussi l'identifiant de *gate* utilisée pour la transmission de message.

Destination module, Destination gate : Le module simple qui est la destination de message et aussi l'identifiant de *gate* utilisée pour la réception de celui-ci.

Time Stamp : différent de champ *arrival Time*, le programmeur peut utiliser ce champ pour plusieurs buts.

Pour représenter les paquets d'un réseau de communication, La classe *cPacket* ajoute les champs suivants aux messages :

Packet Length : représente la taille de paquets en bits, ce champ est utilisé par *simulation kernel* pour calculer la durée de transmission d'un paquet envoyé à travers un canal qui a un *data rate* bien précise, et aussi pour modéliser les erreurs de transmission sur un canal qui a un *bit error rate* différent de zéro.

Encapsulated Packet : ce champ nos permet d'introduire la notion d'encapsulation et décapsulation pour que nous pouvons modéliser les différents protocoles de couches *OSI* (application, transport, réseau, MAC, physique).

Bit Error flag : Ce champ incorpore le résultat de modélisation des erreurs après que le paquet est envoyé à travers un canal qui a *BER* ou *PER* différent de zéro. Après la réception de paquet, le récepteur examine ce flag pour qu'il puisse déterminer comment traite ce paquet.

Duration field : inclut la durée de transmission d'un paquet après qu'il est envoyé à travers un canal qui a un *data rate* bien précise.

Is reception start : détermine est ce que le paquet représente le début ou la fin de la réception.

Les fichiers représentant les messages (.msg) sont compilés en classes de langage c++ (.h/.cc) à l'aide d'un compilateur s'appelle *opp_msgc*. [16]

2.2.3 Implémentation des composants actifs de modèle de simulation

Les modules simples et les canaux sont appelés les composants actifs de modèle de simulation. Ils sont représentés par la classe *cComponent*. Les deux classes abstraites *cModule* et *cChannel* sont hérités de *cComponent*.

cModule possède deux sous classes : *cSimpleModule* et *cCompoundModule*, tandis que *cChannel* possède trois sous classes : *cIdealChannel*, *cDelayChannel* et *cDatarateChannel*.

L'utilisateur définit les modules simples par l'héritage de classe *cSimpleModule*. Les modules simples et les canaux sont programmés par la redéfinition de certaines fonctions de la classe *cComponent*. *cComponent* comporte deux méthodes : *initialize()* et *finish()*. Pour définir le comportement d'un module, il faut redéfinir l'une des méthodes suivantes : *handleMessage (cMessage *msg)* et *activity()*.

Le code suivant définit le comportement d'un module simple qui s'appelle mohamed et qui supprime tous les messages reçues. [16]

```
#include <omnetpp.h>
class mohamed : public cSimpleModule
{
protected:
virtual void initialize();
```

```

virtual void handleMessage(cMessage *msg);
};
Define_Module (mohamed) ; // enregistrer la classe du module avec OMNeT++

void mohamed::initialize()
{
ev << « salut!\n";
}
void mohamed::handleMessage(cMessage *msg)
{
delete msg; // supprime tous les msgs reçus
}

```

2.2.4 Configuration de modèle de simulation

Les paramètres de simulation peuvent être affectés dans les fichiers de langage NED (.Ned) ou bien dans un fichier de configuration spécial s'appelle omnetpp.ini. Chaque modèle de simulation inclut un ou plusieurs fichiers de configuration.

Le fichier *omnetpp.ini* permet aux utilisateurs d'introduire les différents paramètres de simulation, il est réparti en 3 parties différentes :

Configuration : cette partie inclut les différents paramètres concernant la simulation comme le temps de simulation.

Sections : cette partie montre les différentes sections en cas où il y a différents scénarios de simulation.

Paramètres : Dans cette partie nous pouvons ajouter, modifier, et supprimer les différents paramètres concernant notre modèle de simulation. [16]

Ini File Editor inclus dans L'IDE de OMNET++ permet à l'utilisateur de configurer les modèles de simulation, soit directement à partir de la source ou à partir de l'interface graphique.

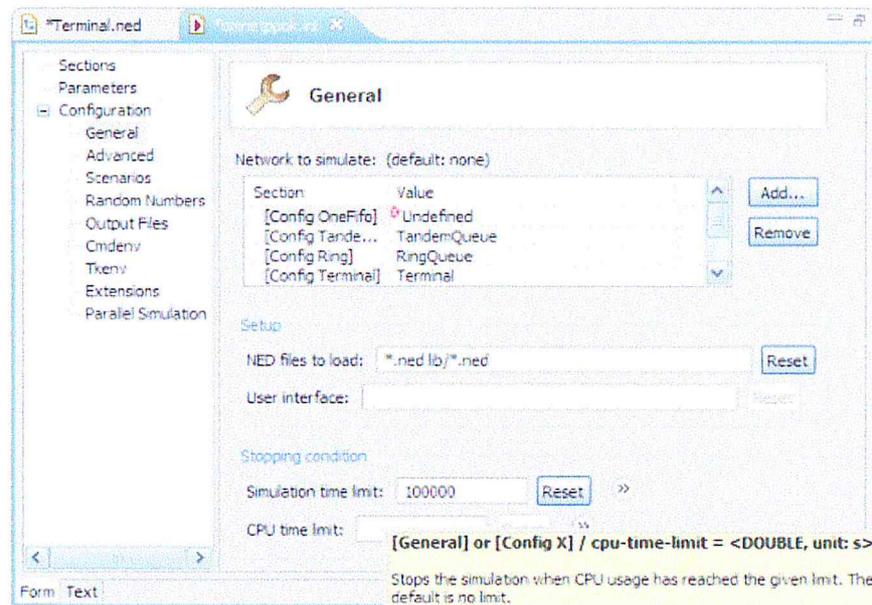


Figure 4.4 : Interface de fichier omnetpp.ini [18]

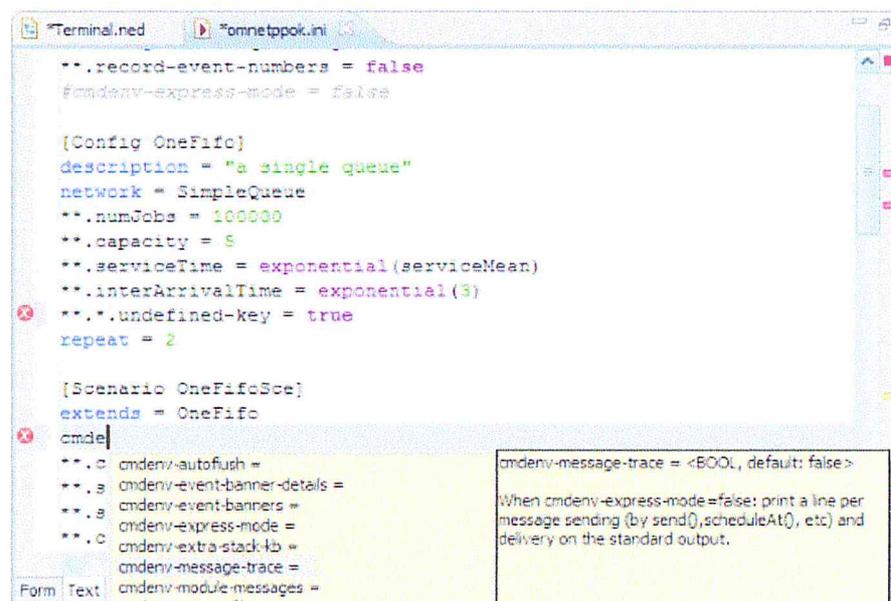


Figure 4.5 : Source de fichier omnetpp.ini [18]

2.3 Programmation des algorithmes :

Les modules simples contiennent les algorithmes comme les fonctions C++. Le programmeur peut utiliser les concepts de l'orienté-objet (Héritage, polymorphisme....) pour étendre les fonctionnalités de simulateur. Les objets de simulation (Modules, Messages...) sont représentés par des classes C++. La bibliothèque de simulation inclut les classes suivantes :

Module, gate, parameter, channel

Message, packet

Les conteneurs de données (les tableaux, les files. les ensembles...)

Le système de simulation inclut deux composants :

Le noyau de simulation (*Simulation Kernel*) : contient le code écrit en C++ qui gère la simulation et les classes de la bibliothèque de simulation, compilé en des bibliothèques static (.exe) ou partagé (.dll).

L'interface Utilisateur (*GUI*) : utilisé dans l'exécution de la simulation pour faciliter la démonstration et le débogage. [16]

2.4 Construction et exécution d'un programme de simulation

Le programme de simulation peut être compilé comme un programme indépendant exécutable (.exe) et dans ce cas il peut être exécuté sur des machines où OMNET++ n'est pas installé. Comme il peut être créé comme une bibliothèque partagée (*shared librarie .dll*), et dans ce cas la présence de OMNET++ est obligatoire pour l'exécution de programme.

La construction d'un programme de simulation passe par les étapes suivantes :[16]

1. Les fichiers représentant les messages (.msg) sont compilés en code c++ (.h/.cc) par le compilateur de messages `opp_msgc`.

2. Le code source c++ (code de modules simples et de messages) est compilé en des fichiers objet (.o) à l'aide de compilateur c++ (*mingw* sur windows ou *gcc* sur linux et Mac), les fichiers objet sont liés avec *simulation Kernel* et *GUI* pour former le programme de simulation (.exe ou .dll).

3. Les fichiers de langage NED (.NED) et le fichier de configuration *omnetpp.ini* sont chargés dynamiquement quand l'exécution de programme est lancée.

4. Le programme est exécuté et les résultats de simulation écrit dans des fichiers résultat (*output scalar files, output vector files*), l'IDE de OMNET++ fournir les outils nécessaires pour analyser ces fichiers. Les fichiers de résultats sont des fichiers textes. Ils peuvent être analysés par plusieurs outils et langage de programmation (MATLAB, origine, GNU R, Python, Perl...).

La figure 4.6 représente les différentes étapes de construction et d'exécution d'un programme de simulation OMNET++

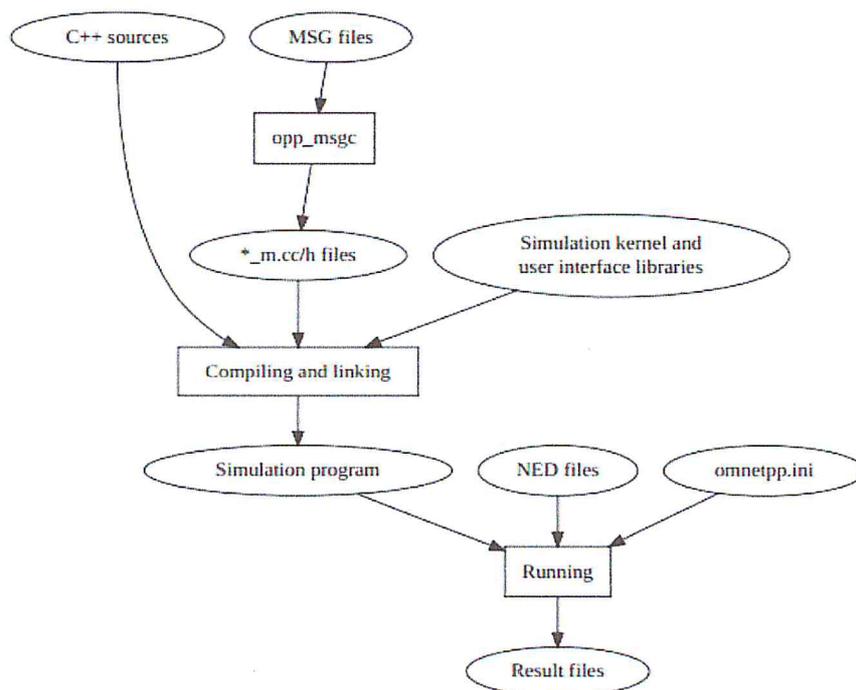


Figure 4.6 : Construction et exécution d'un programme de simulation [16]

3. Framework INET :

INET Framework utilise les mêmes concepts de OMNET++ (Modules simples, complexes, les liens, les messages...). INET est destiné particulièrement pour la simulation de réseaux filaires et sans fil. Il Implémente les protocoles de différentes couches de modèle OSI : [19]

Applications (HTTP, DHCP...)

Transport (TCP, UDP)

Réseau (IPv4, IPv6)

Liaison (Ethernet, PPP, IEEE 802.11).

Physique (les différentes méthodes de codage et modulations) [19]

Pour utiliser INET Framework, il suffit de le télécharger à partir de site officiel de OMNET++, puis l'importer dans le *Workspace* utilisé par OMNET++, pour développer un nouveau projet sur la base de INET Framework, nous devons sélectionner INET comme un projet de référence dans les propriétés de projet développé (voir figure 4.7). [19]

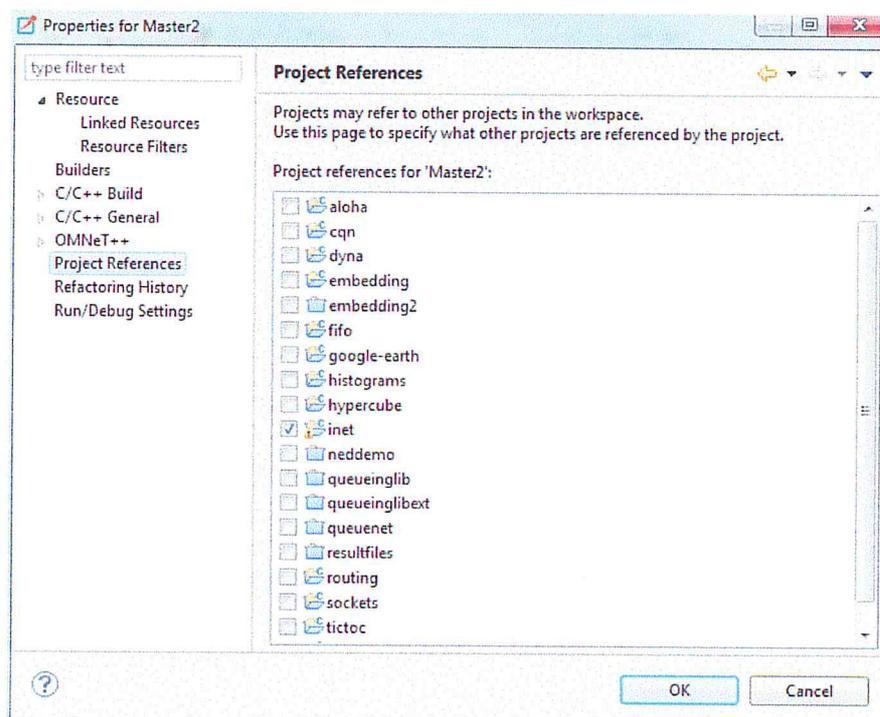


Figure 4.7 : sélectionnent de projet référence [17]

3.1 La structure de INET :

INET Framework est structuré en *packages*, chaque *package* inclut le comportement de protocoles d'une couche spécifique. De plus, il y a un *package* inclut les exemples de simulation réaliser par INET, et aussi un *package* qui inclut les différents équipements d'un réseau. [19]

Inet.src.application : ce *package* définit le comportement de la couche application et ses différents protocoles.

Inet.src.transport : inclut les fonctionnalités de la couche transport et ses différents protocoles (TCP, UDP...).

Inet.src.networklayer : définit les fonctionnalités de la couche réseau et ses différents protocoles (IPv4.IPv6).

Inet.src.linklayer : définit les fonctionnalités de la couche MAC de différents standards (*Ethernet, IEEE 802.11...*).

Inet.nodes : définit la structure et les fonctionnalités de différents éléments de réseau (Switch, Routeur, Point d'accès, clients...).

Inet.examples : inclut les différents exemples de simulation (ad-hoc, Ethernet, Wireless...). [19]

3.2 Description de la structure de clients et points d'accès

INET définit la structure de différents composants d'un réseau, pour les réseaux sans fil, il définit la structure de clients (*Wireless Host*) et les points d'accès (*Wireless Access points*) comme des modules complexes, composé de plusieurs modules (simples et complexes) qui ont différentes fonctionnalités. [19]

3.2.1 Wireless Host :

Wireless Host représente les clients dans un réseau sans fil Wi-Fi (IEEE802.11), il a une structure complexe, constituée de plusieurs modules (voir figure 4.8), chacun d'eux a ses propres fonctionnalités : [19]

Interface Table : C'est un module simple qui réalise l'enregistrement des interfaces réseaux d'un client (Ethernet, WLAN,...).

Routing Table : C'est un module simple qui modélise la table de routage.

NotificationBoard : Ce module permet de notifier les autres modules quand un évènement est survenu (changement de table de routage, opération de HandOver...), Dans chaque client il y a une seule instance de ce module.

Mobility : Ce module est responsable sur la mobilité des nœuds dans le terrain de simulation.

TCP : Ce module modélise le protocole TCP de la couche transport.

UDP : permet de modéliser le protocole UDP de la couche transport.

TcpAPP, UdpAPP : modélisent le comportement des protocoles de la couche application. (*TcpApp* sont les protocoles de couche application qui utilisent le protocole de transport TCP, et la même chose pour *UdpApp*).

Network Layer : Ce module représente le comportement et les protocoles de couche réseau (*IP, ICMP, ARP*).

PPP Interface : implémentation de protocole PPP (*Point to point protocole*) de couche liaison.

Ethernet Interface : Ce module représente l'interface Ethernet (*IEEE802.3*)

WLAN [num radios] : Modélisation de l'interface réseau sans fil *IEEE802.11* d'une station. Le comportement et les protocoles de couches physique et MAC de standard *IEEE802.11* sont modélisés par un module s'appelle *ieee80211Nic*, ce module est composé de :

-*IEEE802.11Radio* : modélise la couche physique *IEEE802.11*

-*IEEE80211Mac* : modélise la couche MAC *IEEE802.11*

-*IEEE80211MgmtSTA* : utilisé en mode infrastructure, il manipule les trames de gestion pour une station.

IEEE80211AgentSTA : utilisé en mode infrastructure, il contrôle l'opération de scan, l'association et le *HANDOVER* par l'envoi des commandes au module *IEEE80211MgmtSTA*. [19]

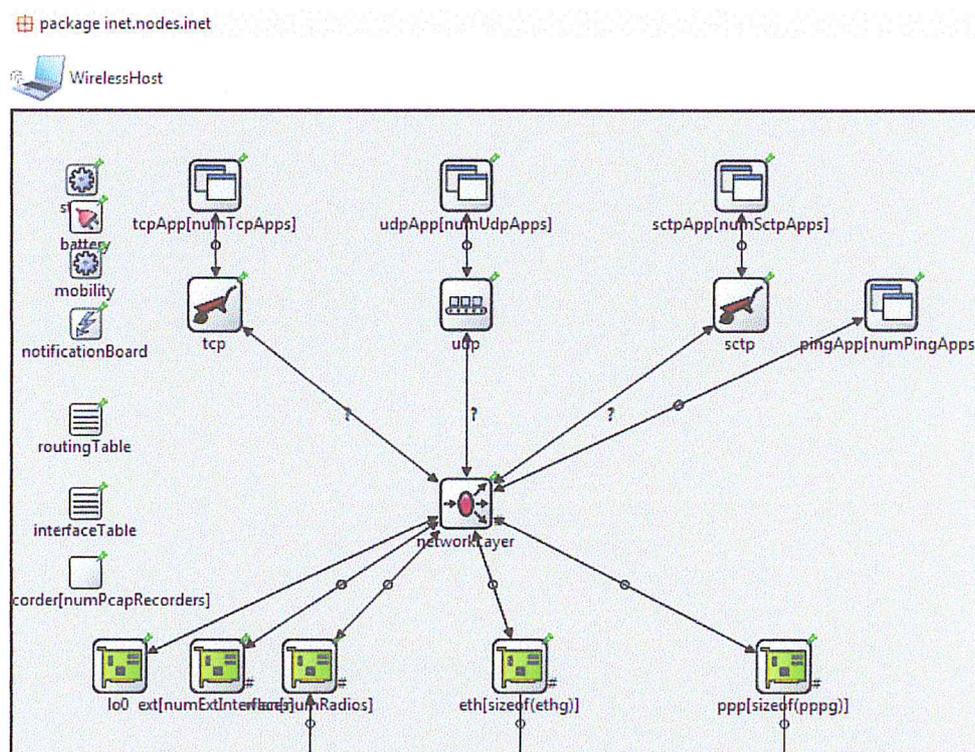


Figure 4.8 : La structure de Wireless Host [18]

3.2.2 : Wireless Access point :

Wireless Access point modélise le fonctionnement d'un point d'accès dans un réseau local (*WLAN*). Un point d'accès dans un réseau local sans fil fonctionne comme un switch Ethernet (jusqu'à couche MAC). Le module *Wireless Access point* modélise un point d'accès qui a deux interfaces réseaux (Wireless, Ethernet.), il est composé de : [19]

WLAN [num radios] : Modélisation de l'interface réseau sans fil *IEEE802.11* d'un point d'accès. Le comportement et les protocoles de couches physiques et MAC de standard *IEEE802.11* sont modélisés par un module s'appelle *ieee80211NicAP*, ce module est composé de *ieee80211Radio*, *ieee80211Mac* et *ieee80211MgmtAP*

Ethernet interface : module représente l'interface Ethernet.

Relay Unit : ce module lie les deux interfaces réseau (Wireless et Ethernet). Il réalise le mapping entre les adresses MAC et les ports correspondants et achemine les trames vers les ports appropriés.

Les modules *InterfaceTable*, *NotificationBoard*, *mobility*, sont les mêmes que ceux définis dans *Wireless Host*.

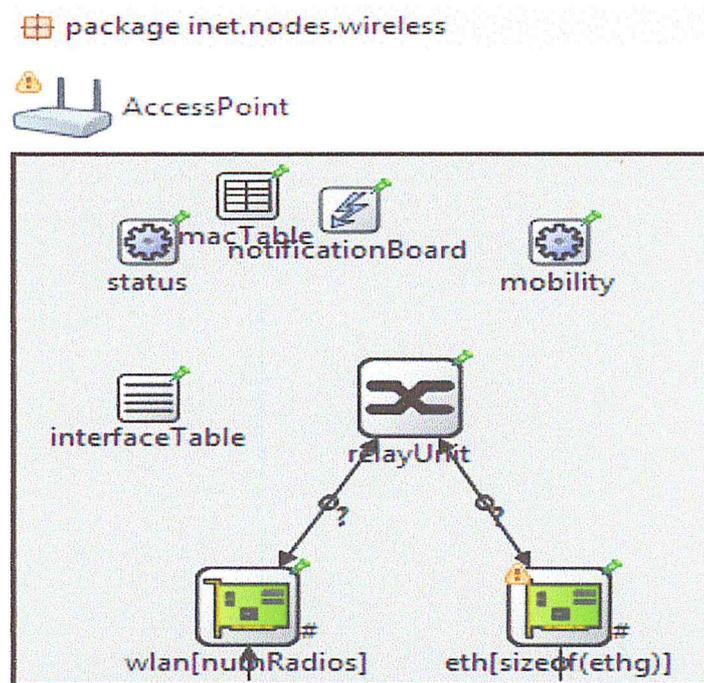


Figure 4.9 : La structure de Wireless Access Point [18]

3.3. La mobilité dans INET

Afin d'évaluer avec précision un protocole pour un réseau sans fil, il est important d'utiliser un modèle réaliste pour le mouvement des hôtes mobiles. La Puissance du signal, les interférences radio et l'occupation de canal dépend des distances entre les nœuds. Le choix du modèle de mobilité peut influencer de manière significative les résultats d'une simulation (par exemple, taux de livraison de paquets de données, le retard de bout en bout, le nombre de sauts en moyenne). Il existe deux méthodes pour intégrer la mobilité dans des simulations : en utilisant des modèles de traçage ou des modèles synthétiques. Les modèles de Traçages enregistrent le mouvement des hôtes mobiles, comme il est observé dans la vie réelle. Les modèles synthétiques utilisent des modèles mathématiques pour décrire le comportement des hôtes mobiles. Il existe des modèles de mobilité qui représentent les nœuds mobiles dont les mouvements sont indépendants les uns des autres (modèles d'entités) et les modèles de mobilité qui représentent les nœuds mobiles dont les mouvements sont dépendants les uns des autres (modèles de groupe). [19]

Dans INET les nœuds doivent inclure un module de mobilité qui implémente l'interface *IMobility* (souvent nommé *mobility*), ce module enregistre les coordonnées actuelles du nœud, il est responsable sur la mise à jour périodique de la position de nœud, quand la position de nœud est changée il envoie un signal *mobilityStateChanged* au module *channelcontrol* qui réalise la mise à jour des liens de communication. La figure 4.10 illustre la collaboration entre le module *mobility* et *channelcontrol* pour la gestion de mobilité de nœuds. [19]

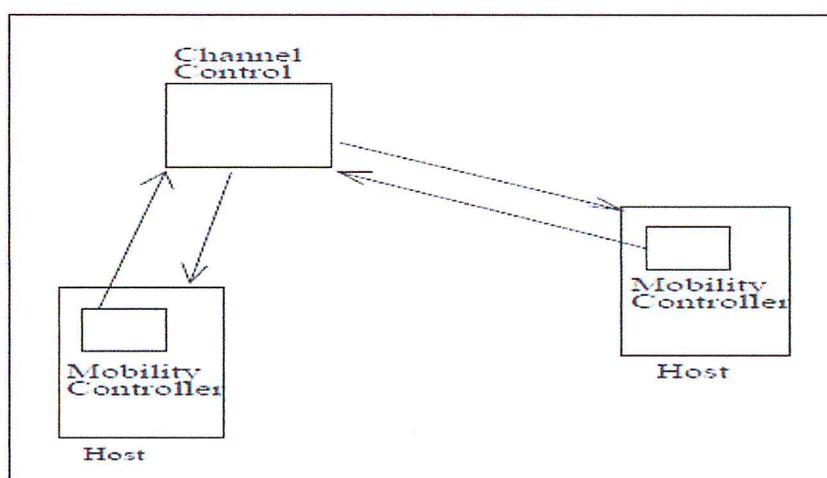


Figure 4.10 : la gestion de mobilité dans INET [19]

La classe abstraite *MobilityBase* est la classe de base pour tous les modules de mobilité définis dans INET Framework. Cette classe permet de définir un volume cubique que les nœuds ne peuvent pas quitter. Le volume est configuré en définissant les paramètres *constraintAreaX*, *constraintAreaY*, *constraintAreaZ*, *constraintAreaWidth*, *constraintAreaHeight* et *constraintAreaDepth*. [19]

Le modèle de mobilité défini pour les clients dans INET Framework est *MassMobility*, ce modèle est utilisé pour modéliser le mouvement d'un point de masse à inertie, de position r , de vitesse V et d'accélération Y . Le modèle de mobilité défini pour les points d'accès est *StationaryMobility* ($v=0$), car les points d'accès sont généralement en état stationnaire. [19]

4. Modélisation de réseau

Dans cette partie nous allons voir la modélisation de l'architecture cellulaire de ALTAI et l'architecture maillée proposée pour la simulation par OMNET++.

4.1 Modélisation de l'architecture cellulaire de ALTAI.

4.1.1 Modèle proposé :

Le modèle proposée pour l'architecture cellulaire de ALTAI est montré dans la figure 4.11. Ce modèle est composé de plusieurs cellules de différentes tailles (selon la portée de la station de base), La couverture Wi-Fi de la cellule est assurée par une station de base ou un point d'accès ALTAI. De plus, chaque cellule contient un nombre variable de clients (le nombre de clients est considéré comme un paramètre). Les clients peuvent opérer dans la bande de 2.4GHz par l'utilisation de radios (802.11b/g/n (HT20)), tandis que les points d'accès et les stations de base peuvent opérer dans les deux bandes 2.4GHz par l'utilisation de radios (802.11b/g/n(HT20), et 5GHz par l'utilisation de radios (802.11a/n (HT20/HT40)). Les communications entre les clients et la station de base ou le point d'accès auxquelles sont rattachés sont effectués dans la bande de 2.4GHz. De plus, pour gérer le déplacement de clients entre les cellules (HANDOVER), les stations de base et les points d'accès de différentes cellules communiquent entre eux à travers un réseau *Backhaul* constitué par l'utilisation de la bande de 5GHz (radios 802.11a/n (HT20/HT40)).

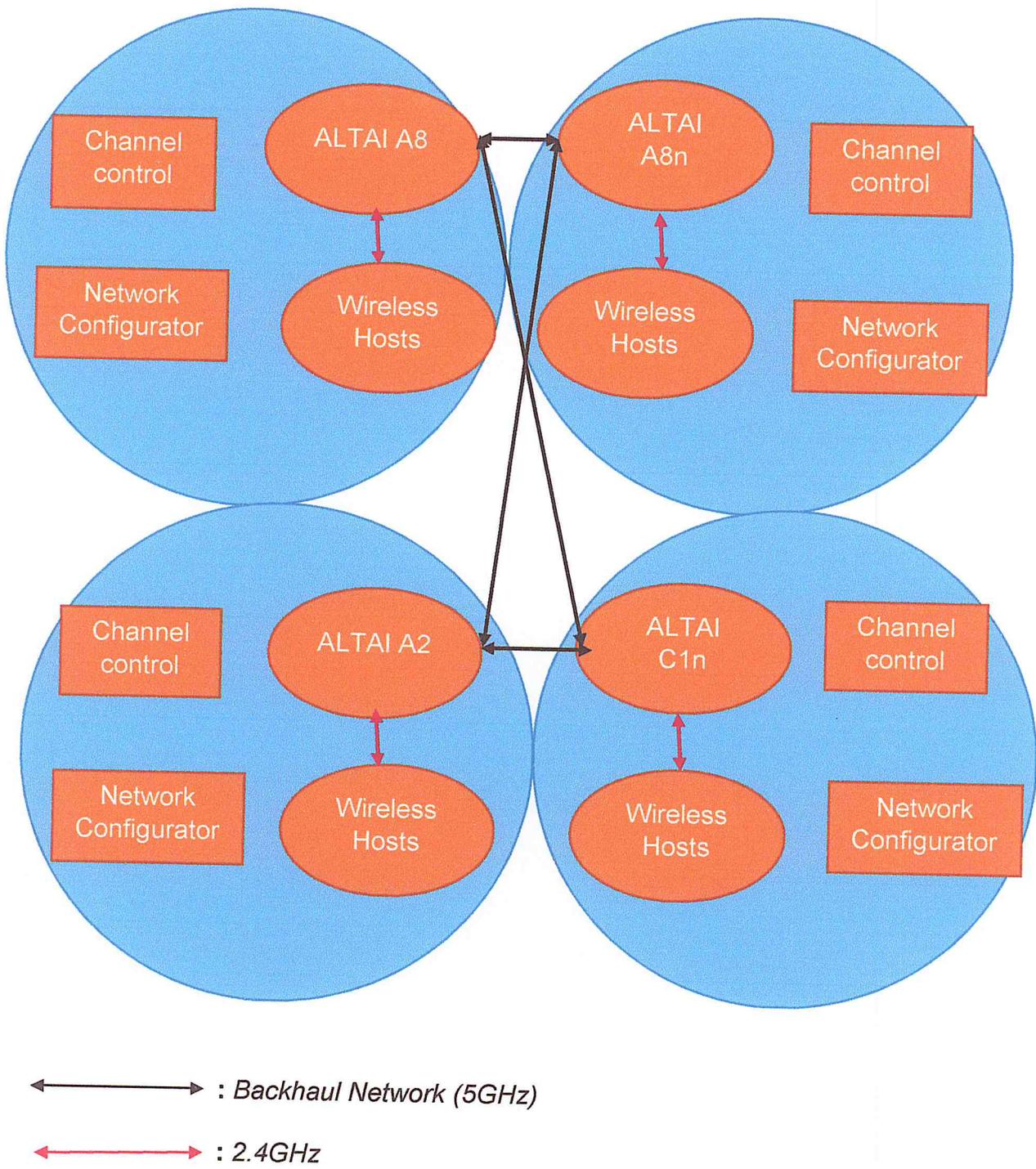


Figure4.11 : modèle d'architecture cellulaire de ALTAI

4.1.2 Modèle simulé :

Dans le cadre de mon projet de master, j'ai commencé la simulation en débutant par une seule cellule composée d'une station de base ALTAI (*ALTAI A8 super Wi-Fi base station*), et un nombre paramétrable de clients. La figure 4.12 montre le modèle simulé.

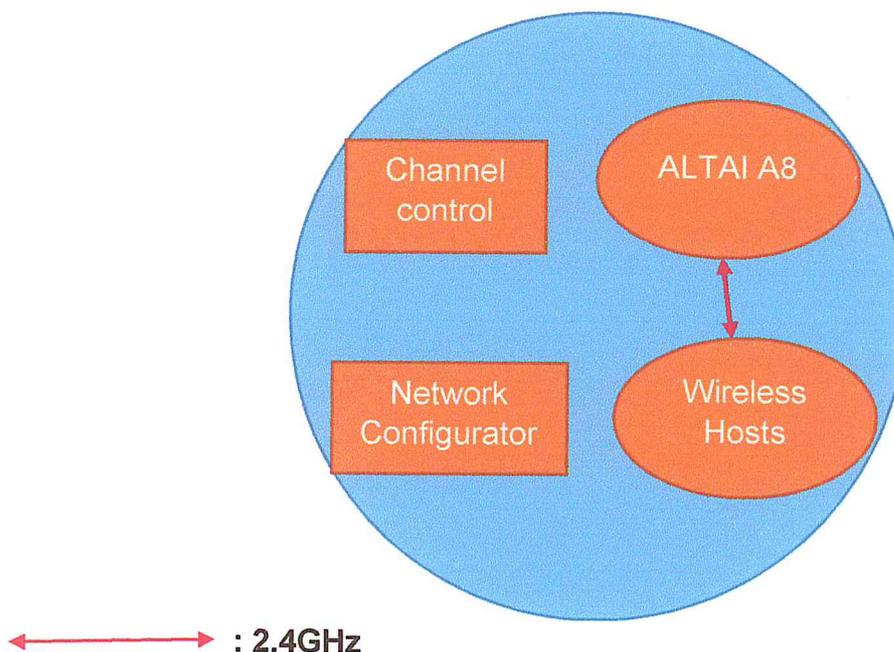


Figure 4.12 : Modèle simulé de l'architecture cellulaire de ALTAI

4.2 Modélisation de l'architecture Maillée

4.2.1 Modèle proposé :

Le modèle proposé pour l'architecture maillée est similaire à l'architecture hybride de réseaux maillés sans fil montré dans la figure 3.3. Ce modèle est constitué d'un nombre variable de clients (*Wireless Mesh clients*), avec un nombre variable de *Wireless Mesh Routers* (le nombre de clients et celui de Mesh routers est considéré comme un paramètre). Les clients peuvent communiquer directement entre eux ou à travers les routeurs maillés (*Mesh Routers*) en utilisant le principe de multi-sauts (*Multi-Hop*). De plus, certains *Mesh routers* possèdent la fonctionnalité de *Gateway*

afin que nous pouvons connecter à un réseau externe (Internet). La technologie utilisée pour la communication entre les clients et aussi entre les clients et *Mesh Routers* est IEEE802.11. Les clients possèdent une seule interface radio dans la bande de 2.4GHz (802.11b/g/n (HT20)). Les *Mesh routers* ont deux interfaces radios, une interface dans la bande de 2.4GHz (802.11b/g/n (HT20)) pour la communication avec les clients, la deuxième interface radio est utilisée pour constituer le réseau *Backhaul* entre les routeurs maillés, elle est dans la bande de 5GHz (802.11a/n (HT20/HT40)). De plus, les routeurs maillés qui ont une fonctionnalité de Gateway possèdent une interface supplémentaire (Ethernet) pour la communication avec le réseau internet. La figure 4.13 montre le modèle proposé pour l'architecture maillée.

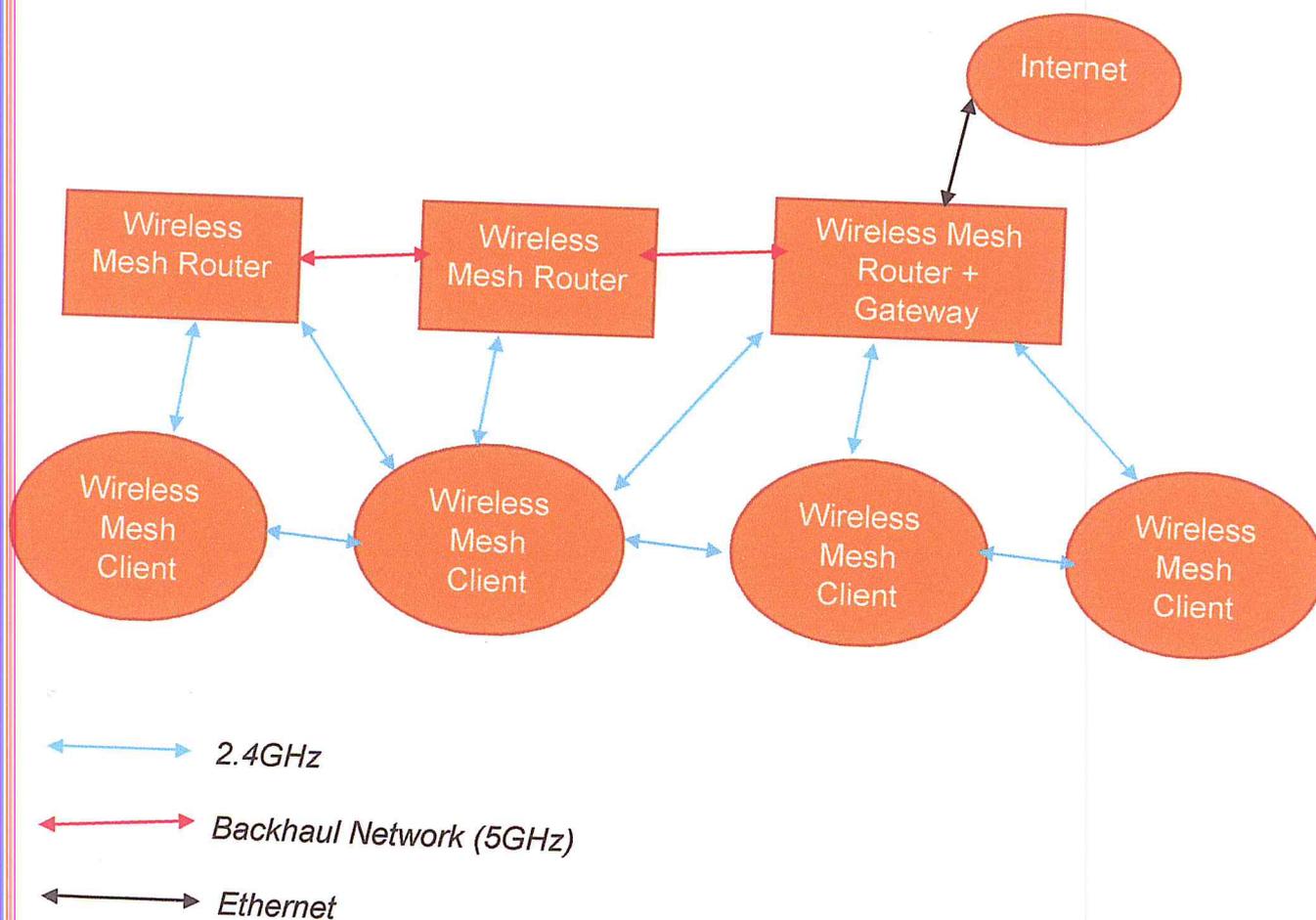


Figure 4.13 : Modèle proposé pour architecture maillée

4.2.2 Modèle simulé :

Le modèle simulé dans mon projet de master, est constitué d'un nombre de *Mesh clients* égale à deux, et même nombre pour les *Mesh routers* qui ne possèdent pas la fonctionnalité de *Gateway*, ils réalisent seulement l'acheminement des données (*Forwarding*) afin que nous pouvons implémenter le principe de multi-sauts (*Multi-Hop*). Le modèle simulé est montré dans la figure 4.14.

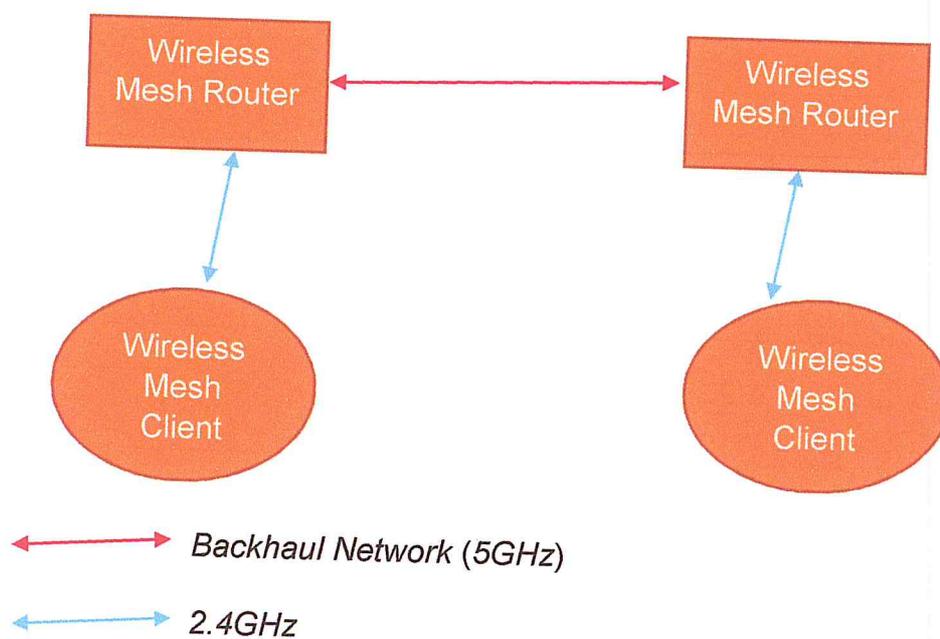


Figure 4.14 : Modèle simulé de l'architecture maillée

5. Simulation et analyse de résultats

Dans cette partie nous allons voir les différents scénarios de simulation réalisés pour les deux modèles (cellulaire et maillée) avec analyse de résultats obtenus.

5.1 : Simulation de l'architecture cellulaire de ALTAI

5.1.1 : La Topologie de modèle

La figure 4.15 montre la topologie de modèle présenté dans la figure 4.12 créé par OMNET++. Le module *Channel control* est responsable sur le contrôle de canal de transmission, il met à jour dynamiquement les liens entre les clients (Création et suppression dynamique des liens) selon leurs positions. Le module *Network Configuration* attribue les différentes configurations de réseau (adresse réseau, masque sous réseau, adresses IP des nœuds).

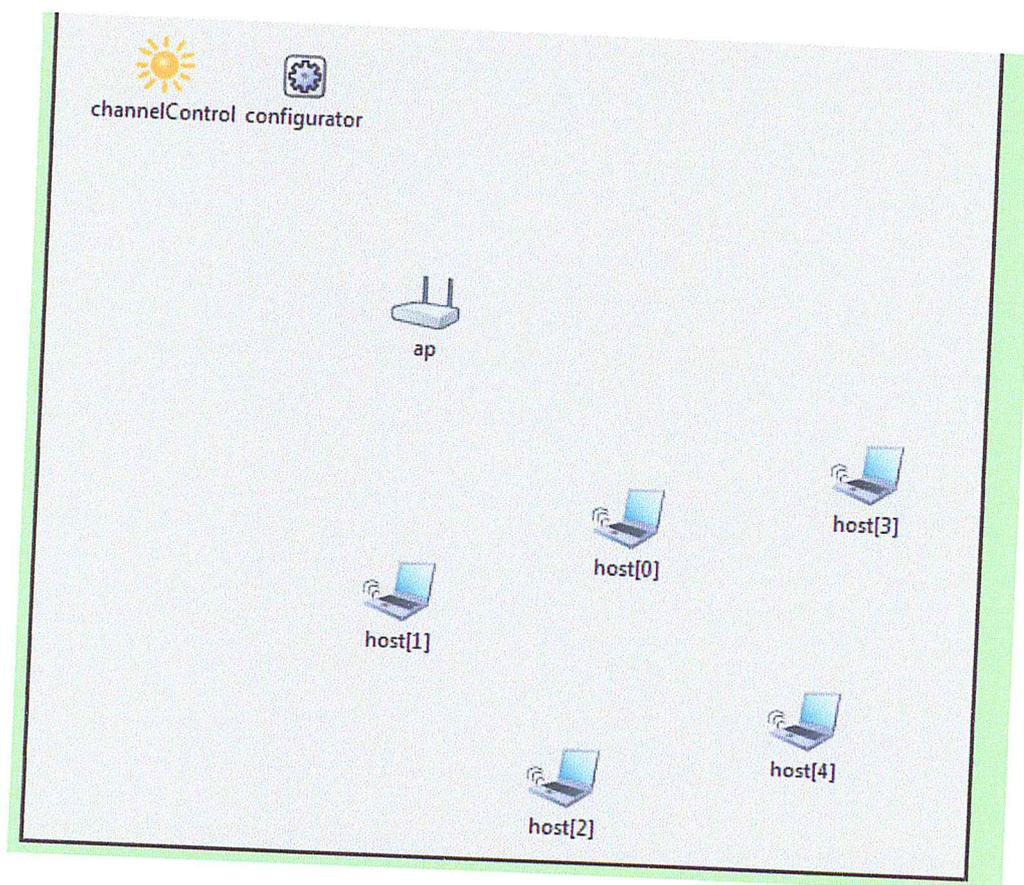


Figure 4.15 : La topologie de modèle cellulaire simulé

5.1.2 : Paramètres de simulation :

Le tableau 4.1 résume les paramètres de simulation utilisés dans les différents scénarios. Ces paramètres sont définis dans le fichier de configuration *omnetpp.ini*

paramètres	Valeur	Désignation
<i>constraintAreaMinX</i>	0 m	La position minimum (min X) de volume cubique (terrain de simulation)
<i>constraintAreaMinY</i>	0 m	La position minimale (min Y) de volume cubique.
<i>constraintAreaMinZ</i>	0 m	La position minimale (min Z) de volume cubique
<i>constraintAreaMaxX</i>	600 m	La position maximale (max X) de volume cubique
<i>constraintAreaMaxY</i>	400 m	La position maximal (max Y) de volume cubique
<i>constraintAreaMaxZ</i>	0 m	La position maximale (max Z) de volume cubique
<i>channelNumber</i>	Par défaut=0 (0-13)	Le numéro de canal utilisé.
<i>carrierFrequency</i>	2.4GHZ/ 5GHz	La fréquence de base pour tous les canaux utilisés
<i>pMax</i>	2.0 mW	La puissance de transmission maximale utilisée pour le réseau
<i>sat</i>	-110 dBm	Le seuil d'atténuation de signal (<i>Signal attenuation threshold</i>)
<i>alpha</i>	Par défaut =2 (<i>free space</i>)	Ce facteur désigne le coefficient de propagation de signal (<i>path loss</i>), différent selon l'environnement (urbain, rural...)

<i>Ap.mac.address</i>	Par défaut = 'auto'	L'adresse MAC IEEE802.11, généré automatiquement
<i>Host.accessPointAddress</i>	Par défaut='auto'	L'adresse MAC de point d'accès auquel le client est associé
<i>mobilityType</i>	Mass mobility	Le type de mobilité pour les clients
<i>mobility.changeInterval</i>	(0.5ms-2ms)	L'intervalle où les clients peuvent changer leur vitesse et leur angle de position
<i>mobility.changeAngleBy</i>	(0°-30°)	L'intervalle des grandeurs de changement d'onglet
<i>mobility.speed</i>	Aléatoire (random)	La vitesse de mobilité de clients
<i>mobility.updateInterval</i>	100 ms	L'intervalle de temps (temps de simulation) où on signale le changement de l'état de mobilité de clients
<i>bitrate</i>	Dépend de radio utilisé (802.11b/g/n/a)	Le débit de transmission maximum
<i>maxQueueSize</i>	14	La taille maximale de la file d'attente de trames exprimées en nombre de trames
<i>rtsThresholdBytes</i>	3000 Bytes	Les trames qui ont une taille > <i>rtsThresholdBytes</i> sont envoyées par l'utilisation de RTS/CTS
<i>retryLimit</i>	7	Le nombre de retransmissions autorisé pour chaque message
<i>cwMinData</i>	7	La valeur de Cwmin utilisé par la fenêtre de contention
<i>cwMax Data</i>	15	La valeur de Cwmax utilisé par la fenêtre de contention

<i>transmitterPower</i>	20 mW	La puissance utilisée pour la transmission de messages
<i>thermalNoise</i>	-110dBm	<i>Base Noise Level</i> (bruit thermique)
<i>sensitivity</i>	-85dBm	La puissance de signal minimal requise par le récepteur, les signaux qui ont une puissance < <i>sensitivity</i> sont ignorés par le récepteur
<i>snirThreshold</i>	4dB	Si le rapport signal/ Bruit reçue < <i>snirThreshold</i> , la trame est considérée comme bruit
<i>Radio Modele</i>	IEEE802.11	Le standard utilisé.
<i>Opération Mode</i>	b/g/a/n	La variante utilisée
<i>Wi-Fi preamble Mode</i>	Long/Short	Le type de l'entête de la couche physique utilisée (long /short)
<i>Bt Size</i>	8192 bits	La taille de messages envoyés par la couche physique en bits
<i>Simulation time limit</i>	aléatoire	La durée de simulation (en temps de simulation)
<i>CPU time limit</i>	aléatoire	La durée de simulation (en temps réel)

Tableau 4.1 : Les paramètres de simulation utilisés dans différents scénarios

5.1.3 : Résultats et analyse :

Dans les différents scénarios de simulation, on s'intéresse à l'évolution de nombre de messages créés, reçus et perdus.

A. Scénario 1 :

Les données de ce scénario sont résumées dans le tableau 4.2 :

Données	valeur
vitesse	0 m/s
Temps de simulation (CPU Time Limit)	60s (1minute)
Nombre de clients	5, 10, 15, 20, 25,30

Tableau 4.2 : Les données de simulation de scénario 1

La courbe montrée dans la figure 4.16 représente le nombre de messages créés, reçus, perdus en fonction de nombre de clients.

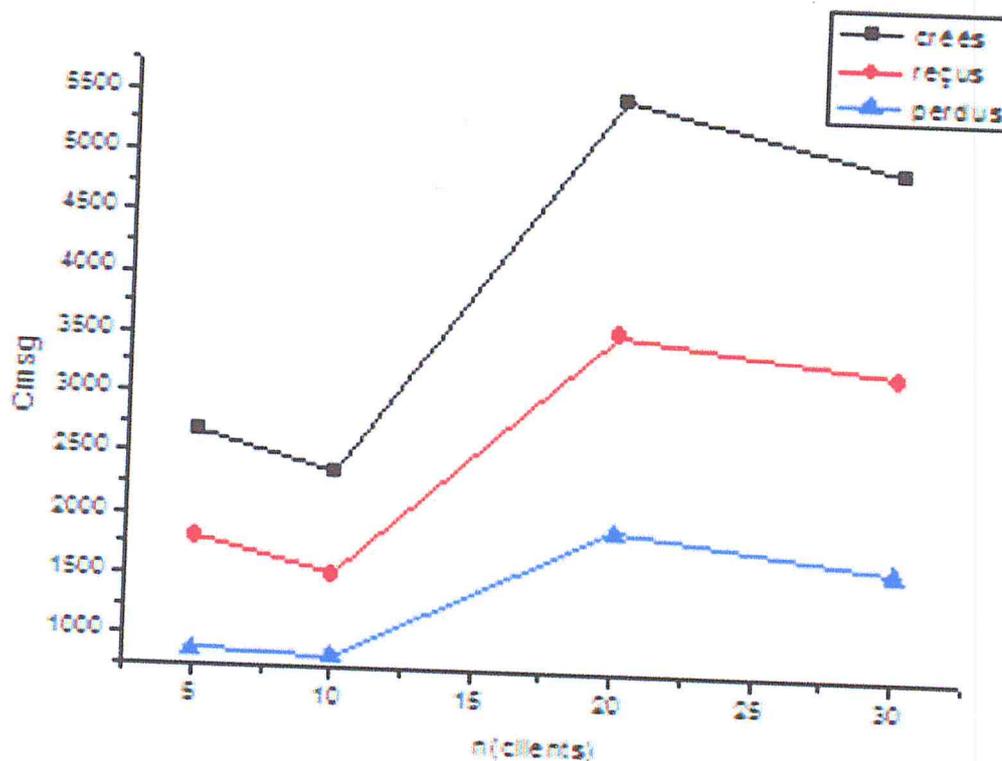


Figure 4.16 : Le nombre de messages créés, reçus et perdus en fonction de nombre de clients ($T= 60s$, $V=0$ m/s)

Analyse :

À partir de cette courbe nous calculons le taux de perte de messages (*Message Error Rate MER*).

MER = nombre de messages perdues / nombre de messages créés.

-5 clients : $MER \approx 500/2750=18\%$	} <i>MER MOYEN</i> = 22%
-10 clients : $MER \approx 500/2500=20\%$	
-20 clients : $MER \approx 1250/550=22\%$	
-30 clients : $MER \approx 1400 /5000=28\%$	

-Pour des usagers fixes, nous avons un taux de perte (*mer*) moyen de 22%.

B. Scénario 2 :

Les données de ce scénario sont résumées dans le tableau 4.3 :

Données	valeur
Vitesse de clients	2m/s
Temps de simulation (CPU Time Limit)	60s (1minute)
Nombre de clients	5, 10, 15, 20, 25,30

Tableau 4.3 : Les données de simulation de scénario 2

La courbe montrée dans la figure 4.17 représente le nombre de messages créés, reçus, perdus en fonction de nombre de clients.

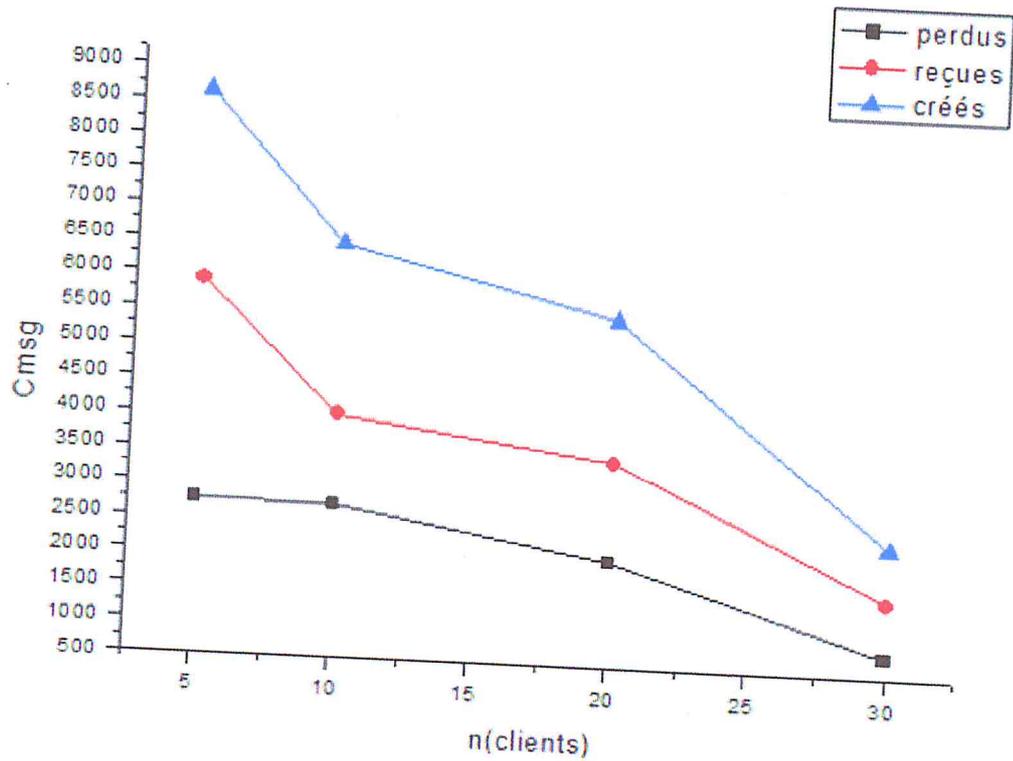


Figure 4.17 : Evolution de nombre de messages créés /reçus/perdus en fonction de nombre de clients ($T=60s$, $V=2m/s$)

Analyse :

Calculs de *MER* :

-5 clients : *MER* =31%

-10 clients : *MER* =40%

-20 clients : *MER* =30%

-30 clients : *MER* =30%

MER MOYEN = 32.75%

-Pour des usagers marchent (piétons), nous avons un taux de perte (*mer*) moyen de 32.75%.

C. Scénario 3 :

Les données de ce scénario sont résumées dans le tableau 4.4 :

Données	valeur
Vitesse de clients	20m/s
Temps de simulation (CPU Time Limit)	60s (1minute)
Nombre de clients	5, 10, 15, 20, 25,30

Tableau 4.4 : Les données de simulation de scénario 3

La courbe montrée dans la figure 4.18 représente le nombre de messages créés, reçus, perdus en fonction de nombre de clients.

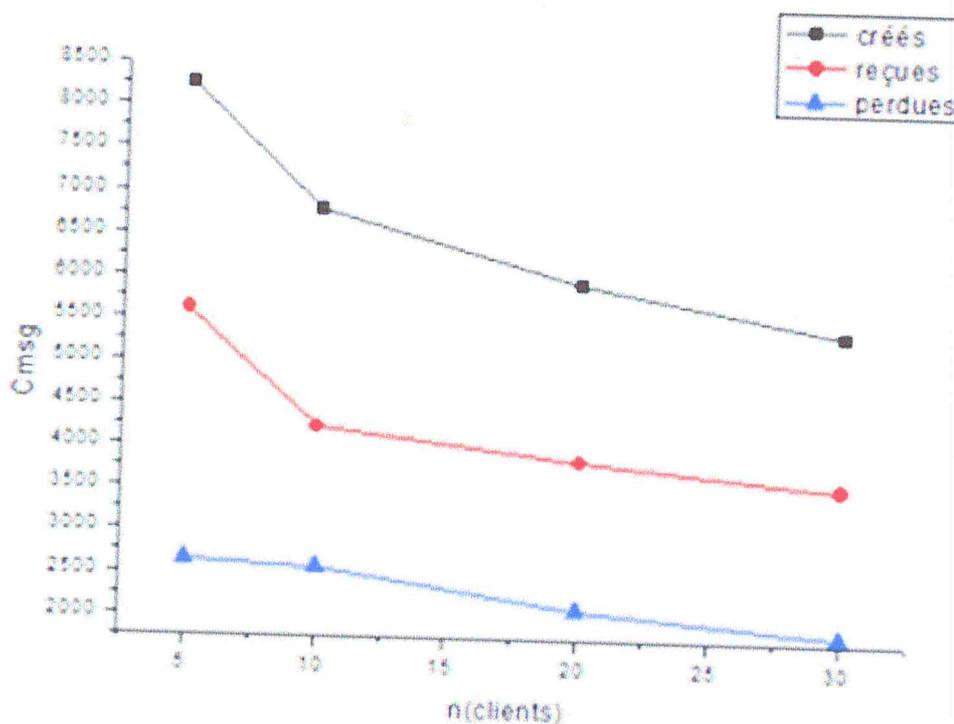


Figure 4.18 : Progression de nombre de messages créés/reçus/perdus en fonction de nombre de clients (T=60s, V=20m/s)

Analyse :Calcul de *MER* :

-5 clients : <i>MER</i> = 31%	} <i>MER MOYEN</i> = 33%
-10 clients : <i>MER</i> = 37%	
-20 clients : <i>MER</i> = 33%	
-30 clients : <i>MER</i> = 31%	

-Pour des usagers roulant à 70Km/h, nous avons un *mer* moyen de 33%

Conclusion :

À partir de ces trois scénarios (A, B, C), nous pouvons conclure que la situation où les clients sont fixes donne de meilleurs résultats par rapport aux situations où les clients sont piétons ou sont dans des véhicules roulants à 70Km/h.

D. Scénario 4 :

Les données de ce scénario sont résumées dans le tableau 4.5 :

Données	valeur
Vitesse de clients	0m/s
Temps de simulation (CPU Time Limit)	600s (10 minutes)
Nombre de clients	5, 10, 15, 20, 25,30

Tableau 4.5 : Les données de simulation de scénario 4

La courbe montrée dans la figure 4.19 représente le nombre de messages créés, reçus, perdues en fonction de nombre de clients.

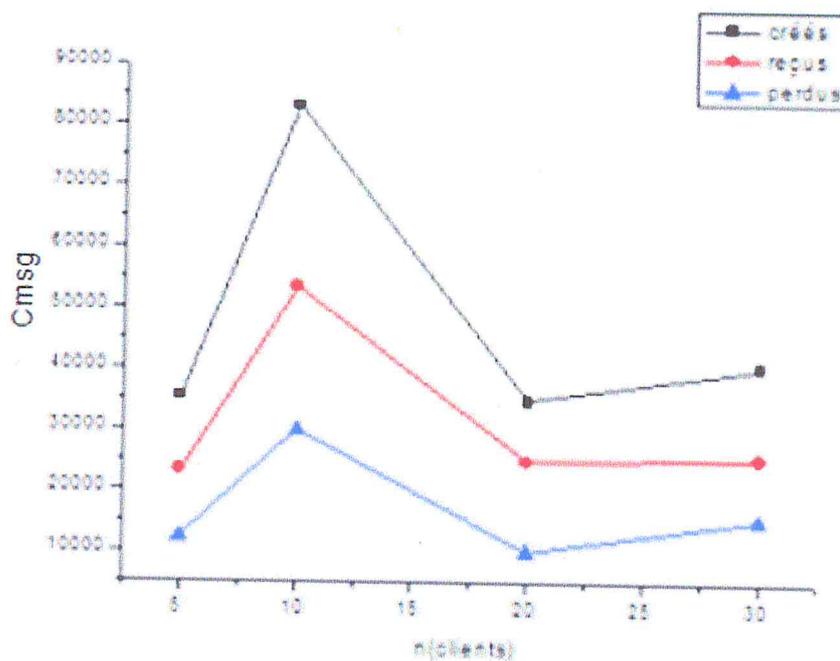


Figure 4.19 : Progression de nombre de messages créés/reçus/perdus en fonction de nombre de clients (T=600s, V=0m/s)

Analyse :

Calcul de *MER* :

-5 clients : <i>MER</i> = 28%	} <i>MER MOYEN</i> = 32.93%
-10 clients : <i>MER</i> = 35%	
-20 clients : <i>MER</i> = 31.25%	
-30 clients : <i>MER</i> = 37.5%	

-Pour des usagers fixes, et avec un temps de simulation = 10 minutes, nous avons un taux de perte moyen (*mer*) de 32.93%.

E. Scénario 5 :

Les données de ce scénario sont résumées dans le tableau 4.6 :

Données	valeur
vitesse	2 m/s
Temps de simulation (CPU Time Limit)	600s (10 minutes)
Nombre de clients	5, 10, 15, 20, 25,30

Tableau 4.6 : Les données de simulation de scénario 5

La courbe montrée dans la figure 4.20 représente le nombre de messages créés, reçus, perdus en fonction de nombre de clients.

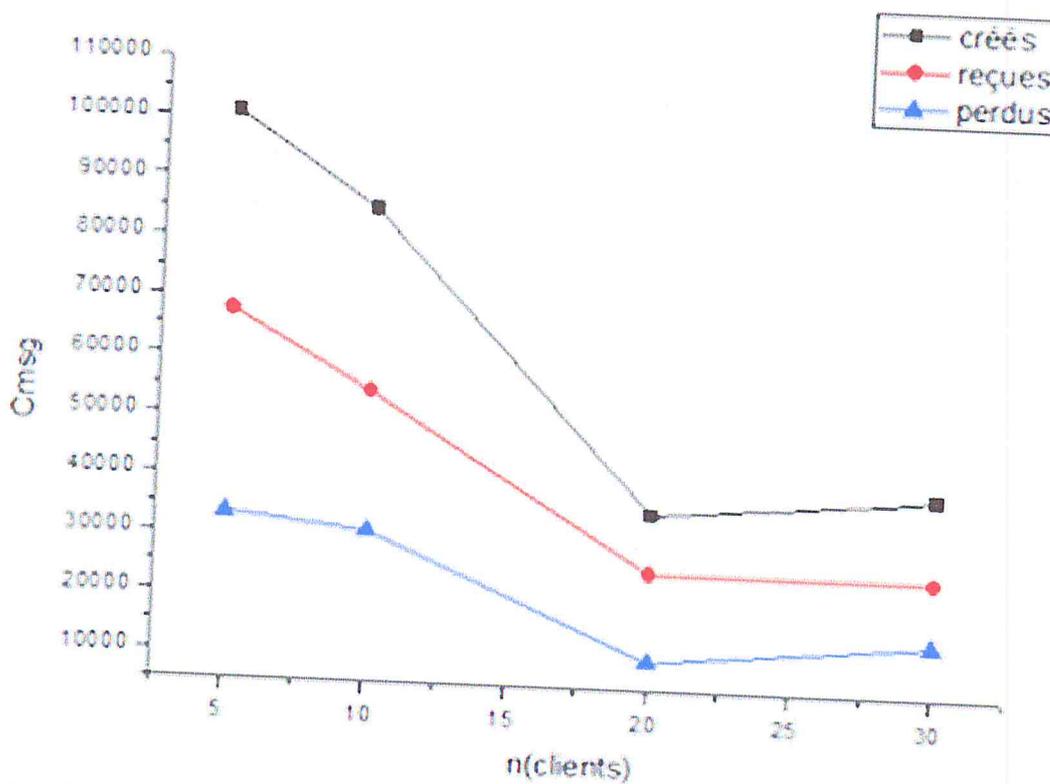


Figure 4.20 : Progression de nombre de messages créés/reçus/perdus en fonction de nombre de clients (T=600s, V=2m/s)

Analyse :

Calcul de *MER* :

-5 clients : <i>MER</i> = 31%	} <i>MER MOYEN</i> = 33%
-10 clients : <i>MER</i> = 35%	
-20 clients : <i>MER</i> = 28%	
-30 clients : <i>MER</i> = 38%	

-Pour des usagers marchent (piétons), et avec un temps de simulation = 10 minutes, nous avons un taux de perte moyen de 33%.

F. Scénario 6

Les données de ce scénario sont résumées dans le tableau 4.7 :

Données	valeur
vitesse	20m/s
Temps de simulation (CPU Time Limit)	600s (10 minutes)
Nombre de clients	5, 10, 15, 20, 25,30

Tableau 4.7 : Les données de simulation de scénario 6

La courbe montrée dans la figure 4.21 représente le nombre de messages créés, reçus, perdus en fonction de nombre de clients.

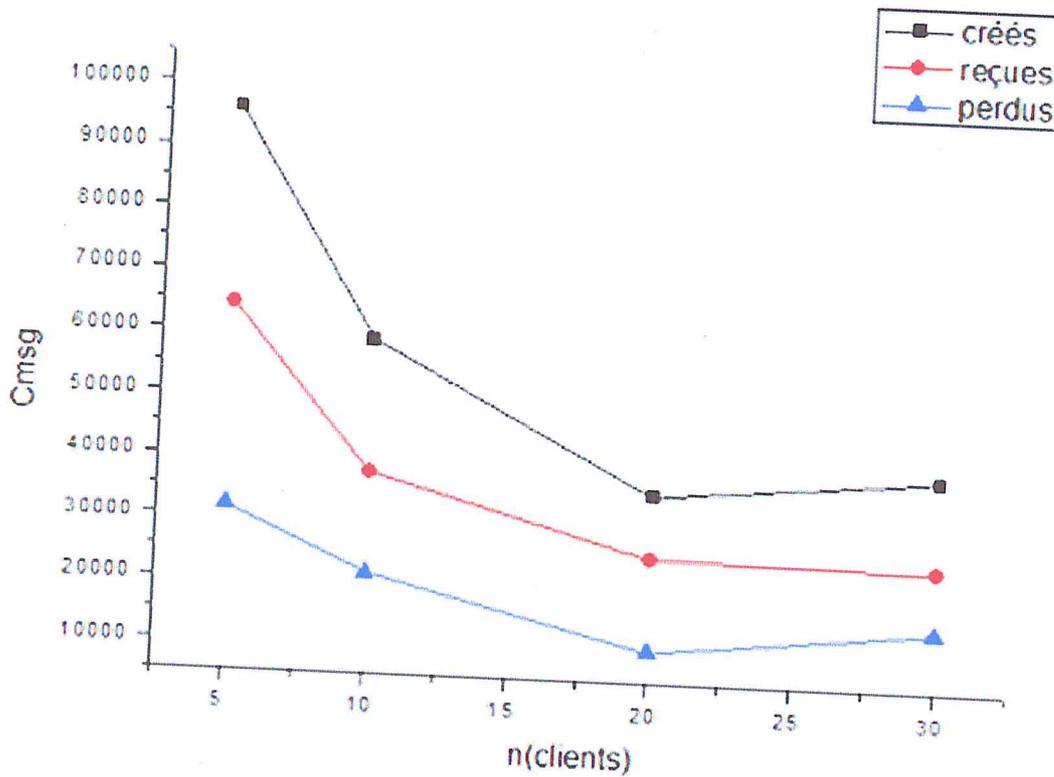


Figure 4.21 : Evolution de nombre de messages créés/reçus/perdus en fonction de nombre de clients ($T=600s$, $V=20m/s$)

Analyse :

Calcul de *MER* :

-5 clients : *MER* = 32%

-10 clients : *MER* = 35%

-20 clients : *MER* = 28%

-30 clients : *MER* = 37%

MER MOYEN = 33%

-Pour des usagers qui roulent à 70 Km/h, et avec un temps de simulation = 10 minutes, nous avons un taux de perte moyen (*mer*) de 33%.

Conclusion :

À partir de scénarios précédente (T=60s (A, B, C) et T=600s (D, E, F)), nous constatons que le temps de simulation n'a pas un impact sur le *MER* lorsque les clients sont mobiles (piétons ou dans des véhicules roulent à des vitesses élevées (≥ 70 Km/h)). Cependant, dans le cas de clients stationnaires, le temps à une influence important sur le *MER*.

5.2 : Simulation de l'architecture maillée

5.2.1. La topologie :

La topologie de modèle de l'architecturé maillée (voir figure 4.14) crée par OMNET++ est présenté dans la figure 4.22. Cette topologie est composée de deux points d'accès qui jouent le rôle de routeurs maillés sans fil (*Wireless Mesh routers*), et deux clients Wi-Fi. Chaque client est relié avec son point d'accès qui achemine les données vers l'autre point d'accès pour assurer la communication entre les deux clients.

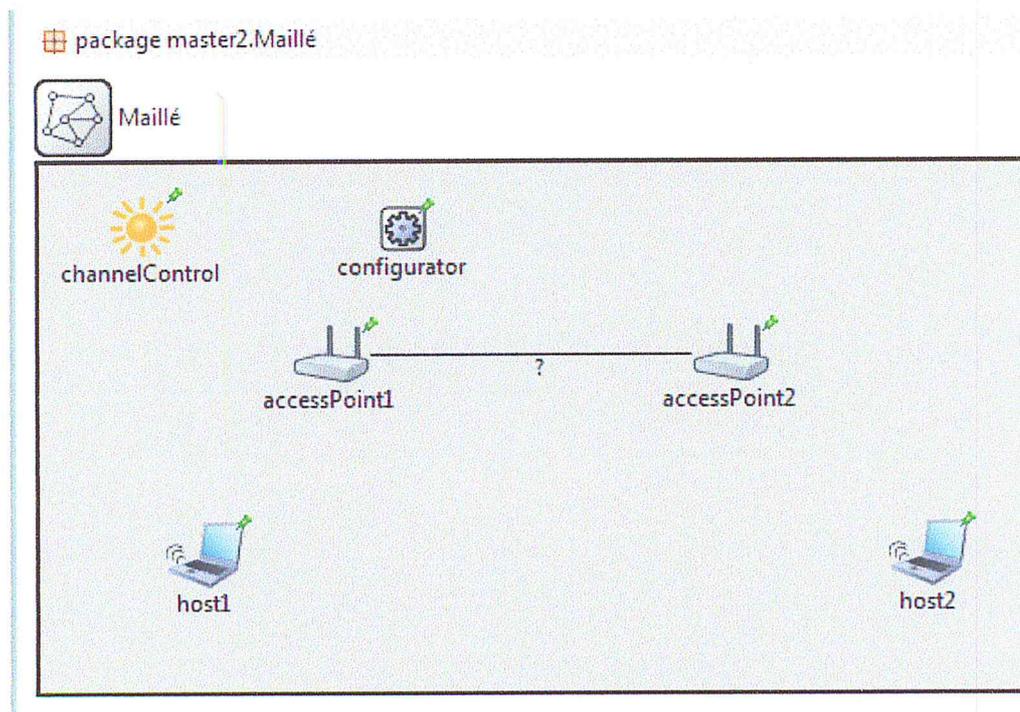


Figure 4.22 : La topologie de modèle maillé créé par OMNET++

5.2.2. Paramètres de simulation :

Le tableau 4.8 montre les différents paramètres de simulation utilisés.

<i>paramètres</i>	Valeur	Désignation
<i>constraintAreaMinX</i>	0 m	La position minimum (min X) de volume cubique (terrain de simulation)
<i>constraintAreaMinY</i>	0 m	La position minimale (min Y) de volume cubique.
<i>constraintAreaMinZ</i>	0 m	La position minimale (min Z) de volume cubique
<i>constraintAreaMaxX</i>	600 m	La position maximale (max X) de volume cubique
<i>constraintAreaMaxY</i>	400 m	La position maximal (max Y) de volume cubique
<i>constraintAreaMaxZ</i>	0 m	La position maximale (max Z) de volume cubique
<i>Accesspoint.mobility.type</i>	StationaryMobility	Le type de mobilité utilisé pour les points d'accès (routeurs maillés)
<i>accessPoint.mobility.initialX</i>	$0 < X < 600$	La position de point d'accès (X)
<i>accessPoint.mobility.initialY</i>	$0 < Y < 400$	La position de point d'accès (y)

<i>accessPoint.mobility.initialz</i>	0	La position de point d'accès (Z)
<i>channelControl.numChannels</i>	dépend de nombre de points d'accès dans le réseau	Le nombre de canaux radios utilisé
<i>accessPoint.wlan.mac.address</i>	"XXXXXXXXXXXX"	L'adresse MAC de l'interface WLAN de point d'accès
<i>accessPoint.wlan.radio.channelNumber</i>	0-13	Le numéro de canal où le point d'accès fonctionne.
<i>Host.wlan.mgmt.accessPointAddress</i>	"XXXXXXXXXXXX"	L'adresse MAC de point d'accès auquel le client est associé
<i>host2.wlan.radio.channelNumber</i>	0-13	Dépend de canal utilisé par le point d'accès
<i>Host.mobilityType</i>	Mass mobility	Le type de mobilité pour les clients
<i>Host.mobility.changeInterval</i>	(0.5ms-2ms)	L'intervalle où les clients peuvent changer leur vitesse et leur angle de position
<i>Host.mobility.changeAngleBy</i>	(0°-30°)	L'intervalle des grandeurs de changement d'onglet
<i>Host.mobility.speed</i>	Aléatoire (random)	La vitesse de mobilité de clients
<i>Host.mobility.updateInterval</i>	100 ms	L'intervalle de temps où on signale le changement de l'état de mobilité de clients

<i>WLAN.bitrate</i>	Dépend de radio utilisé(802.11b/g/n/a)	Le débit de transmission maximum
<i>Packet Size</i>	56 Bytes	La taille de packets envoyés en Bytes.
<i>Simulation time limit</i>	aléatoire	La durée de simulation (en temps de simulation)
<i>CPU time limit</i>	aléatoire	La durée de simulation (en temps réel)

Tableau 4.8 : Les paramètres de simulation de modèle maillé

5.2.3 .Résultats et analyse :

A. Scénario 1 :

Les données de ce scénario sont montrées dans le tableau 4.9

Données	valeur
Nombre de clients	2
Nombre de points d'accès (routeurs maillés)	2
Nombre de canaux	2
Vitesse de clients	0m/s
Temps de simulation (CPU Time Limit)	60s- 600s

Tableau 4.9 : Les données de simulation de scénario1 de modèle maillé

La courbe montrée dans la figure 4.23 représente le nombre de messages créés, reçus, perdus en fonction de temps de simulation.

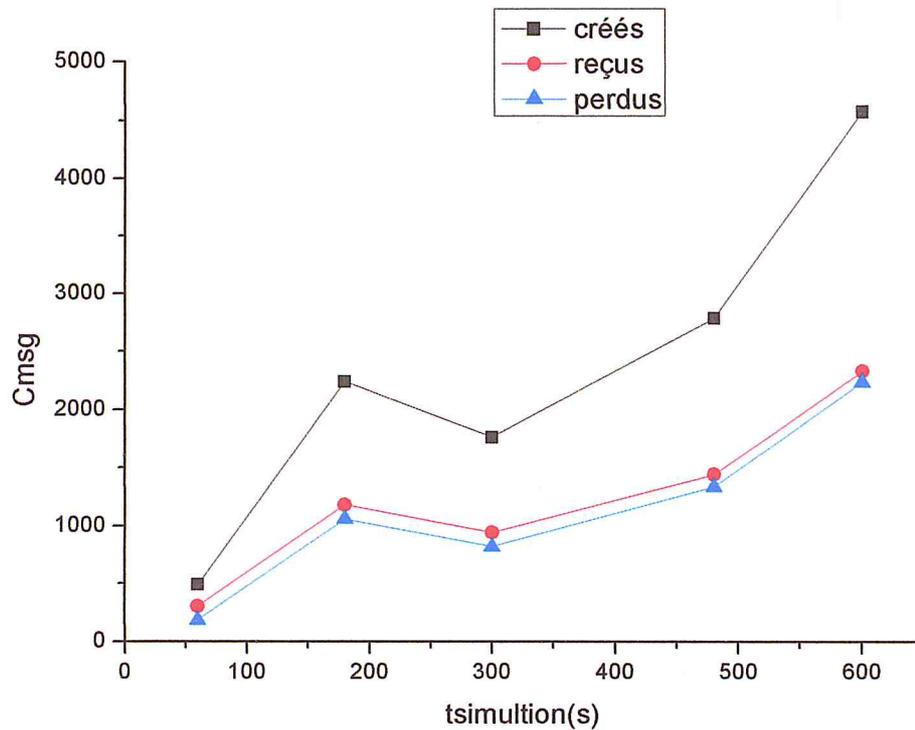


Figure 4.23 : Evolution de nombre de messages créés/ reçus/ perdus en fonction de temps de simulation (nombre de clients=2, V=0 m/s)

Analyse :

Calcul de MER

T= 100s → 37%

T= 200s → 45%

T= 300s → 38%

T=400s → 41%

T=500s → 37%

T= 600s → 44%

MER Moyenne = 40%.

-Pour des usagers fixes, nous avons un taux de perte (*mer*) moyen de 40%.

B. Scénario 2 :

Les données de ce scénario sont montrées dans le tableau 4.10

Données	valeur
Nombre de clients	2
Nombre de points d'accès (routeurs maillés)	2
Nombre de canaux	2
Vitesse de clients	2m/s
Temps de simulation (CPU Time Limit)	60s- 600s

Tableau 4.10 : Les données de simulation de scénario 2 de modèle maillé

La courbe montrée dans la figure 4.24 représente le nombre de messages créés, reçus, perdus en fonction de temps de simulation.

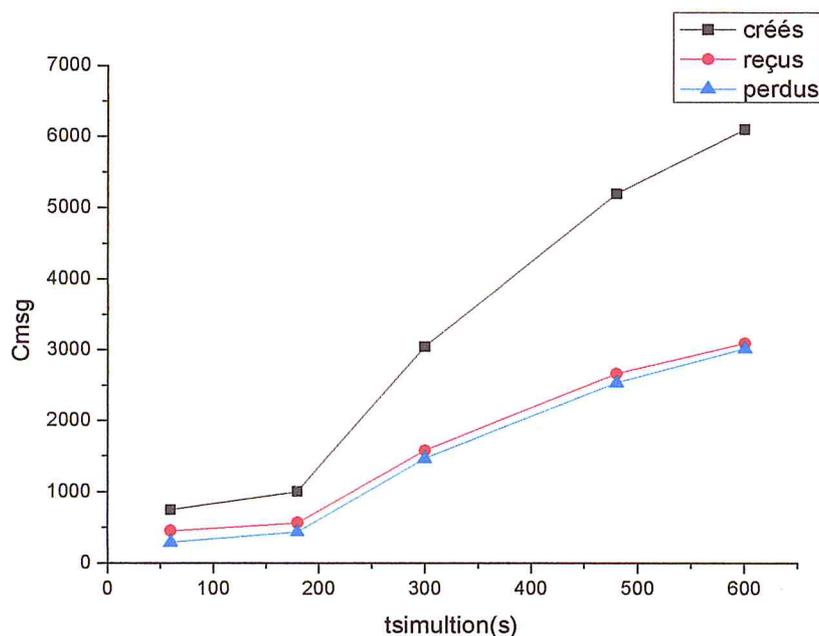


Figure 4.24 : Evolution de nombre de messages créés/ reçus/ perdus en fonction de temps de simulation (nombre de clients=2, V=2 m/s).

Analyse :*Calcul de MER*

T= 100s → 25%	} MER Moyenne = 42%.
T= 200s → 40%	
T= 300s → 50%	
T=400s → 44%	
T=500s → 48%	
T= 600s → 47%	

-Pour des usagers marchent (piétons), nous avons un taux de perte (*mer*) moyen de 42%.

C. Scénario 3

Les données de ce scénario sont montrées dans le tableau 4.11

Données	valeur
Nombre de clients	2
Nombre de points d'accès (routeurs maillés)	2
Nombre de canaux	2
Vitesse de clients	20m/s
Temps de simulation (CPU Time Limit)	60s- 600s

Tableau 4.11 : Les données de simulation de scénario 3 de modèle maillé

La courbe montrée dans la figure 4.25 représente le nombre de messages créés, reçus, perdus en fonction de temps de simulation.

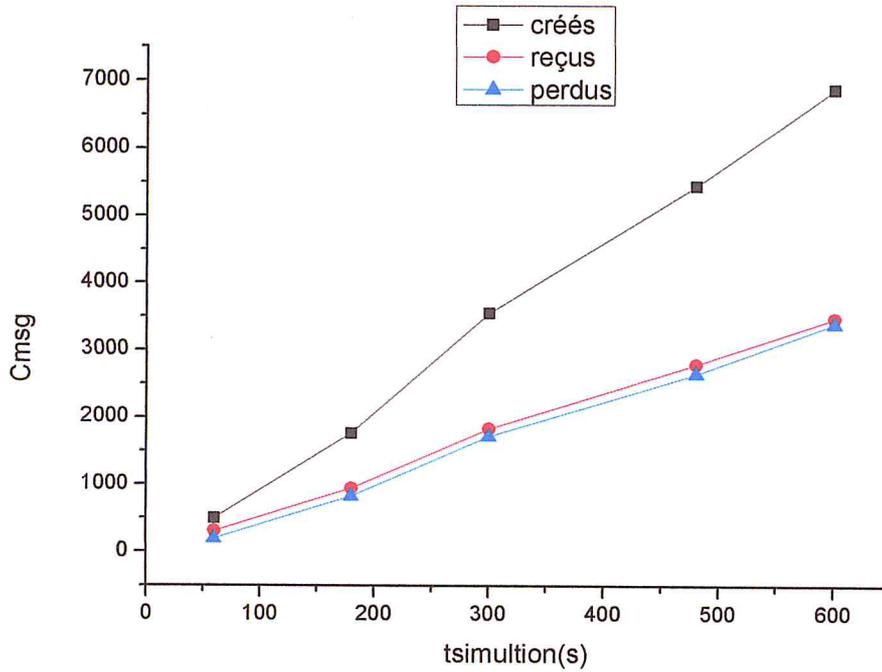


Figure 4.25 : Evolution de nombre de messages créés/ reçus/ perdus en fonction de temps de simulation (nombre de clients=2, V=20 m/s).

Analyse :

Calcul de MER

T= 100s → 47%

T= 200s → 40%

T= 300s → 42%

T=400s → 44%

T=500s → 45%

T= 600s → 46%

MER Moyenne = 44%.

-Pour des usagers roulant à 70Km/h nous avons un taux de perte (*mer*) moyen de 44%.

Conclusion :

À partir de ces trois scénarios nous pouvons conclure que la situation où les clients sont fixes donne de meilleurs résultats par rapport aux situations où les clients sont piétons ou dans des véhicules roulant à des vitesses élevés ($\geq 70\text{Km/h}$). Le taux de perte moyen (MER) augment proportionnellement avec la vitesse de clients.

D. Scénario 4 (Comparaison entre le modèle cellulaire et le modèle maillé)

Dans ce scénario, nous réalisons une comparaison de taux de messages reçus entre le modèle de l'architecture cellulaire et le modèle de l'architecture maillée. Les données de ce scénario sont montrées dans le tableau 4.12

Paramètres	Modèle cellulaire	Modèle maillé
Nombre de client	2	2
Vitesse de clients	0 m/s	0m/s
Nombre de points d'accès	1	2
Temps de simulation	60s-600s	60s-600s

Tableau 4.12 : Les données de simulation de scénario 4 (comparaison)

La courbe de la figure 4.26 montre le nombre de messages reçus en fonction de temps de simulation pour les deux architectures cellulaires et maillée.

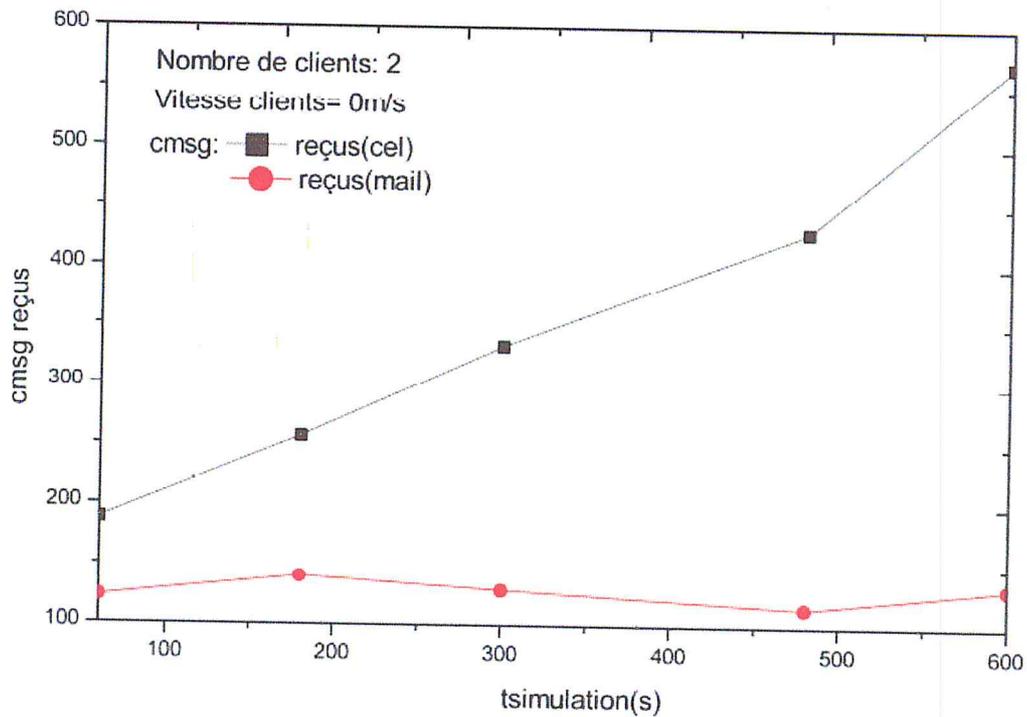


Figure 4.26 : Evolution de nombre de messages reçus en fonction de temps de simulation pour les deux architectures cellulaire et maillée (nombre clients=2, V=0m/s)

Analyse

A. Modèle cellulaire :

T= 100s →	210	} Moyenne = 348.33 Messages.
T= 200s →	250	
T= 300s →	310	
T= 400s →	350	
T= 500s →	420	
T = 600s →	550	

B. Modèle Maillé :

T= 100s	→	120	} Moyenne= 121.66 Messages.
T= 200s	→	130	
T= 300s	→	120	
T= 400s	→	110	
T= 500s	→	110	
T = 600s	→	140	

Nous pouvons remarquer qu'il y a une différence importante entre la moyenne de messages reçus des deux modèles, pour confirmer ce résultat nous réalisons une autre comparaison de rendement en messages reçues (nombre de messages reçus/nombre de messages créés) des deux modèles. Les résultats sont montrés dans la figure 4.27.

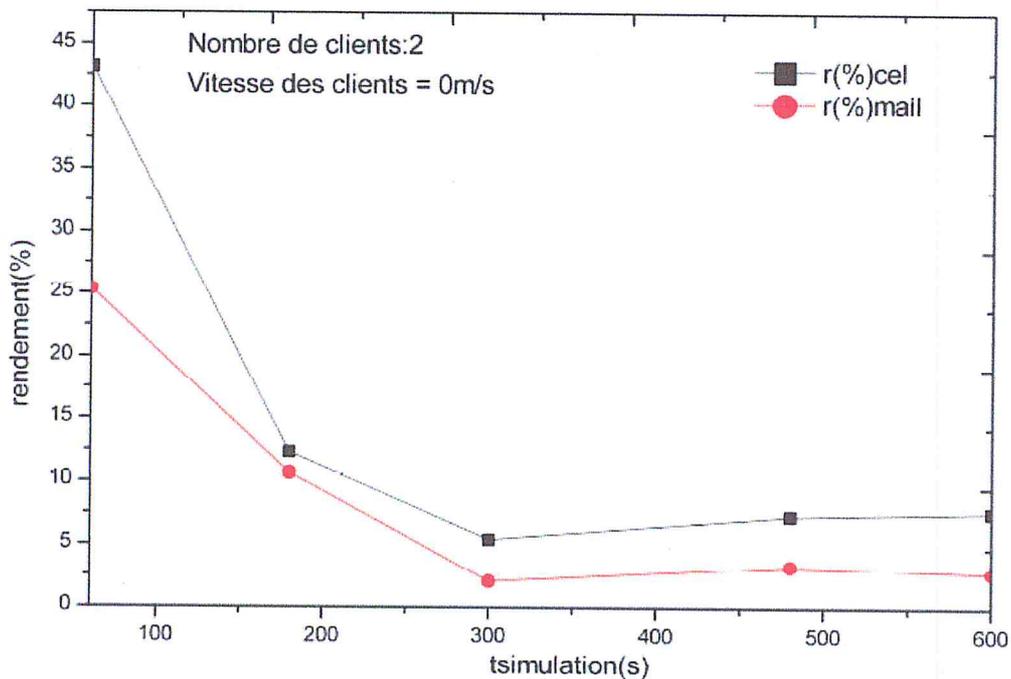


Figure 4.27 : Evolution de rendement en messages reçus en fonction de temps de simulation de modèles cellulaire et maillés (nombre clients=2, V=0m/s)

Analyse :**A. Modèle cellulaire**

T= 60s → 42%	}	Moyenne = 15.42%
T= 200s → 11%		
T= 300s → 5%		
T= 400s → 7%		
T= 500s → 6%		
T = 600s → 7%		

B. Modèle Maillé

T= 60s 30%	T=300s → 5%	T=500s → 3%	}	Moyenne= 9.71%
T= 200s 9%	T=400s → 3%	T=600s → 3%		

Conclusion

À partir de ces deux résultats, nous pouvons conclure que le modèle cellulaire est plus performant que le modèle maillé en terme de taux de messages reçus.

CONCLUSION GENERALE

Ce projet m'a permis de découvrir la réalité du travail dans l'environnement recherche de l'entreprise. D'abord sur le plan humain, je découvre à travers ma première expérience de formation l'importance à accorder aux critiques émanant des autres et aux relations humaines dans la réalisation d'un projet. Puis sur le plan des connaissances, ce projet m'a permis de s'initier à la recherche en découvrent la structure et les fonctionnalités des équipements et composants de réseaux sans fil Wi-Fi. Ces derniers ont connu un fabuleux succès ces dernières années, leur déploiement dans le monde est en perpétuel progression. Grace à leurs avantages de mobilité, de flexibilité et de faible coût de déploiement, ils sont utilisés comme alternative de réseaux filaires traditionnels. Les réseaux Wi-Fi qu'ils sont destinés au début pour couvrir des zones étroites sont aujourd'hui orientés à servir des zones plus étendues dont l'environnement présente plusieurs défis pour leur déploiement.

Actuellement, de nombreux simulateurs existent pour simuler les réseaux informatiques. Ce projet m'a permis de s'initier à la simulation de réseaux par l'utilisation d'un simulateur *open source*, utilisé principalement pour des profits académiques non lucratifs s'appelle *OMNET++*.

Nous avons proposé deux modèles d'architectures de réseaux Wi-Fi, l'architecture cellulaire d'ALTAI et l'architecture maillée. Nous avons étudié les performances de modèles élémentaires de l'architecture cellulaire et comparer les performances des modèles élémentaires des deux architectures en simulant le taux de messages reçus par *OMNET++*.

Nous avons montré qu'en termes de messages reçus, l'architecture cellulaire est plus performante que l'architecture maillée. Cependant, de nombreux critères et paramètres de simulation importants (débit, délai de transmission, temps de latence, propriété de blocage...) doivent nous prendre en considération dans les scénarios de simulation pour que nous pouvons atteindre des résultats plus fiable.

Si on veut réellement conclure sur les performances de deux architectures, nous devons réaliser des scénarios de simulation faisant intervenir à des modèles de réseaux cellulaires avec des cellules élémentaires en interaction et avec l'implémentation de différentes fonctionnalités (Authentification, Association, sécurité, le déplacement de clients entre les cellules (*HandOver*), la QOS, ...), et aussi de réseaux maillés avec différentes opérations (routage, la gestion des relations entre les stations maillées...).

Les résultats obtenus avec les simulateurs sont approximatives, pour que nous pouvons évaluer la fiabilité de notre résultats, nous devons implémenter un modèle mathématique (analytique) qui est utilisé comme modèle de référence.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Ch.Bisseriex, p.laurent, ph. Cabaret, ch. Bonnet, G Le Berre,S. Tirlemont, M. Castro, Y. Ganem , P. Moureaux, A.Becker, P. Donati : Les réseaux sans fil de proximité, Institut National de recherche et de sécurité (INRS) , juillet 2012.

[2] [http : //www.commentcamarche.net/contents/1309-reseaux-sans-fil wireless-networks](http://www.commentcamarche.net/contents/1309-reseaux-sans-fil-wireless-networks), 10 juillet 2014.

[3] Amir Djouama : Contrôle de topologie ambient dans les réseaux sans fil, Doctorat de l'université de Versailles Saint-Quentin (Spécialité informatique), 28 juin 2009.

[4] Michel Terré : Wi-Fi Le standard 802.11 Couche physique et couche MAC version 1.1, Mars 2007.

[5] Matthew Gast: Wireless Networks the definitive guide, Avril 2005

[6] Ivan Marsic: Wireless Networks local and ad hoc networks, Department of Electrical and Computer Engineering and the CAIP Center, Rutgers University.

[7] LAN/MAN Standards Committee of IEEE Computer Society: IEEE Standard for Information technology- Telecommunication and information exchange between Systems Local and metropolitan area networks- Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Février 2012.

[8] Latifa HACINI : SCHEMAS HYBRIDES D'ACQUISITION ADAPTATIVE

DE CODES PN POUR DES COMMUNICATIONS DS-CDMA DANS UN CANAL RAYLEIGH, Doctorat de l'université Mentouri Constantine, Département d'électronique, (option : traitement de signal), juin 2012.

[9] Brandon James Carroll: CCNA Wireless Official Exam Certification Guide, Cisco Press, octobre 2008.

[10] Houari MAOUCHI : Routage avec qualité de service dans AODV, Mémoire d'ingénieur d'état en informatique, Université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou, Département d'informatique, 2008-2009.

[11] [http : //www.wireless-techbook.com/ofdm/78-ofdm-inconvenients.html](http://www.wireless-techbook.com/ofdm/78-ofdm-inconvenients.html), Aout 2014.

[12] [http : //lci.tf1.fr/tags/videos/france-telecom/france-telecom1.html](http://lci.tf1.fr/tags/videos/france-telecom/france-telecom1.html),

[13] [http : //www.altatechnologies.com](http://www.altatechnologies.com), juillet 2014.

[14] Jihene Rezgui: Gestion adaptative des ressources dans les réseaux maillés sans fil à multiples-radios multiples-canaux, Thèse présentée en vue de l'obtention de grade de philosophiae doctor (Ph.D.) en informatique, Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal (canada) , Août 2010.

[15] Senouci : La technologie IEEE802.11s Réseaux maillés, 2009.

[16] OMNET++ User Manual version 4.5, 2014

[17] OMNET++ User Guide version 4.5, 2014

[18] A QUICK OVERVIEW OF THE OMNET++ IDE, 2014

[19] INET framework for OMNET++ Manual, juin 2012.